

Compilation of the Rijnland Group
(Vlieland Formation) in The Netherlands
for geothermal purposes.

Geological Survey of The Netherlands
July 1983
Projectno. 10370
Report no. 83KA11EX

This research has been carried out under contract
no. EGA-1-017-NL (G) between the European Economic
Community and the Geological Survey of The Netherlands.
This research has been carried out by order of the
Energy Research Project Office TNO, as part of the
National Geothermal Energy Research Programme of
The Netherlands - projectno. 90740.030.

Contents

	<u>Page</u>
1. Introduction	- 1 -
Aim of the study	- 1 -
Existing data	- 1 -
Availability of existing data for this study	- 1 -
The choice of aquifers	- 2 -
Organization	- 2 -
The report presentation	- 3 -
2. Rijnland Group - Vlieland Formation	- 4 -
- a. West Netherlands Basin	- 6 -
- b. Lower Saxony Basin	- 9 -
- c. Vlieland Basin	- 10 -
3. Conclusion	- 10 -
4. List of enclosures	- 11 -
5. Literature	- 12 -

1. Introduction

Aim of the study

The aim of this project is to ascertain the geothermal potential of deep-lying aquifers in The Netherlands. For the purpose of this study an inventory of relevant data has been assembled.

Existing data

The most important existing data are the results of about 1500 deep borings, that have been made for the most part by the oil (-gas) industry. Here we are concerned with borehole cuttings and well logs. In a number of cases cores were taken. These borings are mostly situated in the structurally high-lying regions, and thus contain relatively more hiatuses and thin sediment complexes. Furthermore the distribution over the country is rather irregular.

For most of the borings a lithological interpretation is available, based on the cuttings and on well logs. Furthermore there are lithostratigraphical interpretations, based on the lithology, supported by paleontological investigations. In a number of cases water production tests have been carried out over a certain interval.

In addition a great deal of reflection-seismological investigations have been carried out in The Netherlands, also almost completely by industry. These data are of varying quality, while here too we can speak of an irregular distribution. The results of these investigations have been used on a limited scale.

Information on the deep subsurface of The Netherlands is published regularly by industry and by others. Frequent use has been made of this information here in this study.

Availability of existing data for this study

From consultations with industry it appeared that the above-mentioned data could be used in this broad-based, inventorizing

study. In the report given here the data are not included however. In recent years in The Netherlands there has been an increasing amount of activity and competition with regard to prospecting for hydrocarbons.

The choice of aquifers

The requirements that must be met by a reservoir-rock in the framework of the National Research Programme for Geothermal Energy are:

- a) sufficient thickness of the reservoir
- b) sufficient permeability of the reservoir and
- c) an extensive lateral continuity.

The inventorization is concerned specifically with the sandstones lying at great depth. The carbonate rocks, that elsewhere in the world have excellent properties for use as reservoirs, are in The Netherlands unsuitable for the exploitation of hot water, because they seldom meet criterion b).

The sandstones that generally meet the above-mentioned criteria are in order of age: the sandstones and conglomerates of the Slochteren Sandstone Formation (Upper Rotliegend Group, Permian), the sandstones of the Main Buntsandstein Formation (Lower Germanic Trias Group, Triassic) and the Bunter Group (Triassic), and the marine sands of the Vlieland Formation (Rijnland Group, Lower Cretaceous) in the West Netherlands Basin (see figures 1 and 2), as is evident from the names mentioned the nomenclature followed is that established in the "Stratigraphic Nomenclature of the Netherlands", this being in English.

The maps and diagrams in the text are taken from publications that are all mentioned in the reference list on the last page.

Organization

This study is part of the National Research Programme for Geothermal Energy. This is controlled by the Energy Research Project Office of The Netherlands Organization for Applied Scientific Research at Apeldoorn. Via this authority the Ministry

of Economic Affairs pays 50% of the costs. Furthermore, for the purpose of setting up this study a contract has been drawn up between the European Economic Community and the Geological Survey of the Netherlands.

The work involved has been done for the most part by Mr. G. Milius of Assen.

The report presentation

In three reports the following are dealt with in succession: the Buntsandstein, the Rotliegend, and the Lower Cretaceous (this report). In the final report these separate parts will be brought together, and further supplemented by:

- Chalk and carboniferous limestone in the south of the Netherlands.
- A discussion on the choice of aquifers.
- Temperature maps.
- A statement of resources and reserves of geothermal energy in the Netherlands.
- Recommendations.

2. Vlieland Formation

During the Cretaceous (see figure 3), in The Netherlands paralic (continental, near-coastal) deposition conditions predominated initially, that had already begun at the end of the Jurassic. The sedimentation mainly took place in a few fairly isolated basins, namely: the Netherlands Central Graben or Roer Valley Graben, the West Netherlands Basin, the Central Netherlands Basin, the Broadfourteens Basin, the Vlieland Basin and the Lower Saxony Basin (figure 4).

The general uplift, that had set in at the end of the Jurassic, probably reached its maximum in Late Berriasian - Early Valanginian time. As a result of this the previously deposited paralic sediments were eroded, and consequently these have been preserved in only a few basins.

From Mid-Valanginian times on there occurred a progressive rise in sea level, so that from the centre of each basin there was a gradual transgression of the sea towards the basin periphery. The marine sediments that were deposited from this time on are included in the "Rijnland Group". This Group is divided into the lithostratigraphical units the "Vlieland Formation" and the "Holland Formation". The good aquifers of the Lower Cretaceous all belong to the Vlieland Formation.

On top of the underlying paralic sediments of the Delfland Group (in Most Lower Cretaceous basins) and the Niedersachsen Group (in the Lower Saxony Basin), a basal sand of imbricate structure became deposited, that is generally not thicker than 35 m. This is the Rijswijk Sandstone Member in the West Netherlands Basin and Bentheim Sandstone Member in the Lower Saxony Basin.

During the regressive phases in this generally transgressive period there came into existence sand complexes, especially along the southern rim of the West Netherlands Basin, that wedge out towards the basin centre into the marine Vlieland Shales. These sand complexes are, from bottom to top: the Berkel Sand-Shale

Member, the Berkel Sandstone Member and the IJsselmonde Sandstone Member. They are intercalated to a variable extent with clay layers, and may each be of a thickness up to more than 100 m.

After the deposition of a marine clay (Eemhaven Shale) of varying thickness there follows, finally, the deposition of a series of thin sands and clays (De Lier Sand-Shale Member). This is regarded as the distal part of a delta complex lying further south. The top of this sand/clay complex is at the same time the top of the Vlieland Formation. The sands of the De Lier Sand-Shale Member are not worthy of consideration for the production of thermal energy, on account of their limited thickness (0.5 - 5 m.) and their poor reservoir properties. For the other sands a more detailed description follows on the next pages.

2.a) West Netherlands Basin

For the different sand complexes in this basin the sands as found in the boreholes De Lier 40, Berkel 2, Ridderkerk 2 and Eemhaven 1 are indicated as standard for the specific sand development concerned.

a 1. Rijswijk Sandstone

This sandstone owes its name (as do also the other three sands) to the field in which it was first found to be oil bearing. It is regarded as a transgressive cover-sand. It consists of a generally massive, moderately consolidated sand, that is usually intercalated with a few thin layers of clay. The average thickness is 25 - 30 m., although thickness of 50 - 60 m. may occur. In the standard borehole De Lier 40 (see figure 5), for example, its gross thickness is 67 m. On the other hand in some places the sand occurs greatly reduced, or it may not be present at all. In some oilfields the thickness varies from zero to many tens of metres over a distance of hardly 1500 m.

These differences in thickness have been explained by some geologists as the result of the synsedimentary action of faults, but this explanation is not completely satisfactory. Examples of such correlations are given in enclosures 1, 3 and 4. It makes it somewhat hazardous to predict the thickness in a particular part of the basin, especially in those places where the borehole control is limited.

The grain size of the sand is from fine to middle coarse (in general $> 250 \mu\text{m}$), and one or more coarse-grained layers are often present. The porosity is 20 - 28%, while the average permeability amounts to 500 mD, with values locally as high as 1000 - 5000 mD over intervals of 1 - 2 m.

a 2. Berkel Sand-Shale Member

The standard for this rock unit is the borehole Berkel-Schiebroek 2 (see figure 6). The complex consists of alternating layers of fine-grained sands, silts and clays, altogether about 100 m. thick.

It is to be expected that this unit will show a sharp increase in clay content towards the basin centre of the type locality, thus in a northerly direction. On the other hand towards the south there will be a rapid transition into a massive sand, and consequently the distinction with respect to the overlying Berkel Sandstone Member will disappear. In those places where these two lithostratigraphical units merge into one, this is referred to as the Berkel Clastic Member.

With regard to the porosities and permeabilities almost nothing is known. In any case these could vary very widely indeed in a north-south direction.

a 3. Berkel Sandstone Member (figure 6)

This unit, that was deposited when the regressive phase was at its maximum, is a massive sand. At its base it shows a gradual transition into the top of the Berkel Sand-Shale Member. In a northerly direction the Berkel Sandstone wedges out into the Vlieland Shale. It is not known how far south of the type locality this sand complex extends. Nor is anything known about how and where there is contact with the paralic clays and sands of the Delfland Group.

For this unit too almost nothing is known with regard to porosities and permeabilities. A single core indicated an average porosity of 16 - 17% and a permeability of 10 - 1000 mD.

a 4. IJsselmonde Sandstone Member

The standard for this sand complex is the sand that was found in the borehole Ridderkerk 2 (figure 7). At the base of this complex the IJsselmonde Shale is present. This is a marine claystone about 20 m. thick, that lies immediately on top of the paralic sands and clays of the Delfland Group. A well developed basal transgressive sand comparable to the Rijswijk Sandstone is not present. It may therefore be concluded that with the deposition of the Berkel Sandstone a regressive phase came to an end, after which the general transgressive process in the West Netherlands Basin continued again.

Evidently this involved the very rapid incursion of the sea over a large region inland. A thin sequence of marine clays with an occasional sand (layer) became deposited (IJsselmonde Shale), and this was followed by another important regressive phase, during which the IJsselmonde Sandstone became deposited.

The IJsselmonde Sandstone is a complex of sands about 150 m. thick, that is intercalated with clay layers that are usually thinner than a metre but that are sometimes as thick as about 10 m. On the basis of their genesis it must be assumed that at least some of these clay layers are of wide lateral extent. The complex of sands shows a distinct east-west orientation and is also to be found in the boreholes Eemhaven 1 and Lekkerkerk 1. It is self-evident that the greatest facies variation occurs in a direction perpendicular to this east-west orientation.

The sandstone generally has excellent reservoir properties, with porosities of 20 - 30% and permeabilities of 500 - 1000 mD, locally even of more than 10,000 mD.

a 5. Distribution of the sands

The distribution of the various sandstone complexes is shown in enclosure 2 (mainly after Bodenhausen and Ott, 1981). The Rijswijk Sandstone is found as a transgressive cover-sand in almost all of the northern part of the region concerned. The southern limit of its extent coincides approximately with the axis of the distribution area of the Berkel Sandstone. The latter is to be found in a long zone running eastwest to the north of Rotterdam, while the IJsselmonde Sandstone runs parallel to it just south of Rotterdam and the port area.

Enclosures 3 and 4 illustrate the structural style of this area.

2.b) Lower Saxony Basin

The western periphery of the Lower Saxony Basin is situated in the eastern part of Drenthe and the northeast of Twente. Also in this basin a number of tongues of sand are found in the clayey Vlieland Formation, namely: the Bentheim Sandstone and the Gildehaus Sandstone (see figures 3 and 9). Of these two sand layers the Bentheim Sandstone is, on account of its thickness and permeability, a considerably better aquifer than the thin and somewhat clayey Gildehaus Sandstone. The latter will therefore not be taken into consideration.

The Bentheim Sandstone is a "barrier sand", i.e. a former barrier bar (see figure 8). These deposits are characterized by an upward increase in grain size, while as a general rule the degree of sorting is very good. Completely in conformity with this the permeability in the sand increases from bottom to top (see as an example figure 10).

The Bentheim Sandstone in the Schoonebeek oilfield, where naturally it has been studied in great detail, consists in fact of three units of sand piled up so as to give an imbricate structure (see figure 11), of which the uppermost sand is qualitatively least important. The sands are separated from each other by thin clay layers, that nevertheless form an effective barrier, so that there is no communication between the sands other than where faulting has juxtaposed them. The lowermost sand and the middle sand reach thicknesses of 25 - 30 m., locally even 35 m. As a general rule, however, the total thickness of these sands is not more than 40 m.

The sands deposited in the region concerned have, however, been locally eroded away by later regional and local processes of uplift, as a result of which the present-day extent of this aquifer shows a picture that is far from coherent (figure 11 and enclosure 5).

4.c) Vlieland Basin

The Vlieland Basin can be regarded as the extremity of the Central North Sea Graben (figure 4). Also in this basin a transgressive sand was deposited: the Vlieland Sandstone (figure 12). This is a fairly fine-grained and somewhat clayey sand, that shows intensive bioturbation (repeated agitation by animals that formerly lived in the sand).

In the centre of the basin under the Wadden Sea the thickness is maximally 100 m., but elsewhere in the basin the thickness is less than 30 m. Toward the periphery of the basin the sand wedges out entirely.

The porosity of the sand is 15 - 22% and the permeability 1 - 30 mD. (Cottencon, Parant and Flacelière, 1975). This aquifer therefore provisionally is of little interest for geothermal energy production.

3. Conclusion

In the West-Netherlands Basin there are good possibilities for geothermal energy production from the Lower-Cretaceous. This area, in the province of South-Holland, is indicated on figure 1. The Lower Saxony Basin is of less interest because of the lesser depth and nett sand thicknesses. The Vlieland Basin is for the time being of relatively far less importance too, due to the modest nett sand thicknesses and permeabilities.

4. List of enclosures

1. Correlation Early Cretaceous aquifers De Lier 40 - Gaag 1.
2. Early Cretaceous aquifers in the West-Netherlands Basin.
3. Structural and stratigraphical sections De Lier - Leiden.
4. Structural and stratigraphical sections Den Haag - Ridderkerk.
5. Early Cretaceous (Bentheim Sandstone Member) aquifers.

