

01 FEB. 1983



Inventarisatie van de Lower Trias
Group in Nederland t.b.v. de
winning van aardwarmte.

Rijks Geologische Dienst
Juni 1982
Projectno. 10370
Reportno. 82DS21

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

blz.

1. Inleiding	- 1 -
- Doel van de studie	- 1 -
- Bestaande gegevens	- 1 -
- Beschikbaarheid bestaande gegevens voor deze studie	- 1 -
- Keuze aquifers	- 2 -
- Organisatie	- 3 -
- Rapportage	- 3 -
2. Lower Germanic Trias	- 4 -
- a. Oostelijk Nederland	- 7 -
- b. Westelijk Nederland	- 11 -
- c. Zuidelijk Nederland	- 13 -
3. Lijst van bijlagen	- 15 -
4. Literatuur	- 16 -

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, 2 en 3). 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 (dit rapport), het Rotliegend, en het Onder-Krijt in het West Nederland Bekken. In het eindrapport zal dit worden gebundeld, en nog worden uitgebreid met:

- Onder-Krijt zanden in oostelijk Nederland.
- Chalk en carbonische kalksteen in het uiterste zuiden van Nederland.
- Een beschouwing over de keuze van aquifers.
- Temperatuurkaarten.
- Een opgave van de aardwarmte reserves in Nederland.
- Aanbevelingen.

2. Lower Germanic Trias

Met het terugtrekken van de zee uit het Noordwest Europese Permo-Triassische Bekken kwam er een einde aan de mariene sedimentatie van de Zechstein. In het nog steeds voortdurend dalende bekken werden aanvankelijk onder terrestische omstandigheden clastische sedimenten afgezet. Later werden na een onderbreking van de sedimentatie (Hardeggen Unconformity) overwegend mariene clastica, carbonaten en evaporieten afgezet. Deze twee groepen van sedimenten worden genoemd de "Lower Germanic Trias Group" en de "Upper Germanic Trias Group". De eerstgenoemde bevat de aquifers, die voor een eventueel aardwarmte project in aanmerking komen.

Tijdens de afzetting van de Lower Germanic Trias werd, evenals tijdens de afzetting van het Rotliegend, een groot deel van Nederland ingenomen door een koepelvormige opwelling, de Netherlands Swell (zie fig. 4). Deze gedroeg zich tijdens de daling als een positief element, d.w.z. de daling ervan was minder sterk dan die van de flankerende bekkens Off Holland Low en Ems Low. Langs de zuidelijke rand van het bekken, die gevormd werd door het Massief van Brabant, werden overwegend dikke zandlagen afgezet, die vrijwel geen onderverdeling toestaan. Uit praktische overwegingen worden ze als één gesteente-eenheid beschouwd: de Bunter Group.

Verder bekkenwaarts is er een onderverdeling mogelijk in een onderste, hoofdzakelijk kleiïge sequentie: "Lower Buntsandstein Formation" en een hogere opeenvolging van zanden en kleien: "Main Buntsandstein Formation". In deze laatste formatie komt een afwisseling voor van duidelijk te herkennen zanden en kleien. Van boven naar beneden zijn het:

Hardeggen Member, een afwisseling van dunne zandstenen en siltige kleien;

Detfurth Claystone Member, een homogene enigszins siltige anhydritische kleisteen;

Detfurth Sandstone Member, meestal bestaande uit twee scherp te bepalen zandstenen die gescheiden worden door een anhydritische siltsteen of kleisteen;

Volpriehausen Clay-Siltstone Member, een kleisteen die naar boven toe steeds siltiger wordt om tenslotte over te gaan in de basis van de Detfurth Sandstone.

Volpriehausen Sandstone Member, een duidelijk afgebakende zandsteen.

Tijdens de afzetting van de Main Buntsandstein Formation kwamen door verschillen in dalingssnelheid onderbrekingen voor in de sedimentatie op de Netherlands Swell. De belangrijkste hiervan is de Hardeggen Unconformity, die gemarkeerd wordt door een aanzienlijke erosie van de eerder afgezette lagen. Hierdoor is op de Netherlands Swell zelfs de Lower Buntsandstein Formation ten dele verdwenen (zie fig. 5). Naar de bekkens van het Off Holland Low en het Ems Low toe zijn de bovengenoemde members steeds meer bewaard gebleven, totdat in de bekkens zelf het effect van de Hardeggen erosie niet meer aantoonbaar is (fig. 6).