5. Literature

1. Heybroek, P. (1974)
Explanation to tectonic maps of the Netherlands
Geol. Mijnbouw 53 nr. 2 pp 43-50.
2. Nederlandse Aardolie Maatschappij and Rijks Geologische Dienst
(1980)
Stratigraphic Nomenclature of The Netherlands
Verh. Kon. Ned. Geol. Mijnb. Gen. deel 32.
3. Staalduinen, C.J. van, H.A. van Adrichem Boogaert,
M.J.M. Bless, J.W.Chr. Doppert, H.M. Harsveldt, H.M. van Montfrans,
E. Oele, R.A. Wermuth and W.H. Zagwijn (1979)
The Geology of the Netherlands
Mededelingen Rijks Geologische Dienst vol. 31-2.
4. Bodenhausen, J.W.A. and W. Ott (1981)
Habitat of the Rijswijk Oil Province, Onshore, The Netherlands
Petroleum Geology of the Continental Shelf of North-West
Europe, Institute of Petroleum, London, Chapter 26, pp 301-309.
5. Pegrum, R.M., G. Rees en D. Naylor (1975)
Geology of the North-West European Continental Shelf,
Volume 2 The North Sea
Graham, Trotman Dudley Ltd., London.
6. Cottençon, A., B. Parant and G. Flacelière (1975)
Lower Cretaceous Gas-Fields in Holland
Petroleum and the Continental Shelf of North-West Europe,
Vol. I, Geology.
Barking (England).

7. 't Hart, B.B. (1969)

Die Oberjura und Unterkreide-Sedimentation in den nördlichen
und östlichen Niederlanden.

Erdöl und Kohle, Vol. 22, pp. 253-261.

Inventarisatie van de Rijnland Group
(Vlieland Formation) in Nederland
t.b.v. de winning van aardwarmte.

Rijks Geologische Dienst

Juli 1983

Projectno. 10370

Rapportno. 83KA11EX

Dit onderzoek is uitgevoerd onder contract no. EGA-1-017-NL (G)
tussen de Europese Economische Gemeenschap en de Rijks
Geologische Dienst.

Dit onderzoek is uitgevoerd in opdracht van het Projectbureau
Energieonderzoek van TNO, in het kader van het Nationaal
Onderzoekprogramma Aardwarmte - projectno. 90740.030.

Inhoudsopgave

1. Inleiding	- 1 -
- Doel van de studie	- 1 -
- Bestaande gegevens	- 1 -
- Beschikbaarheid bestaande gegevens voor deze studie	- 1 -
- Keuze aquifers	- 2 -
- Organisatie	- 2 -
- Rapportage	- 3 -
2. Rijnland Group - Vlieland Formation	- 4 -
- a. West-Nederland Bekken	- 6 -
- b. Nedersaksische Bekken	- 9 -
- c. Vlieland Bekken	- 10 -
3. Conclusie	- 10 -
4. Lijst van bijlagen	- 11 -
5. Literatuur	- 12 -

1. Inleiding

Doel van de studie

Het doel van dit project is het vaststellen van het geothermisch potentieel van diep liggende aquifers in Nederland. Hiertoe wordt een inventariserende studie van relevante gegevens gemaakt.

Bestaande gegevens

De belangrijkste bestaande gegevens zijn de resultaten van + 1500 diepe boringen, die grotendeels door de aardolie(-gas) industrie zijn gemaakt. Het betreft hier boorgruis en boorgatmetingen. In een aantal gevallen zijn kernen genomen. Deze boringen staan veelal in de structureel hoog gelegen gebieden, en bevatten dan ook relatief wat meer hiaten en dunne gesteentepakketten. Verder is de verdeling over het land nogal onregelmatig.

Van de meeste boringen is een lithologische interpretatie aanwezig, gebaseerd op het boorgruis en de boorgatmetingen. Voorts zijn er lithostratigrafische interpretaties, gebaseerd op de lithologie, ondersteund door paleontologisch onderzoek. In een aantal gevallen zijn waterproductieproeven gehouden over een bepaald interval.

In Nederland is verder een grote hoeveelheid reflectieseismologisch onderzoek gedaan, eveneens bijna geheel door de industrie. Deze gegevens zijn van wisselende kwaliteit, terwijl ook hier van een onregelmatige verdeling sprake is. De resultaten van dit soort onderzoek zijn op beperkte schaal gebruikt.

Door de industrie en door anderen wordt regelmatig gepubliceerd over de diepe ondergrond van Nederland. Hiervan is bij deze studie veelvuldig gebruik gemaakt.

Beschikbaarheid bestaande gegevens voor deze studie

Uit overleg met de industrie is gebleken dat de hiervoor genoemde

gegevens gebruikt konden worden bij deze globale, inventariserende studie. In de verslaggeving zijn de gegevens zelf echter niet opgenomen. De mate van detail is beperkt gebleven. Er is in Nederland de laatste jaren een toenemende activiteit en concurrentie bij het opsporen van koolwaterstoffen.

Keuze aquifers

De eisen waaraan een reservoirgesteente moet voldoen in het kader van het Nationaal Onderzoeksprogramma Aardwarmte zijn:

- a) voldoende dikte van het reservoir.
- b) voldoende doorlatendheid ervan en
- c) een grote laterale continuïteit.

De inventarisatie richt zich met name op de zandstenen in de diepe ondergrond. De carbonaatgesteenten, die elders op de wereld vaak uitstekende reservoir eigenschappen vertonen, zijn in Nederland voor de exploitatie van warm water ongeschikt, omdat zij zelden voldoen aan criterium b).

De zandstenen, die over het algemeen voldoen aan de bovengenoemde criteria, zijn in volgorde van hun ouderdom: de zandstenen en conglomeraten van de Slochteren Sandstone Formation (Upper Rotliegend Group, Perm), de zandstenen van de Main Buntsandstein Formation (Lower Germanic Trias Group, Trias) en de Bunter Group (Trias), en de mariene zanden van de Vlieland Formation (Rijnland Group, Onder-Krijt) in het West-Nederland Bekken (zie figuren 1 en 2). Zoals uit genoemde benamingen blijkt wordt de nomenclatuur gevolgd, zoals die is vastgelegd in de "Stratigraphic Nomenclature of the Netherlands" ook al is deze in de Engelse taal gesteld.

De kaartjes en diagrammen in de tekst zijn ontleend aan publicaties, die alle vermeld staan in het literatuurlijstje op de laatste pagina.

Organisatie

Deze studie is onderdeel van het Nationaal Onderzoekprogramma Aardwarmte. Dit wordt geleid door het Projectbureau Energieonderzoek

van TNO te Apeldoorn. Via deze instantie betaalt het Ministerie van Economische Zaken 50% van de kosten.

Voor het verrichten van deze studie is tevens een contract gesloten tussen de Europese Economische Gemeenschap en de Rijks Geologische Dienst.

De werkzaamheden worden grotendeels uitgevoerd door Drs. G. Milius te Assen.

Rapportage

In drie deelrapporten wordt achtereenvolgens verslag gedaan van de Buntsandstein, het Rotliegend, en het Onder Krijt (dit rapport). In het eindrapport zal dit worden gebundeld, en nog worden uitgebreid met:

- Krijtkalk en carbonische kalksteen in het zuiden van Nederland.
- Een beschouwing over de keuze van aquifers.
- Temperatuurkaarten.
- Een opgave van de aardwarmte reserves in Nederland.
- Aanbevelingen.

2. Rijnland Group - Vlieland Formation

In het Krijt (zie figuur 3) heersten in Nederland aanvankelijk paralische (grotendeels continentale, kustnabije) afzettings condities, die reeds waren aangevangen aan het einde van de Jura. De sedimentatie vond in hoofdzaak plaats in enkele tamelijk geïsoleerde bekkens t.w. de Nederlandse Centrale Slenk of Roerdal Slenk, het West-Nederland Bekken, het Centraal Nederland Bekken, het Breeveertien Bekken, het Vlieland Bekken en het Nedersaksische Bekken (figuur 4).

De algehele opheffing, die aan het eind van de Jura was ingezet, vond vermoedelijk een maximum in Laat Berriasien - Vroeg Valanginien tijd. Hierdoor werden de eerder afgezette paralische sedimenten weer geërodeerd. Slechts in enkele bekkens bleven zij bewaard.

Vanaf het Midden Valanginien trad een stapsgewijze rijzing van de zeespiegel op, waardoor de zee vanuit het centrum van de bekkens gaandeweg de bekkenranden transgredeerde. De mariene sedimenten, die vanaf deze tijd werden afgezet worden ondergebracht in de "Rijnland Group". Deze Group is te verdelen in de lithostratigrafische eenheden "Vlieland Formation" en de "Holland Formation". De goede aquifers van het Onder Krijt maken alle deel uit van de Vlieland Formation.

Op het contact met de onderliggende paralische sedimenten van de Delfland Group (in de meeste Onder Krijt bekkens) en de Nedersachsen Group (in het Nedersaksische Bekken) werd een dakpansgewijs overlappend basaal zand afgezet van doorgaans niet dikker dan 35 m. Dit is de Rijswijk Sandstone Member in het West-Nederland Bekken en de Bentheim Sandstone Member in het Nedersaksisch Bekken. Buiten Zuidwest Nederland en het Nedersaksische Bekken spreekt men van de Vlieland Sandstone Member.

Gedurende de regressieve fasen in deze over het algemeen transgressieve periode ontstonden vooral langs de zuidrand van het West-Nederland Bekken zandcomplexen, die bekkenwaarts uitwigen in de mariene Vlieland Shales. Deze zandcomplexen zijn, van onder naar boven, de Berkel Sand-Shale Member, de Berkel Sandstone Member en de IJsselmonde Sandstone Member. Zij zijn in wisselende mate met kleilagen doorschoten, en kunnen ieder dikten bereiken van meer dan 100 m.

Na afzettingen van een mariene klei (Eemhaven Shale) van wisselende dikte volgt tenslotte de afzetting van een serie dunne zanden en kleien (De Lier Sand-Shale Member). Deze wordt beschouwd als het distale deel van een verder naar het zuiden gelegen delta-complex. De top van dit zand/klei complex is tevens de top van de Vlieland Formatie. De zanden van het De Lier Sand-Shale Member komen vanwege hun geringe dikte (0,5 - 5 m) en hun slechte reservoir-eigenschappen niet in aanmerking voor de productie van aardwarmte. Van de andere zanden volgt op de volgende bladzijden een nadere beschrijving.

2. a) West-Nederland Bekken

Voor de verschillende zandcomplexen in dit bekken zijn de zanden, zoals aangetroffen in de putten De Lier 40, Berkel 2, Ridderkerk 2 en Eemhaven 1 als standaard voor die specifieke zandontwikkeling aangewezen.

a 1. Rijswijk Sandstone.

Deze zandsteen ontleent (zoals overigens ook de andere drie zanden) zijn naam aan het veld waarin hij voor het eerst olievoerend werd aangetroffen. Hij wordt beschouwd als een transgressief dekzand. Het is een over het algemeen massief, matig geconsolideerd zand, dat meestal met enkele dunne kleilaagjes doorschoten is. De gemiddelde dikte is 25 - 30 m, hoewel dikten van 50 - 60 m kunnen voorkomen. Zo is het zand in de standaardput De Lier 40 (figuur 5) bruto 67 m dik. Anderzijds komt het zand op sommige plaatsen sterk gereduceerd of in het geheel niet voor. In sommige olievelden varieert de dikte van nul tot vele tientallen meters over een afstand van nauwelijks 1500 m.

Deze verschillen in dikte worden door sommigen verklaard door het synsedimentair werkzaam zijn van breuken, maar geheel bevredigend is deze verklaring niet. Voorbeelden van dergelijke correlaties staan in bijlagen 1, 3 en 4. Dit probleem maakt het voorspellen van de dikte in een bepaald gebied van het bekken, vooral daar waar de putcontrole gering is, enigszins riskant.

De korrelgrootte van het zand is fijn tot middelgrof (i.h.a. $> 250 \mu\text{m}$) met vaak een of meer grofkorrelige lagen. De porositeit is 20 - 28%, terwijl de gemiddelde permeabiliteit 500 mD bedraagt met soms uitschieters van 1000 - 5000 mD over intervallen van 1 à 2 m.

a 2. Berkel Sand-Shale Member

Standaard voor deze gesteente eenheid is de put Berkel-Schiebroek 2 (zie figuur 6). Het pakket bestaat uit een ruim 100 m dikke afwisseling van fijnkorrelige zanden, silten en kleien. Verwacht moet worden, dat deze eenheid bekkenwaarts van de type-localiteit, dus in noordelijke richting, vrij snel zal verkleien. Daarentegen gaat hij zuidwaarts betrekkelijk snel over in een massief zand,

waardoor het verschil met de bovenliggende Berkel Sandstone Member verloren zal gaan. Daar waar deze twee lithostratigrafische eenheden één geheel vormen spreekt men van het Berkel Clastic Member.

Ten aanzien van de porositeiten en permeabiliteiten is vrijwel niets bekend. Deze zullen in ieder geval in de noord-zuid richting zeer verschillend kunnen zijn.

a 3. Berkel Sandstone Member (figuur 6)

Deze eenheid, die werd afgezet tijdens het hoogtepunt van de regressieve fase, is een massief zand, dat aan de basis geleidelijk overgaat in de Berkel Sand-Shale Member. In noordelijke richting wigt de Berkel Sandstone uit in de Vlieland Shale. Het is niet bekend tot hoever zuidelijk van de type-localiteit dit zandpakket zich uitstrekt. Evenmin is bekend hoe en waar het contact met de paralische kleien en zanden van de Delfland Group plaatsvindt.