In welke mate de aanwezigheid van de zandstenen van de Main Buntsandstein Formation door deze erosie-periode wordt bepaald wordt weergegeven in fig. 5. Latere opheffingsfasen met daarmee gepaard gaande erosie hebben het verspreidingspatroon verder gecompliceerd. Desondanks is het duidelijk dat Nederland op grond van het voorkomen van de diverse zanden kan worden verdeeld in drie gebieden:

Oostelijk Nederland waar de Volpriehausen- Detfurth- en Hardeggen

Sandstone Members worden aangetroffen,

Westelijk Nederland waar alleen de Volpriehausen Sandstone Member aanwezig is,

Zuidelijk Nederland waar de Bunter Group ontwikkeld is en de eerder geschetste onderverdeling niet is door te voeren.

Deze drie gebieden worden hierna behandeld.

Bijlage 1 toont de verbreiding, diepteligging en netto zanddikte van de Lower Germanic Trias Group en de Bunter Group gesteenten.

a. Oostelijk Nederland

Standaard voor dit gebied is de put Blijham 1 (fig. 7), waarin de sequentie het meest compleet aanwezig is (Nederlandse Aardolie Maatschappij en Rijks Geologische Dienst, 1980). Gezien de positie van het onderhavige gebied ten opzichte van de Netherlands Swell, is het duidelijk dat in een westelijke richting een progressieve uitsnijding door erosie heeft plaatsgevonden (Hardegse Unconformity), terwijl in een oostelijke richting een verdikking van de diverse members kan worden waargenomen. Maar ook in de noord-zuid richting treden vrij sterke dikte veranderingen op (bijlage 2).

In het onderstaande zullen de diverse aquifers in volgorde van hun afzetting behandeld worden.

à 1. Volpriehausen Sandstone

Deze aquifer is het dikst ontwikkeld in zuidoost Drente, waar hij 14 - 19 m dik is tegen 6 m bruto in Blijham 1 en 10 m bruto in Rammelbeek 2. De schaarse ter beschikking staande gegevens wijzen op een gemiddelde porositeit van 14% tot 23% in zuidoost Drente. Omtrent de permeabiliteit zijn de gegevens nog schaarser. Slechts in één geval werd deze aan een kern gemeten (Roswinkel 1) en bedroeg daar gemiddeld 600 mD (12 - 1670 mD) bij een gemiddelde porositeit van 22% (9 - 28%).

a 2. Detfurth Sandstone.

Deze gesteente eenheid bestaat in feite uit twee zandsteenbanken gescheiden door een ca. 8 m dikke kleisteen. Vooral de onderste zandsteenbank vertoont aanmerkelijke variaties in dikte en wel van ca. 20 m in Twente en zuidoost Groningen tot ca. 10 m in zuidoost Drente. De bovenste bank is veel constanter van dikte nl. 4 - 6 m in Groningen en Drente. In Twente is zijn

dikte 10 - 15 m. De gemiddelde porositeit van beide banken tezamen bedraagt 13% - 18%. De gemiddelde permeabiliteit, gemeten aan een kern (Roswinkel 1) bedroeg 583 mD, bij een gemiddelde porositeit van 18,7%.

a 3. Hardeggen Sandstone.

In de standaardput Blijham 1 manifesteert deze gesteente eenheid zich als een aantal dunne zanden, die opwaarts wat dikker worden en die door dunne kleilagen van elkaar gescheiden worden. In een groot deel van Drente is de Hardeggen Sandstone grotendeels ten offer gevallen aan de Hardeggen erosie, zodat de laterale veranderingen ervan niet zijn na te gaan. Hoewel in Twente de bruto zanddikte groter is dan in Blijham is de netto-dikte hier gering vanwege de vele ingeschakelde kleilagen. Omtrent porositeit en permeabiliteit zijn geen gegevens beschikbaar. Voor een aardwarmte project komt dit zand echter beslist niet in aanmerking.

a.4. Solling Sandstone.

Plaatselijk komt boven de Hardeggen Unconformity een zand voor aan de basis van de Solling Claystone member (Upper Germanic Trias Group) t.w. de Solling Sandstone (zie fig. 6). Het is een nogal controversieel zand, omdat het vaak moeilijk is uit te maken waar het discordantievlak zich ten opzichte van het zand bevindt: er onder, er boven, of er ergens middenin. Dit probleem doet zich met name voor in de omgeving rond Emmen, waar het moeilijk is om uit te maken of misschien hier de Solling sandstone direct ligt op het basale Zand van de Hardeggen Sandstone. In dit rapport is ervan uitgegaan, dat het discordantievlak zich steeds onder het zand bevindt. Vanuit die gezichtshoek bezien is de Solling sst. in het algemeen dunner dan 16 m. Het zand is doorgaans sterk gecementeerd met anhydriet en dolomiet, terwijl soms de poriën gevuld zijn met steenzout. De porositeit

en permeabiliteit zijn derhalve zeer laag.

Conclusie

Van de vier zandsteenlagen in de Germanic Trias van Oostelijk Nederland is de Volpriehausen Sandstone de beste aquifer. De geschatte productiviteit per meter van 1,5 m³/dag/bar, zoals berekend uit de productietest van Roswinkel 6 (zie tabel 1) lijkt echter onvoldoende te zijn voor een aardwarmte project. Bovendien moet er rekening mee worden gehouden, dat gevoelsmatig deze aquifer in het Roswinkelveld beter is ontwikkeld dan elders in zuidoost Drente. Of de simultane productie van alle aquifers in één put (indien dit technisch mogelijk en wenselijk is) een drastische verhoging van het debiet met zich zou brengen dient nog te worden onderzocht.

Met betrekking tot de keuze van een injectie-locatie kan gesteld worden, dat de tectoniek van de aquifers betrekkelijk rustig is. Deze wordt bepaald door de plastische veranderingen van het eronder liggende Zechstein zout, dat als een buffer de breuktectoniek van het "basement" heeft opgevangen. Slechts boven de zoutopwelvingen zijn rekbreuken ontstaan, die de samenhang van de aquifers hebben verbroken.

Aquifer: Volpriehausen Sandstone Member
Dikte: 20 m bruto, 18 m netto
Porositeit: 19%
Permeabiliteit: berekend uit de test ca. 260 mD.
Druk: 334 bar op 2300 m TV.
Geperforeerd interval: 17 m.
Temperatuur: 90°C op 2300 m
Stijgbuis: 5" tubing

Productie: 112 m³ in 160 minuten
Temp. water: 60°C aan de putmond
Max. debiet: 1008 m³ per dag
Drawdown: 39 bar

De geschatte productiviteit per meter geperforeerd zand bedraagt ca. 1,5 m³/dag/bar.

Toelichting

In het gasveld Roswinkel (NAM) is in de put Roswinkel 6 in de Volpriehausen Sandstone, die daarin watervoerend werd aangetroffen, in 1980 een productieproef uitgevoerd om de productiviteit van deze zandsteen te leren kennen. Het betreft hier spuitende productie, waarbij opgemerkt moet worden dat de aquifer een overdruk vertoonde van 70 bar. Ook elders in Drente heerst in de aquifers van de Lower Germanic Trias een vrij belangrijke overdruk. Het is nog niet bekend in welke mate deze overdruk afneemt naarmate de gasproductie uit deze zanden in de velden Roswinkel en Sleen vordert.

Tabel 1 - Waterproductieproef Roswinkel 6.

b. Westelijk Nederland

Standaard voor dit gebied is de Noordzeeput L2-1, (fig. 8) die de complete sequentie vertoont. Op het vasteland treffen we echter in de Lower Germanic Trias alleen de Volpriehausen sst. aan. De stratigrafisch hogere zanden zijn allen afgesneden door de Hardegse Unconformity. Verder naar het oosten, naarmate de Netherlands Swell genaderd wordt ondergaat ook de Volpriehausen dit lot. Zie ook bijlage 3.

b 1. Volpriehausen Sandstone.

Deze zandsteen, die in L2-1 als een massief zand van 47 m is ontwikkeld, zonder klei-inschakelingen, is in Noord-Holland wat gecompliceerder van opbouw. Het zand laat een onderverdeling in drieën toe:

een topdeel dat blijkens zijn petrofysische karakteristiek de beste reservoir-eigenschappen heeft; de dikte varieert van ca. 15 m tot 25 m.

een middendeel van ca. 5 m dik waarin dunne kleienschakelingen voorkomen en

een onderste deel van ca. 10 m, dat sterkgecementeerd en weinig poreus is.

Omtrent de porositeit en permeabiliteit van de zandsteen is weinig bekend. Voor zover er gegevens ter beschikking staan wijzen ze op een gemiddelde porositeit variërend van 7,8% tot 21%. Met deze laatste porositeit correspondeert een permeabiliteit van 300 - 400 mD.

b 2. Solling Sandstone.

In een groot deel van het onderhavige gebied komt de Solling Sandstone voor. Deze lithologische eenheid van ongeveer 8 m dik bestaat uit een vijftal dunne, door kleilagen gescheiden

zanden. Voor een aardwarmte project komt deze zandsteen niet in aanmerking.