Ook van porositeiten en permeabiliteiten is vrijwel niets bekend. Een enkele kern indiceerde een gemiddelde porositeit van 16 à 17% en een permeabiliteit van 10 - 1000 mD.

a 4. IJsselmonde Sandstone Member

Standaard voor dit zandcomplex is het zand dat werd aangetroffen in de put Ridderkerk 2 (figuur 7). Aan de basis van dit complex bevindt zich de IJsselmonde Shale. Dit is een mariene kleisteen van 20 m dik, die direct ligt op de paralische zanden en kleien van de Delfland Group. Een goed ontwikkeld basaal transgressief zand in de trant van de Rijswijk Sandstone is niet aanwezig. Daarom mag worden geconcludeerd, dat met de afzetting van de Berkel Sandstone een regressieve fase werd afgesloten waarna het algemeen transgressieve gebeuren in het West-Nederland Bekken zich weer voortzette. Kennelijk is hierbij de incursie van de zee zeer snel en over een groot gebied landinwaarts verlopen. Een dun pakket mariene kleien met een enkel zand werd afgezet (IJsselmonde Shale), waarna er weer een belangrijke regressieve fase plaatsvond tijdens welke de IJsselmonde Sandstone werd afgezet.

De IJsselmonde Sandstone is een ruim 150 m dik complex van zanden, dat doorschoten is met kleilagen, die meestal dunner dan

een meter zijn, maar die soms wel ca. 10 m dik zijn. Op grond van hun genese moet in ieder geval aan enkele van deze kleilagen een grote laterale verbreiding worden toegekend. Het complex van zanden vertoont een duidelijke oost-west strekking en wordt ook aangetroffen in de put Eemhaven 1 en Lekkerkerk 1. Het spreekt vanzelf, dat de grootste faciële variatie dwars op deze strekking plaatsvindt.

De zandsteen heeft over het algemeen uitstekende reservoir-eigenschappen met porositeiten van 20 - 30% en permeabiliteiten van 500 - 1000 mD, plaatselijk zelfs van meer dan 10.000 mD.

a 5. Verbreiding der zanden

De verbreiding der diverse zandsteencomplexen is weergegeven op bijlage 2 (grotendeels naar Bodenhausen en Ott, 1981). De Rijswijk Sandstone wordt als transgressief dekzand in vrijwel geheel het noordelijke deel van het onderhavige gebied aangetroffen. De zuidgrens van zijn voorkomen valt ongeveer samen met de as van het verspreidingsgebied van de Berkel Sandstone. Deze laatste treft men aan in een lange oost-west gerichte zone ten noorden van Rotterdam, terwijl de IJsselmonde Sandstone parallel eraan onder zuidelijk Rotterdam en het havengebied doorloopt.

De bijlagen 3 en 4 illustreren de structurele stijl van dit gebied.

2. b) Nedersaksische Bekken

De westelijke rand van het Nedersaksische Bekken bevindt zich in het oostelijke deel van Drente en het noordoosten van Twente. Ook in dit bekken worden een aantal zandtongen aangetroffen in de kleiïge Vlieland Formation, te weten: de Bentheim Sandstone en de Gildehaus Sandstone (zie figuren 3 en 9). Van deze twee zandlagen is de Bentheim Sandstone op grond van zijn dikte en doorlatendheid een aanzienlijk betere aquifer dan de dunne en enigszins kleiïge Gildehaus Sandstone. Deze laatste zal daarom buiten beschouwing kunnen blijven.

De Bentheim Sandstone is een "barrier sand". d.w.z. een voormalige strandwal (zie figuur 8). Deze afzetting wordt gekarakteriseerd door een opwaartse toename van de korrelgrootte, terwijl de sortering in het algemeen zeer goed is. Geheel in overeenstemming hiermee neemt de doorlatendheid in het zand van beneden naar boven toe (zie als voorbeeld figuur 10).

De Bentheim Sandstone in het olieveld Schoonebeek, waar hij uiteraard in groot detail is bestudeerd, bestaat in feite uit een dakpansgewijze stapeling van drie zandlichamen (figuur 11), waarvan het hoogstgelegen zand kwalitatief het minst belangrijk is. De zanden zijn van elkaar gescheiden door dunne kleilagen, die toch een effectieve barriere vormen, zodat er geen onderlinge communicatie is anders dan door juxtapositie langs breuken. Het onderste zand en het middelste zand bereiken dikten van 25 tot 30 m, lokaal zelfs 35 m; de gesommeerde dikte van deze zanden is echter doorgaans niet meer dan 40 m.

De in het onderhavige gebied afgezette zanden zijn echter door latere regionale en locale opheffingen plaatselijk weer geërodeerd, waardoor het huidige voorkomen van deze aquifer een verre van samenhangend beeld vertoont (figuur 11 en bijlage 5).

2. c) Vlieland Bekken

Het Vlieland Bekken kan worden opgevat als het uiteinde van de Centrale Slenk in de Noordzee, of Central North Sea Graben (figuur 4). Ook in dit bekken werd een transgressief zand afgezet: de Vlieland Sandstone (figuur 12). Het is een tamelijk fijnkorrelig en enigszins kleiïg zand, dat een intensieve bioturbatie (herhaald omwoelen door toenmaals in het zand levende dieren) vertoont.

In het centrum van het bekken onder de Waddenzee is de dikte maximaal 100 m, maar elders in het bekken is de dikte nog geen 30 m. Tegen de bekkenranden wigt het zand geheel uit.

De porositeit van het zand is 15 - 22% en de permeabiliteit 1 - 30 mD. (Cottençon, Parant en Flacelière, 1975). Deze aquifer is daarom voorlopig weinig aantrekkelijk voor de winning van aardwarmte.

3. Conclusie

Voor de winning van aardwarmte uit gesteenten van het Onder-Krijt zijn er goede mogelijkheden in het West-Nederland Bekken. De begrenzing van dit gebied, gelegen in Zuid-Holland, staat aangegeven op figuur 1. Het Nedersaksisch bekken is veel minder interessant wegens de geringe diepteligging en netto zanddikte. Het Vlieland Bekken is in eerste instantie eveneens van relatief veel minder belang, wegens de geringe netto zanddikte en permeabiliteit.

4. Lijst van bijlagen.

1. Correlation Early Cretaceous aquifers De Lier 40 - Gaag 1.
2. Early Cretaceous aquifers in the West-Netherlands Basin.
3. Structural and stratigraphical sections De Lier - Leiden.
4. Structural and stratigraphical sections Den Haag - Ridderkerk.
5. Early Cretaceous (Bentheim Sandstone Member) aquifers.

5. Literatuur.

1. Heybroek, P. (1974)
Explanation to tectonic maps of the Netherlands
Geol. Mijnbouw 53 nr. 2 pp 43-50.
2. Nederlandse Aardolie Maatschappij en Rijks Geologische Dienst
(1980)
Stratigraphic Nomenclature of The Netherlands
Verh. Kon. Ned. Geol. Mijnb. Gen. deel 32.
3. Staalduinen, C.J. van, H.A. van Adrichem Boogaert,
M.J.M. Bless, J.W.Chr. Doppert, H.M. Harsveldt, H.M. van Montfrans,
E. Oele, R.A. Wermuth en W.H. Zagwijn (1979)
The Geology of the Netherlands
Mededelingen Rijks Geologische Dienst vol. 31-2.
4. Bodenhausen, J.W.A. en W. Ott (1981)
Habitat of the Rijswijk Oil Province, Onshore, The Netherlands
Petroleum Geology of the Continental Shelf of North-West
Europe, Institute of Petroleum, London, Chapter 26, pp 301-309.
5. Pegrum, R.M., G. Rees en D. Naylor (1975)
Geology of the North-West European Continental Shelf,
Volume 2 The North Sea
Graham, Trotman Dudley Ltd., London.
6. Cottençon, A., B. Parant en G. Flacelière (1975)
Lower Cretaceous Gas-Fields in Holland
Petroleum and the Continental Shelf of North-West Europe,
Vol. I, Geology.
Barking (England).

7. 't Hart, B.B. (1969)

Die Oberjura und Unterkreide - Sedimentation in den nördlichen
und östlichen Niederlanden

Erdöl und Kohle, Vol. 22, pp 253-261.

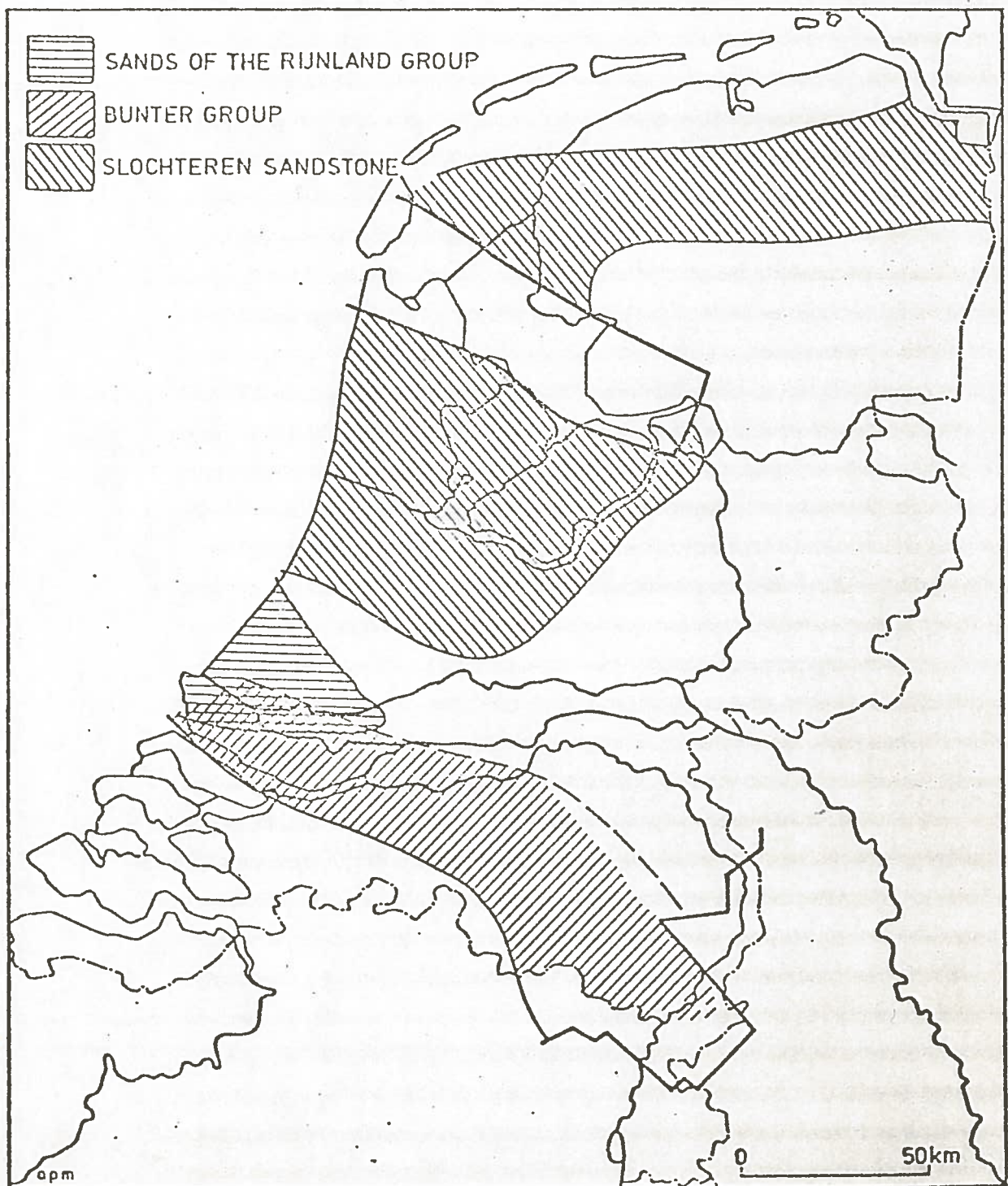


Fig.1 Main distribution of the three deep reservoirs
Belangrijkste voorkomen van de drie diepe reservoirs

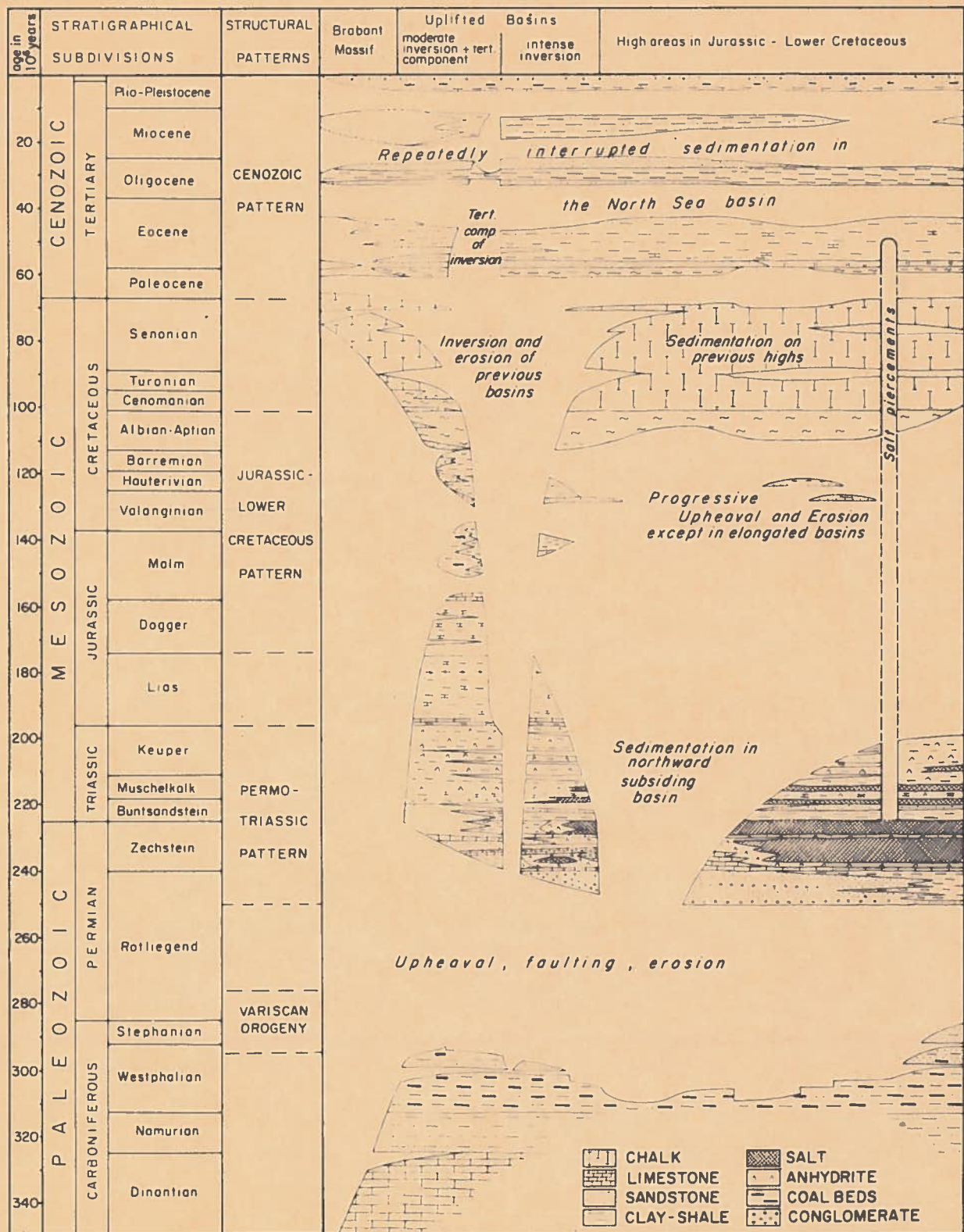


Fig.2 Scheme of geological events in the Netherlands (lit.2)
Geologische overzichtstabel Nederland (lit.2)

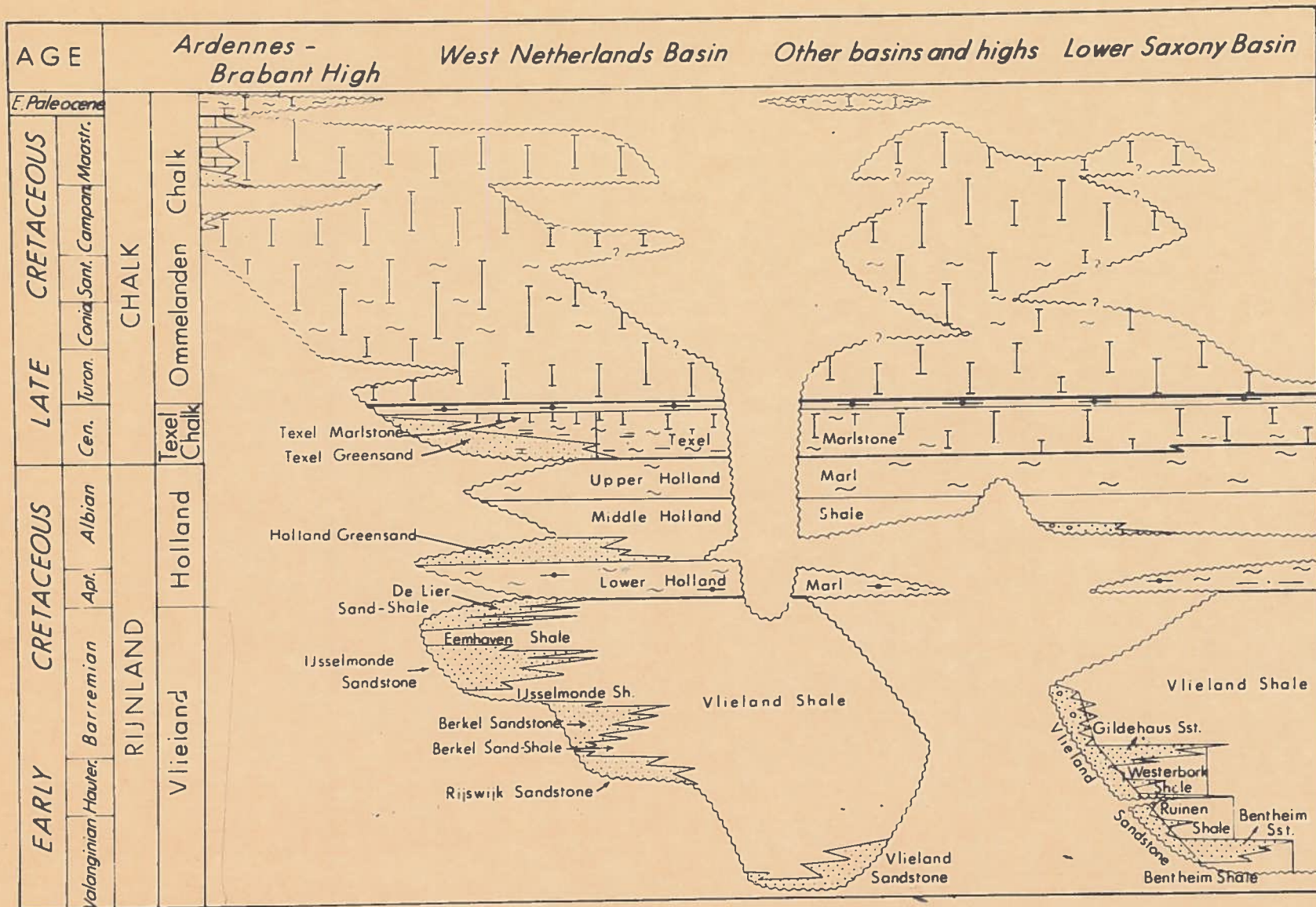


Fig. 3 Rock stratigraphic diagram of the Cretaceous: Rijnland and Chalk Groups (lit. 2)
 Lithostratigrafisch schema van het Krijt: Rijnland Group en Chalk Group (lit. 2)

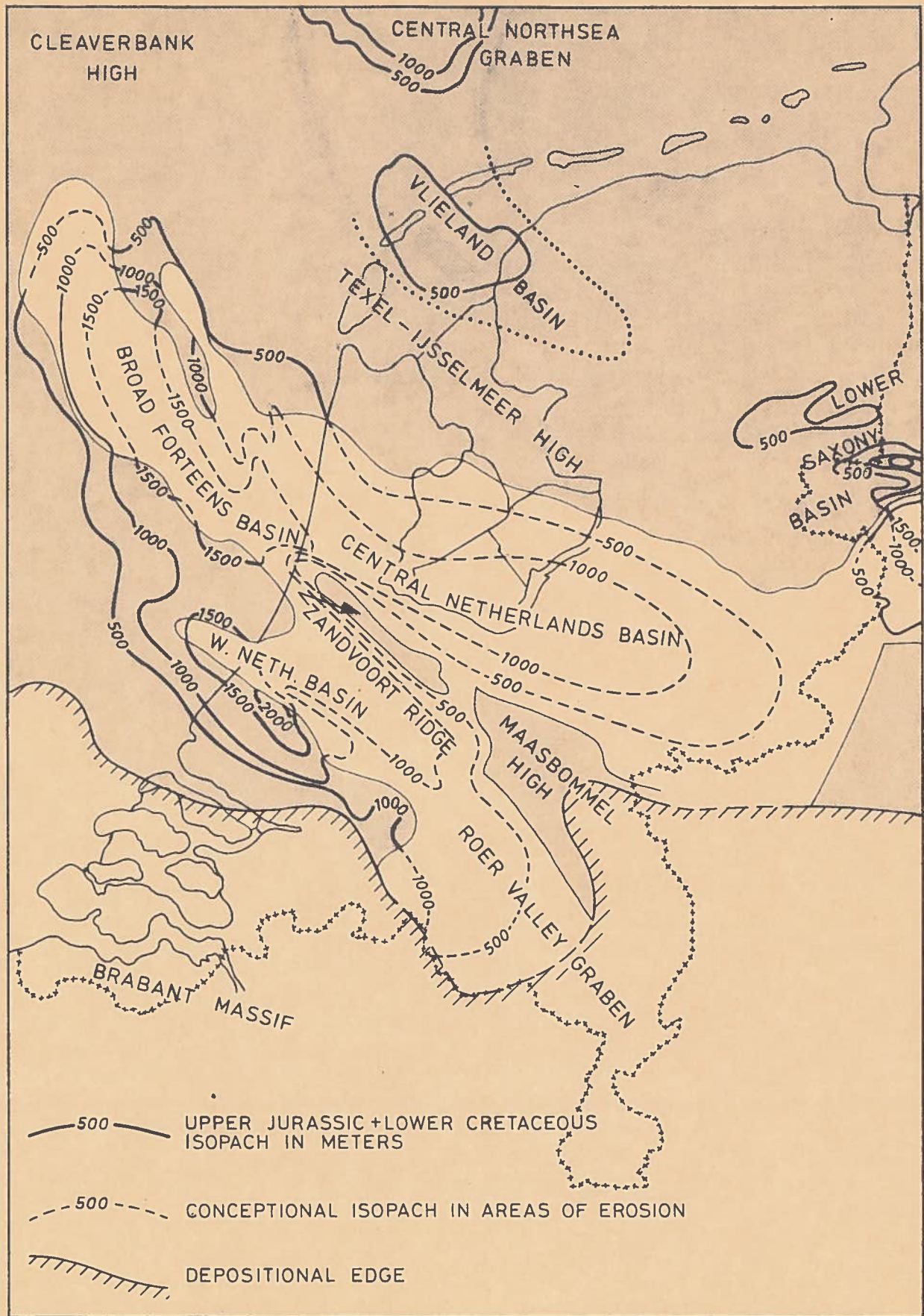


Fig. 4 Sedimentary basins of the Upper Jurassic and Lower Cretaceous (lit. 1)
Sedimentatie bekkens van de Boven Jura - Onder Krijt (lit. 1)

DE LIER - 40 (NAM)

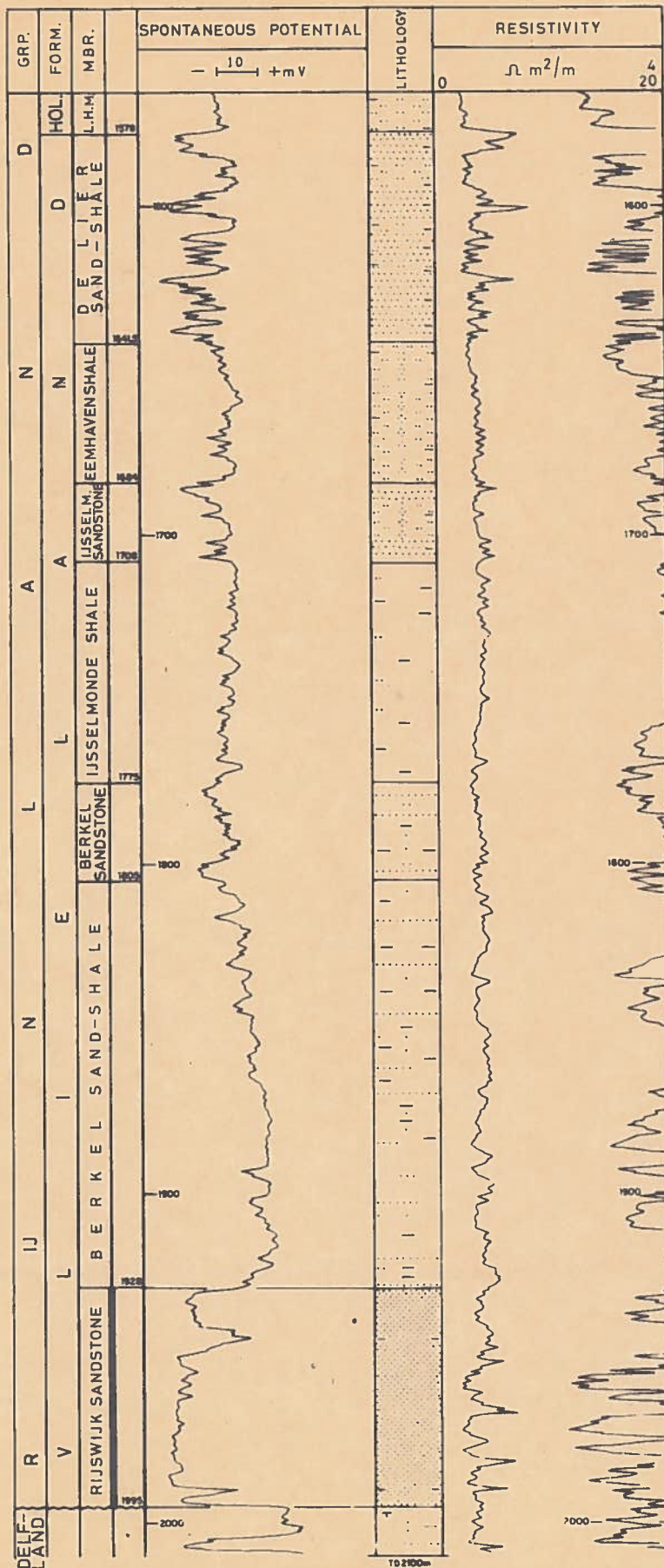


Fig. 5 Reference section for the Rijswijk Sandstone Member (lit. 2)
 Standaard put voor de Rijswijk Sandstone Member (lit. 2)

RIDDERKERK - 2 (NAM)