Conclusie

Zelfs daar, waar de Volpriehausen Sst. het best ontwikkeld werd aangetroffen, is hij onaantrekkelijk voor de ontwikkeling van een aardwarmte project, mede omdat de diepte waarop hij wordt aangetroffen de 2000 m ternauwernood overtreft.

c. Zuidelijk Nederland

In dit gebied treft men de overgang aan van de drie zandcomplexen van de Main Buntsandstein Formation, zoals die in het voorgaande beschreven is, naar de massief zandige ontwikkeling langs de rand van het bekken. Zie hierbij bijlage 4. Standaard voor dit gebied zijn dan ook twee putten, te weten Buurmalsen 1 en Nederweert 1. Op grond van de analogie met de faciële ontwikkeling in Engeland wordt in dit gebied de Engelse lithostratigrafische naam Bunter Group gebruikt. (Nederlandse Aardolie Maatschappij en Rijks Geologische Dienst, 1981). Aanvankelijk is de Main Buntsandstein Formation nog te herkennen in de Middle Bunter Formation (Buurmalsen 1), maar vooral de positie van de Hardeggen Unconformity die toch zeker ook in dit gebied een rol heeft gespeeld, is niet met zekerheid aan te wijzen (zie fig. 9).

Uitgaande van het viertal zandcomplexen van Buurmalsen 1 is er in de Middle Bunter een zekere correlatie mogelijk in noordwestelijke richting ongeveer parallel aan de bekkenrand. Deze correlatie indiceert een zandiger worden van tenminste het onderste zandcomplex, dat tot Woubrugge vervolgd kan worden. De hogere zanden zijn successievelijk geërodeerd tijdens de Hardeggen erosie. Zuidwaarts naar de bekkenrand toe is een snelle facieswisseling waarneembaar, waarbij de afzonderlijke zandcomplexen in elkaar overgaan tot een massief zand van de Bunter Group.

De kwaliteit van de Bunter zanden is in het algemeen niet zo goed door vele dunne klei-inschakelingen en door vermoedelijk vroeg diagenetische processen, waarbij de zanden vaak sterk gecementeerd zijn door anhydriet en dolomiet. Desondanks komen er in sommige putten (Spijkenisse 1, Asten 1) op verschillend

stratigrafisch niveau dikke trajecten voor met relatief goede reservoir eigenschappen (Spijkenisse 1 van 2670 m - 2742 m; Asten 1 van 2410 m - 2480 m). Ten aanzien van exacte waarden omtrent porositeit en permeabiliteit is echter niets bekend. Om de gedachten te bepalen lijken gemiddelde waarden van 15% porositeit en 50 mD echter aannemelijk.

Conclusie

In zuidelijk Nederland neemt de kans op een dik, massief zand toe naar de rand van het bekken. Om de gedachten te bepalen liggen de beste kansen op massieve zandpakketten van minstens 50 m dik in een strook die loopt van Nederweert/Asten tot Spijkenisse. Ten noorden van deze strook valt het massieve zand vrij snel uiteen in een aantal individuele zanden, die gescheiden worden door kleilagen. Bovendien zijn ze ieder steeds meer met kleilaagjes doorschoten, wat de permeabiliteit niet ten goede komt.

Een eventueel aardwarmteproject kan derhalve het beste gesitueerd worden in de eerder genoemde strook. Omtrent de reservoir eigenschappen van de aquifer kan echter geen betrouwbare prognose gegeven worden. Die zullen moeten worden bepaald in de eerste boring.

Structureel is het onderhavige gebied sterk gebroken. De hoofdrichting van de breuken, die een aanzienlijke spronghoogte kunnen hebben, is zuidoost-noordwest. Een gedetailleerde seismische verkenning is noodzakelijk voordat tot de situering van een eventueel doublet besloten wordt.

3. Lijst van bijlagen

1. Triassic aquifers.
2. Structural and stratigraphical sections
Doetinchem - Winschoten.
3. Structural and stratigraphical sections
Bergen op Zoom - Texel.
4. Structural and stratigraphical sections
Alphen aan de Rijn - Weert