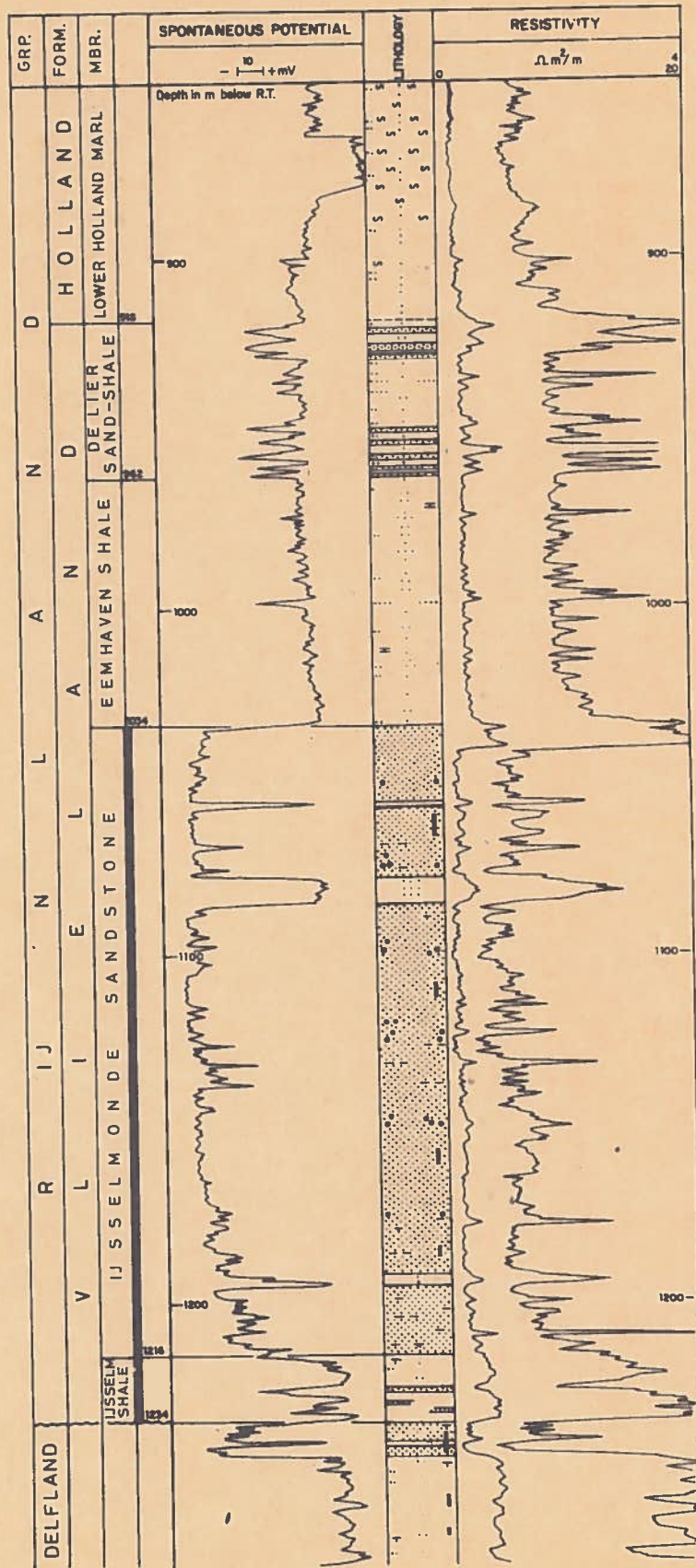


Fig. 7 Reference section for the IJsselmonde Sandstone Member (lit.2)
 Standaard put voor de IJsselmonde Sandstone Member (lit.2)

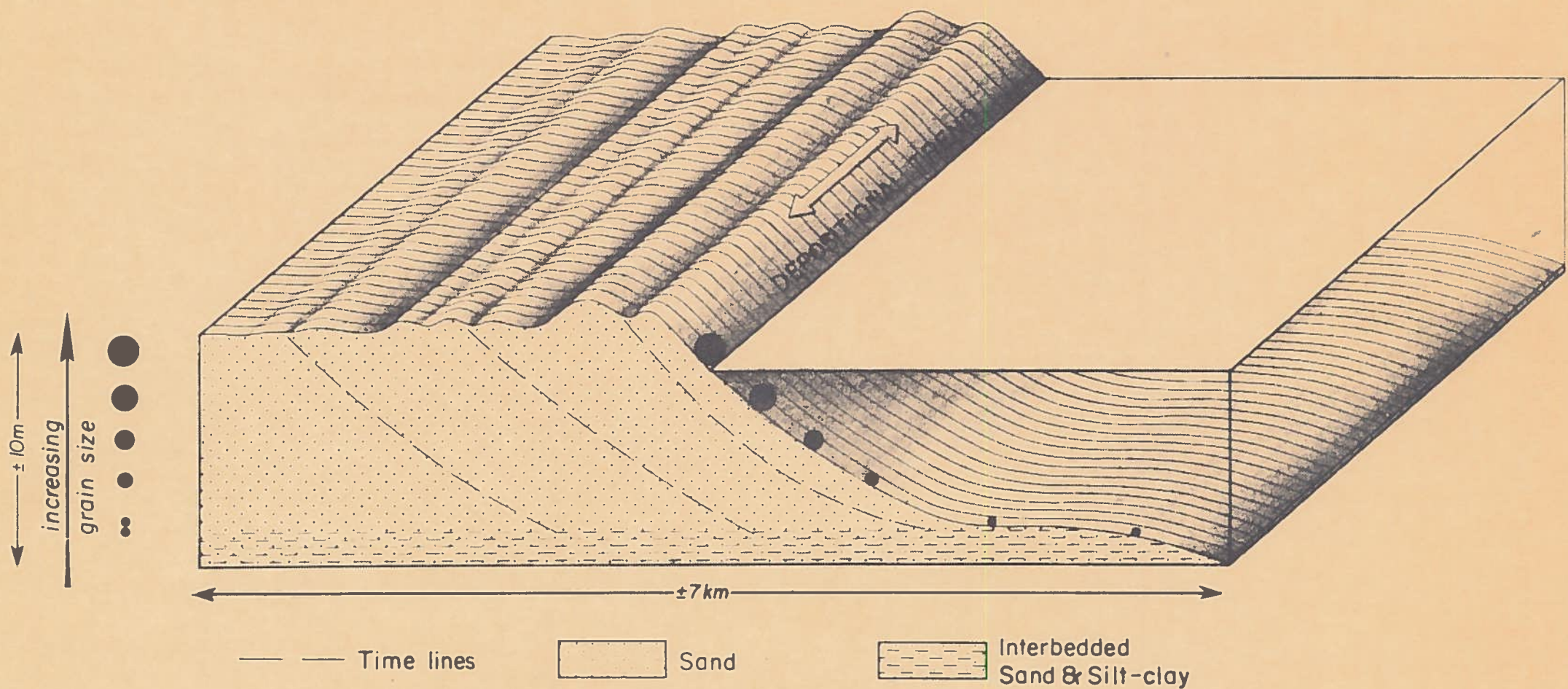


Fig. 8 Block diagram of a coastal barrier
Blokdiagram van een strandwal

WESTERBORK-1 (NAM)

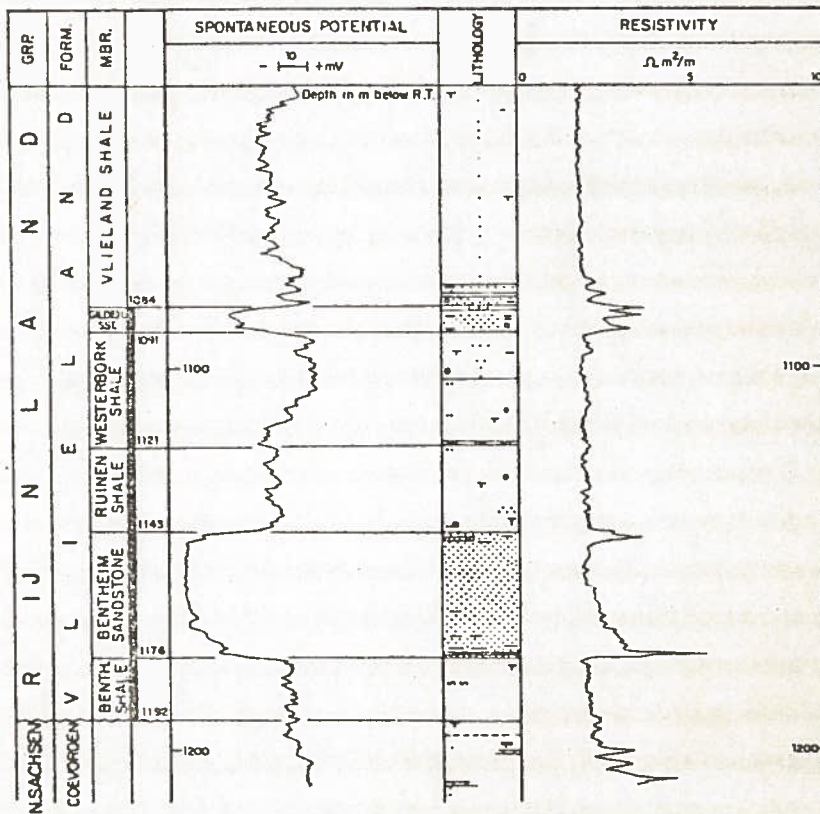


Fig. 9 Reference section for the Bentheim Sandstone Member (lit. 2)
Standaardput voor de Bentheim Sandstone Member (lit. 2)

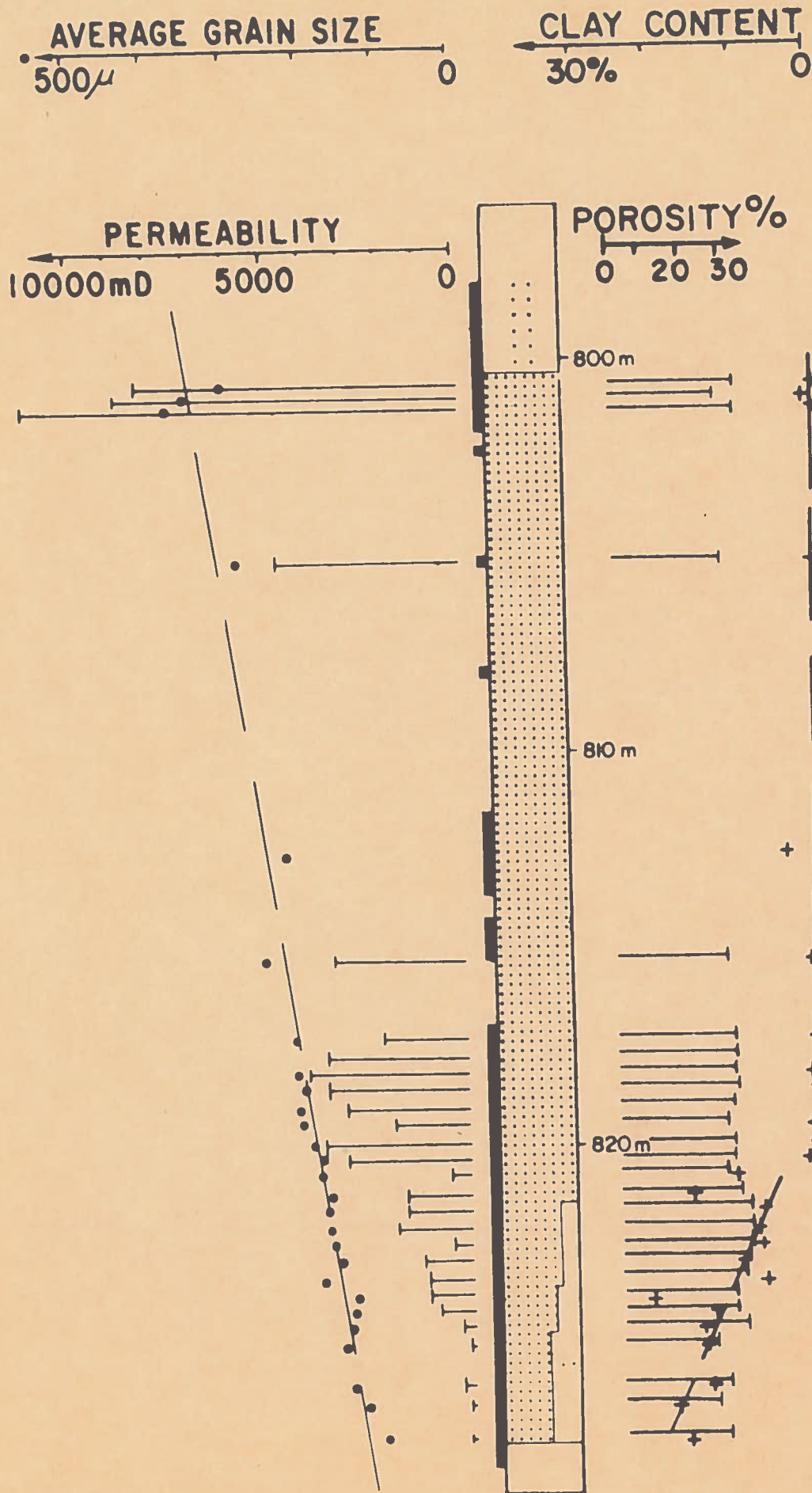


Fig.10 Schoonebeek 169 core data
Boorkern gegevens Schoonebeek 169

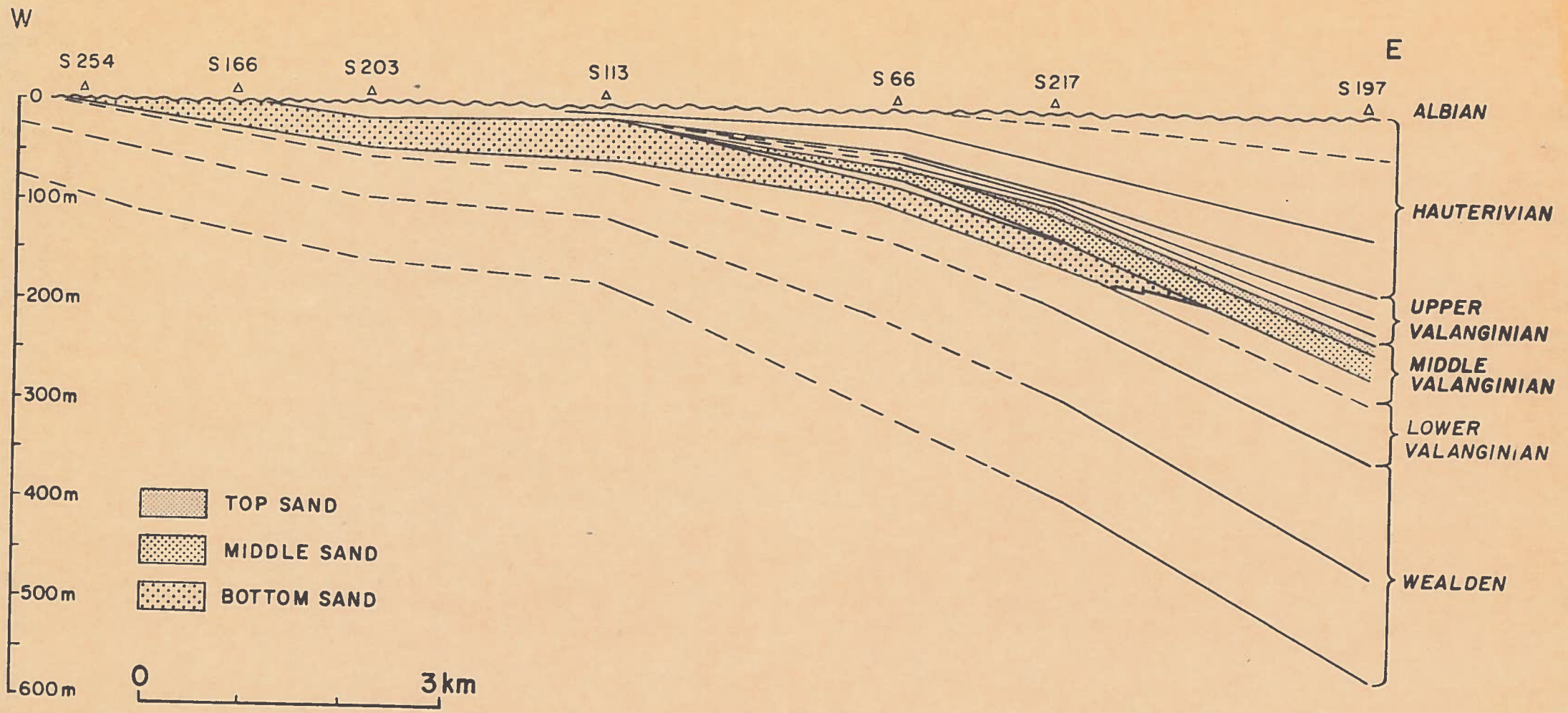


Fig. 11 W-E section through the Schoonebeek field
West-Oost profiel door het Schoonebeek veld

VLIELAND OOST-1(NAM)

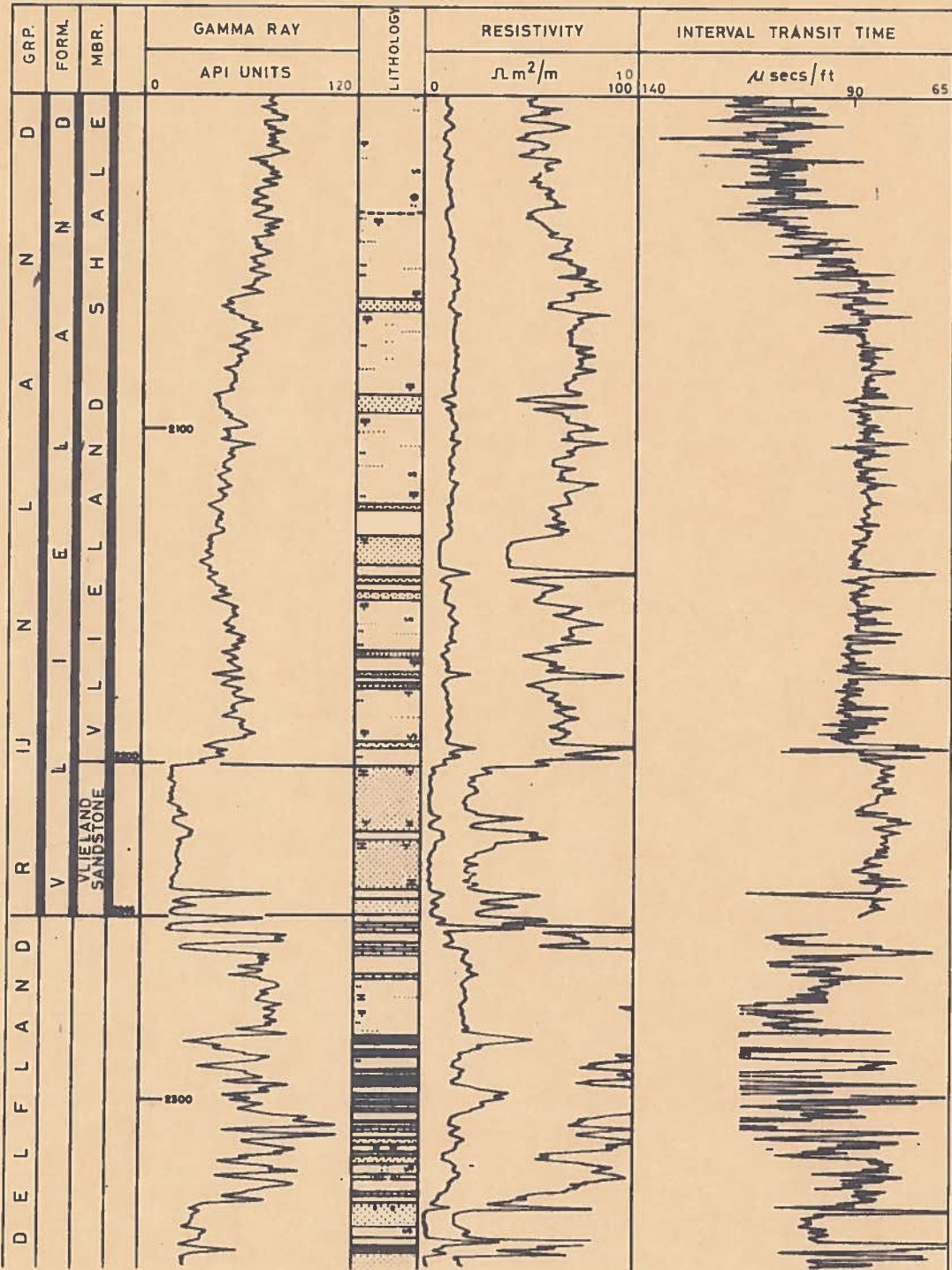
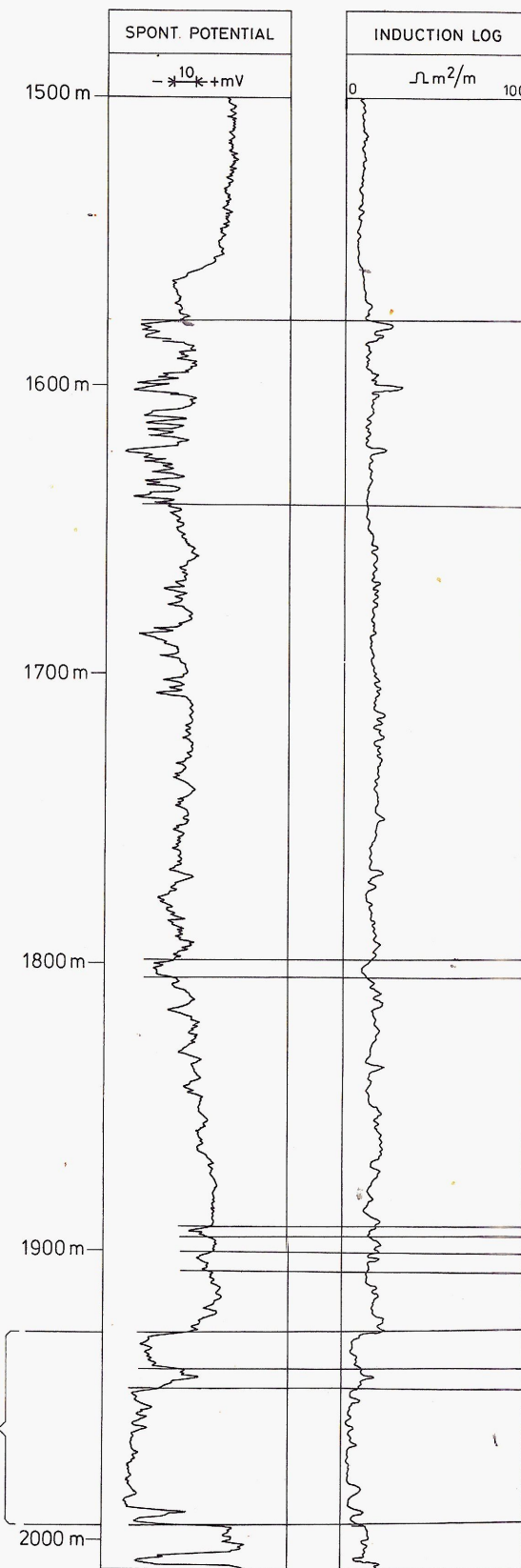


Fig.12 Reference section for the Vlieland-Formation (lit.2)
Standaard put voor de Vlieland Formatie (lit.2)

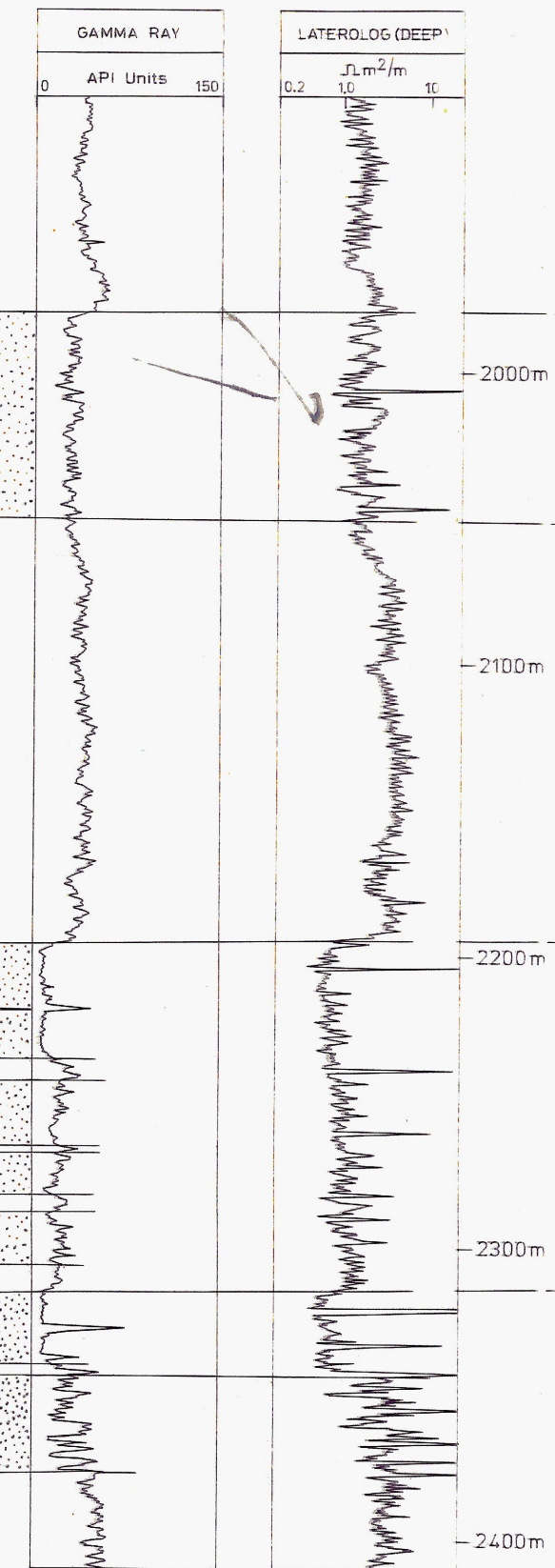
NNW

DE LIER 40 (NAM)



SSE

GAAG 1 (NAM)



Rijswijk Sandstone Member

De Lier Sand-Shale Member

Berkel Clastic Member

GEOLOGICAL SURVEY OF THE NETHERLANDS-HAARLEM
SUBSURFACE OIL AND GAS DEPARTMENT

GEOHERMAL POTENTIAL OF DEEP-LYING, LOW ENTHALPY
AQUIFERS IN THE NETHERLANDS











CORRELATION EARLY-CRETACEOUS AQUIFERS
DE LIER 40-GAAG 1

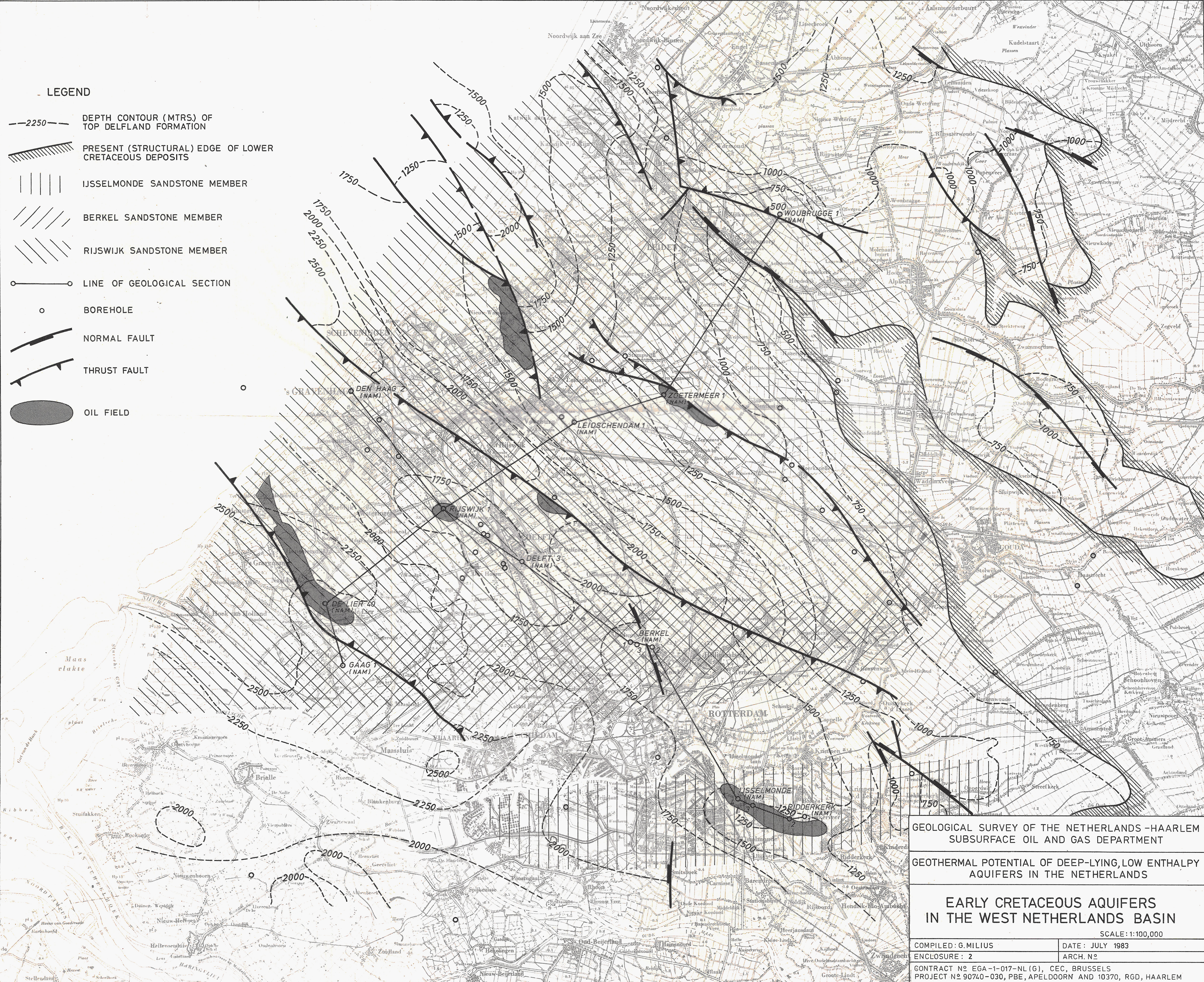
COMPILED : G.MILIUS DATE : MEI 1983

ENCLOSURE : 1 ARCH. N° D10 57

CONTRACT N° EGA-1-017-NL (G), CEC, BRUSSELS
PROJECT N° 90740-030, PBE, APELDOORN AND 10370, RGD, HAARLEM

LEGEND

-  DEPTH CONTOUR (MTRS.) OF TOP DELFLAND FORMATION
-  PRESENT (STRUCTURAL) EDGE OF LOWER CRETACEOUS DEPOSITS
-  IJSSELMONDE SANDSTONE MEMBER
-  BERKEL SANDSTONE MEMBER
-  RIJSWIJK SANDSTONE MEMBER
-  LINE OF GEOLOGICAL SECTION
-  BOREHOLE
-  NORMAL FAULT
-  THRUST FAULT
-  OIL FIELD



GEOLOGICAL SURVEY OF THE NETHERLANDS - HAARLEM
SUBSURFACE OIL AND GAS DEPARTMENT

GEOHERMAL POTENTIAL OF DEEP-LYING, LOW ENTHALPY
AQUIFERS IN THE NETHERLANDS

**EARLY CRETACEOUS AQUIFERS
IN THE WEST NETHERLANDS BASIN**

SCALE: 1:100,000

COMPILED: G. MILIUS

DATE: JULY 1983

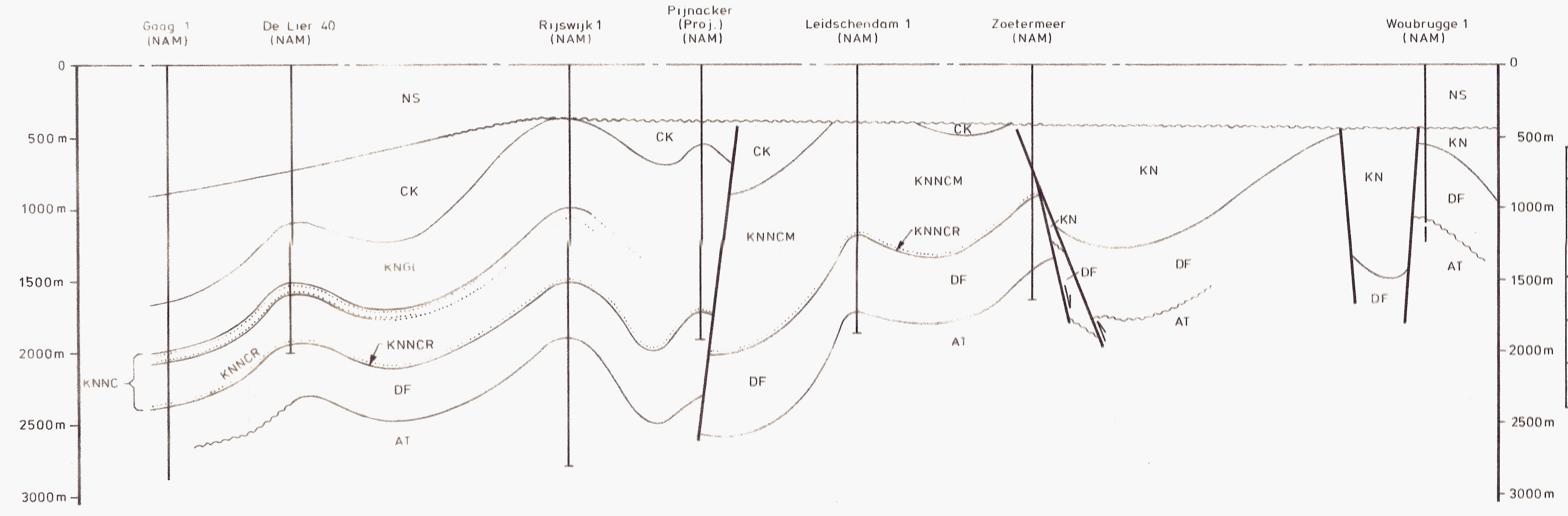
ENCLOSURE: 2

ARCH. N°

CONTRACT N° EGA-1-017-NL(G), CEC, BRUSSELS
PROJECT N° 90740-030, PBE, APELDOORN AND 10370, RGD, HAARLEM

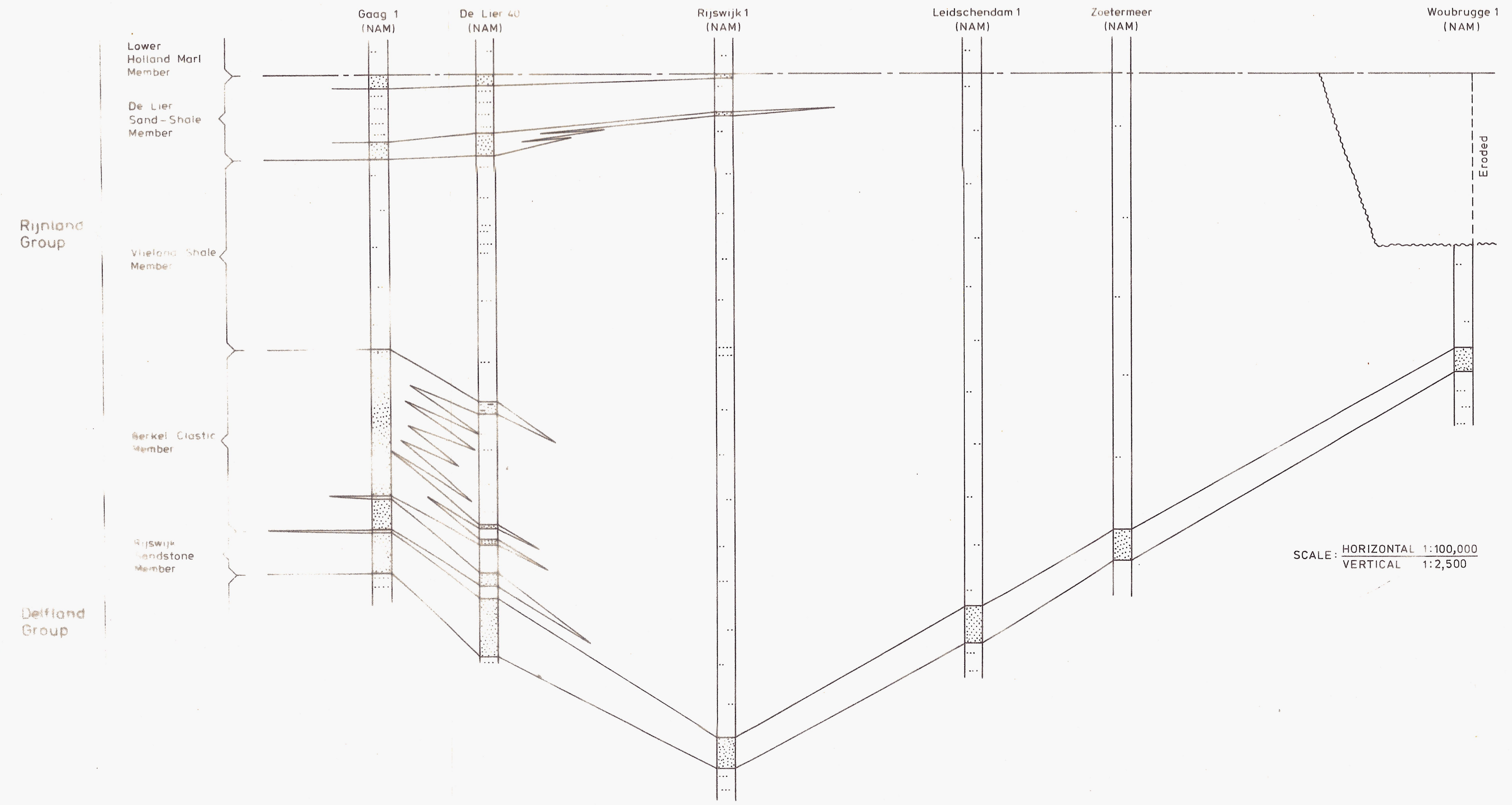
SSE NNW|SW NE

DE LIER RIJSWIJK LEIDEN

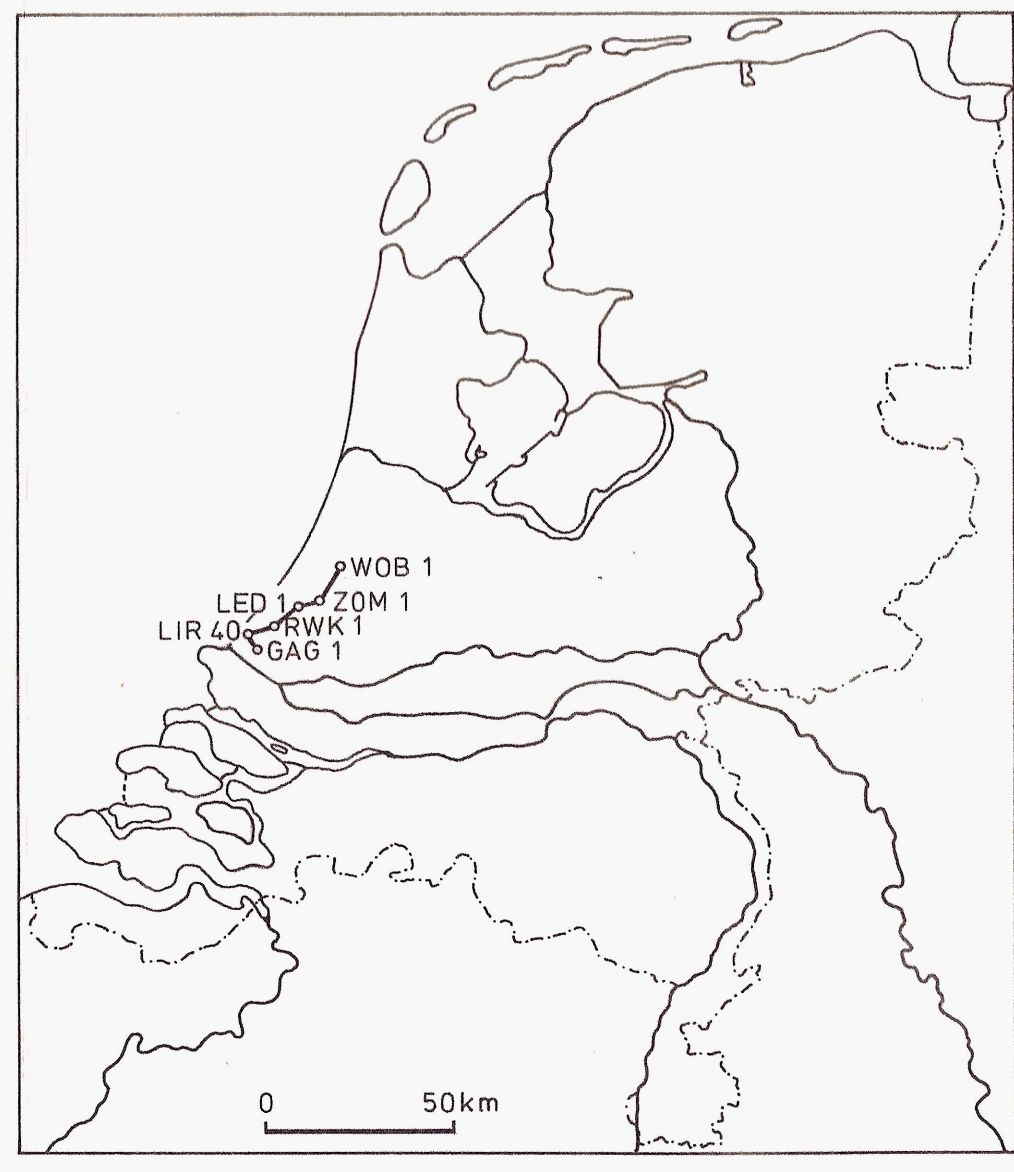


MEMBER		FORMATION		GROUP		AGE
				NS	NORTH SEA	QUATERNARY+TERTIARY
				CK	CHALK	LATE CRETACEOUS
		KNGL	HOLLAND			
KNNCL	DE LIER SAND-SHALE					
KNNCD	BERKEL CLASTIC	KNNCM	VLIELAND SHALE	KNNC	VLIELAND	KN RIJNLAND
KNNCR	RIJSWIJK SANDSTONE					EARLY CRETACEOUS
				DF	DELFLAND	LATE JURASSIC
				AT	ALTENA	EARLY+MIDDLE JURASSIC

SCALE: HORIZONTAL 1:100,000
VERTICAL 1:25,000



SCALE: HORIZONTAL 1:100,000
VERTICAL 1:2,500



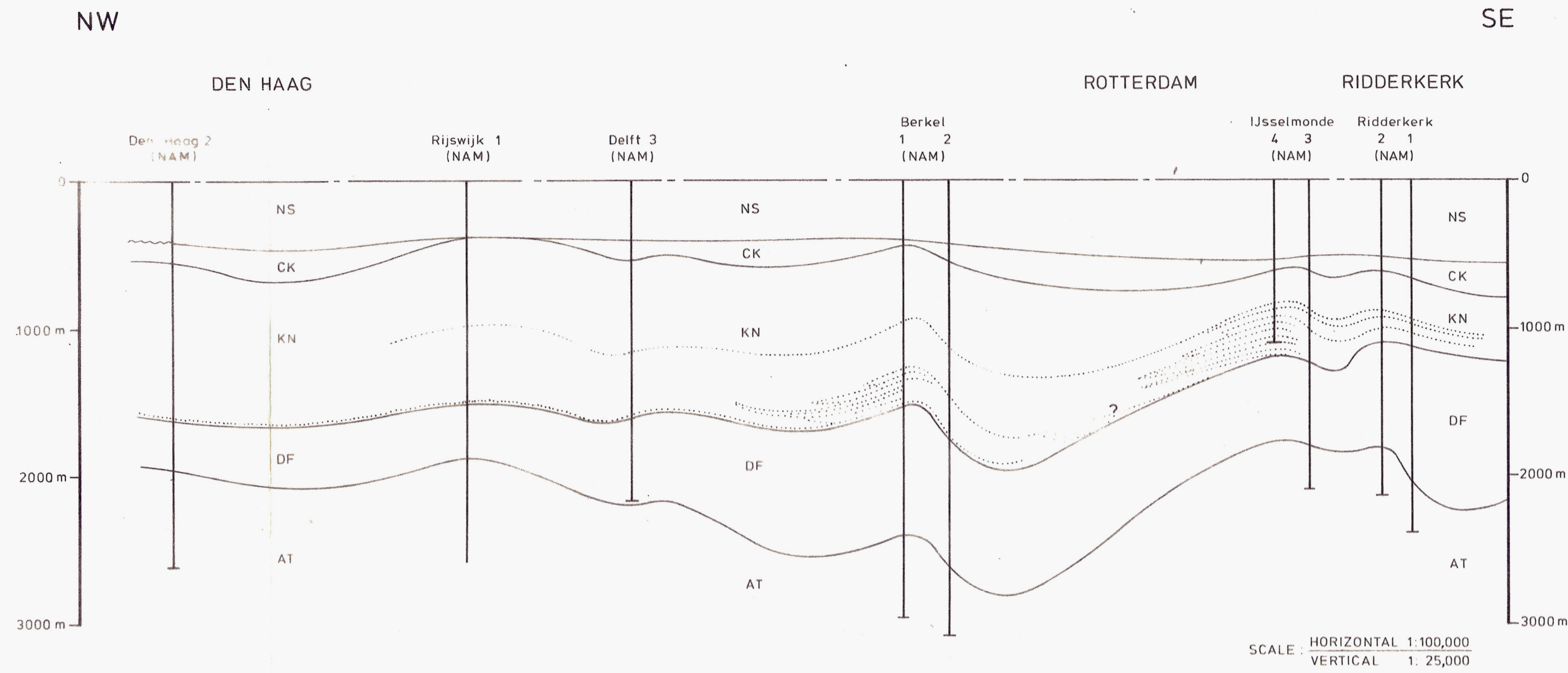
GEOLOGICAL SURVEY OF THE NETHERLANDS - HAARLEM
SUBSURFACE OIL AND GAS DEPARTMENT

GEOHERMAL POTENTIAL OF DEEP-LYING, LOW ENTHALPY
AQUIFERS IN THE NETHERLANDS

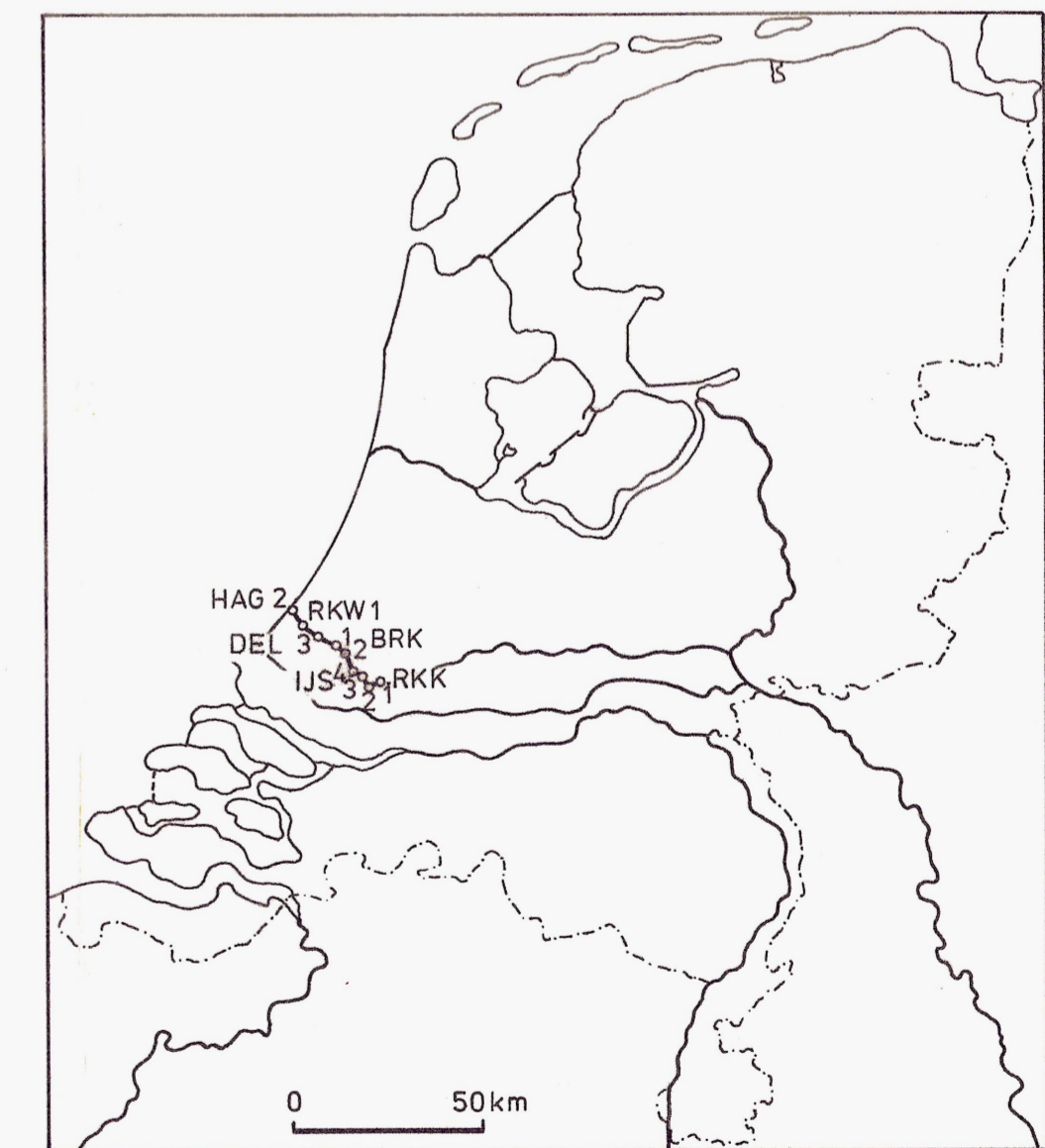
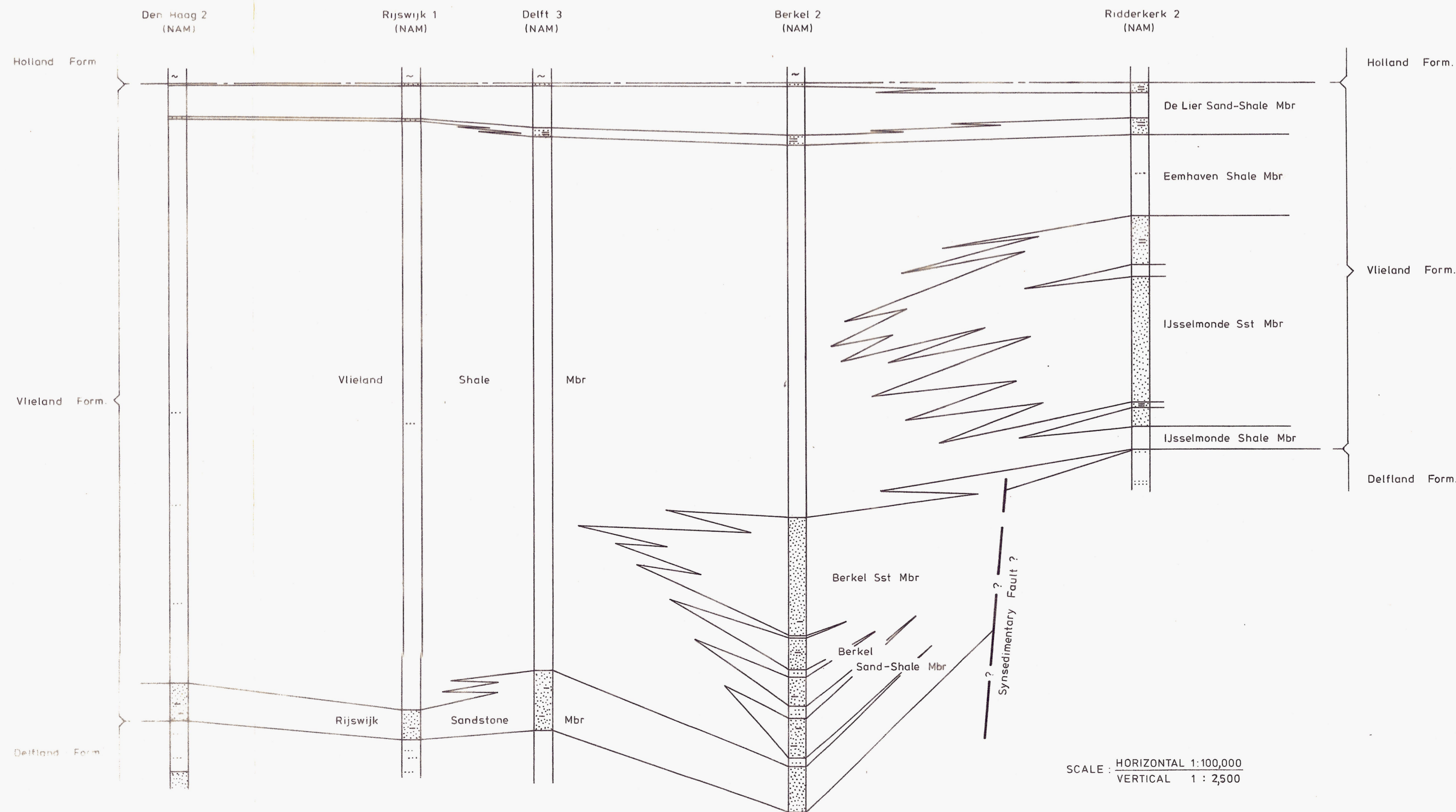
STRUCTURAL AND STRATIGRAPHICAL SECTIONS
DE LIER - LEIDEN

COMPILED: G. MILIUS DATE: APRIL 1983
ENCLOSURE: 3 ARCH. N° C10.57

CONTRACT N° EGA-1-017-NL(G), CEC, BRUSSELS
PROJECT N° 90740-030, PBE, APELDOORN AND 10370, RGD, HAARLEM



MEMBER	FORMATION	GROUP		AGE
		NS	NORTH SEA	QUATERNARY+TERTIARY
		CK	CHALK	LATE CRETACEOUS
	HOLLAND			
DE LIER SAND-SHALE	VLIELAND SHALE VLIELAND	KN	RIJNLAND	EARLY CRETACEOUS
EEMHAVEN SHALE				
IJSSELMONDE SANDSTONE				
IJSSELMONDE SHALE				
BERKEL SANDSTONE				
BERKEL SAND-SHALE				
RIJSWIJK SANDSTONE				
		DF	DELFLAND	LATE JURASSIC
		AT	ALTENA	EARLY JURASSIC



GEOLOGICAL SURVEY OF THE NETHERLANDS-HAARLEM
SUBSURFACE OIL AND GAS DEPARTMENT

GEOHERMAL POTENTIAL OF DEEP-LYING, LOW ENTHALPY
AQUIFERS IN THE NETHERLANDS








STRUCTURAL AND STRATIGRAPHICAL SECTIONS
DEN HAAG-RIDDERKERK

COMPILED: G. MILIUS DATE: JUNE 1983
ENCLOSURE: 4 ARCH. NO. C10 57

CONTRACT NO. EGA-1-017-NL (G), CEC, BRUSSELS
PROJECT NO. 90740-030, PBE, APeldoorn AND 10370, RGD, HAARLEM



LEGEND

-  NETT SAND THICKNESS (MTRS.)
-  DEPTH CONTOUR (MTRS.)
-  SALTPLUG
-  SHALY FACIES
-  FAULT
-  BOREHOLE
-  SCHOONEBEEK OIL FIELD

GEOLOGICAL SURVEY OF THE NETHERLANDS—HAARLEM
SUBSURFACE OIL AND GAS DEPARTMENT

GEOTHERMAL POTENTIAL OF DEEP-LYING, LOW ENTHALPY
AQUIFERS IN THE NETHERLANDS

**EARLY CRETACEOUS
(BENTHEIM SANDSTONE MEMBER)
AQUIFERS**

SCALE: 1:100,000

COMPILED: G. MILIUS
ENCLOSURE: 5

DATE: APRIL 1983
ARCH. N^o C10.57

CONTRACT N^o EGA-1-017-NL (6), CEC, BRUSSELS
PROJECT N^o 90740-030, PBE, APELDOORN AND 10370, RGD, HAARLEM