4. Literatuur

1. Bodenhausen, J.W.A. en W.F. Ott (1981)
Habitat of the Rijswijk Oil Province, Onshore, the Netherlands
Petroleum Geology of the Continental Shelf of N.W. Europe
2. Heybroek, P. (1974).
Explanation to tectonic maps of the Netherlands
Geol. Mijnbouw 53 nr. 2 pp 43-50
3. Nederlandse Aardolie Maatschappij en Rijks Geologische Dienst
(1980)
Stratigraphic Nomenclature of The Netherlands
Verh. Kon.Ned.Geol.Mijnb.Gen. deel 32
4. Staalduinen, C.J. van, e.a. (1979)
The Geology of the Netherlands
Meded. Rijks Geologische Dienst 31-2
5. Wijhe, D.H. van, e.a. (1980)
The Rotliegend in the Netherlands and its gas accumulations
Geol. Mijnbouw 59 nr. 1 pp 3-24

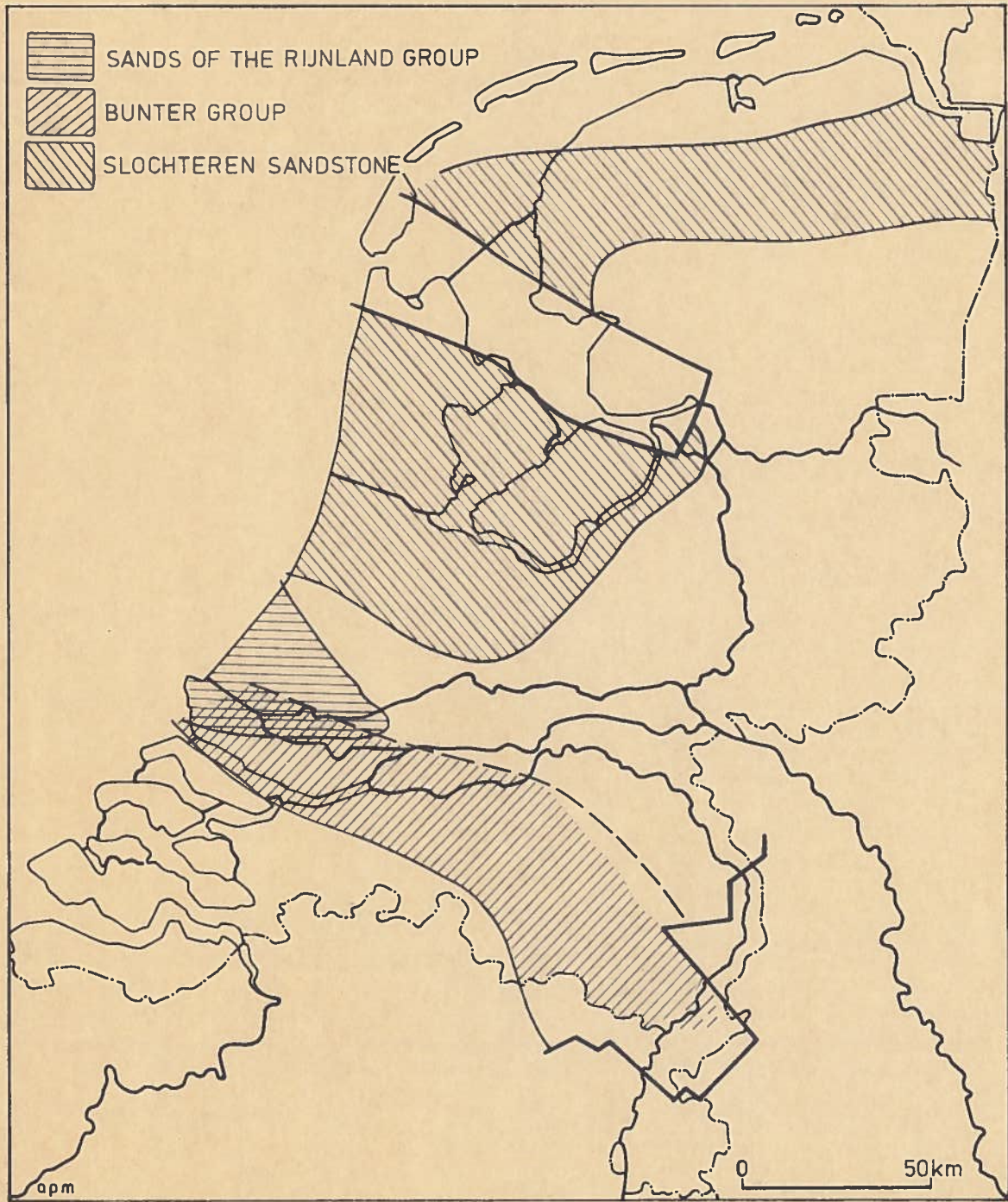


Fig.1 Main distribution of the three deep reservoirs
Belangrijkste voorkomen van de drie diepe reservoirs

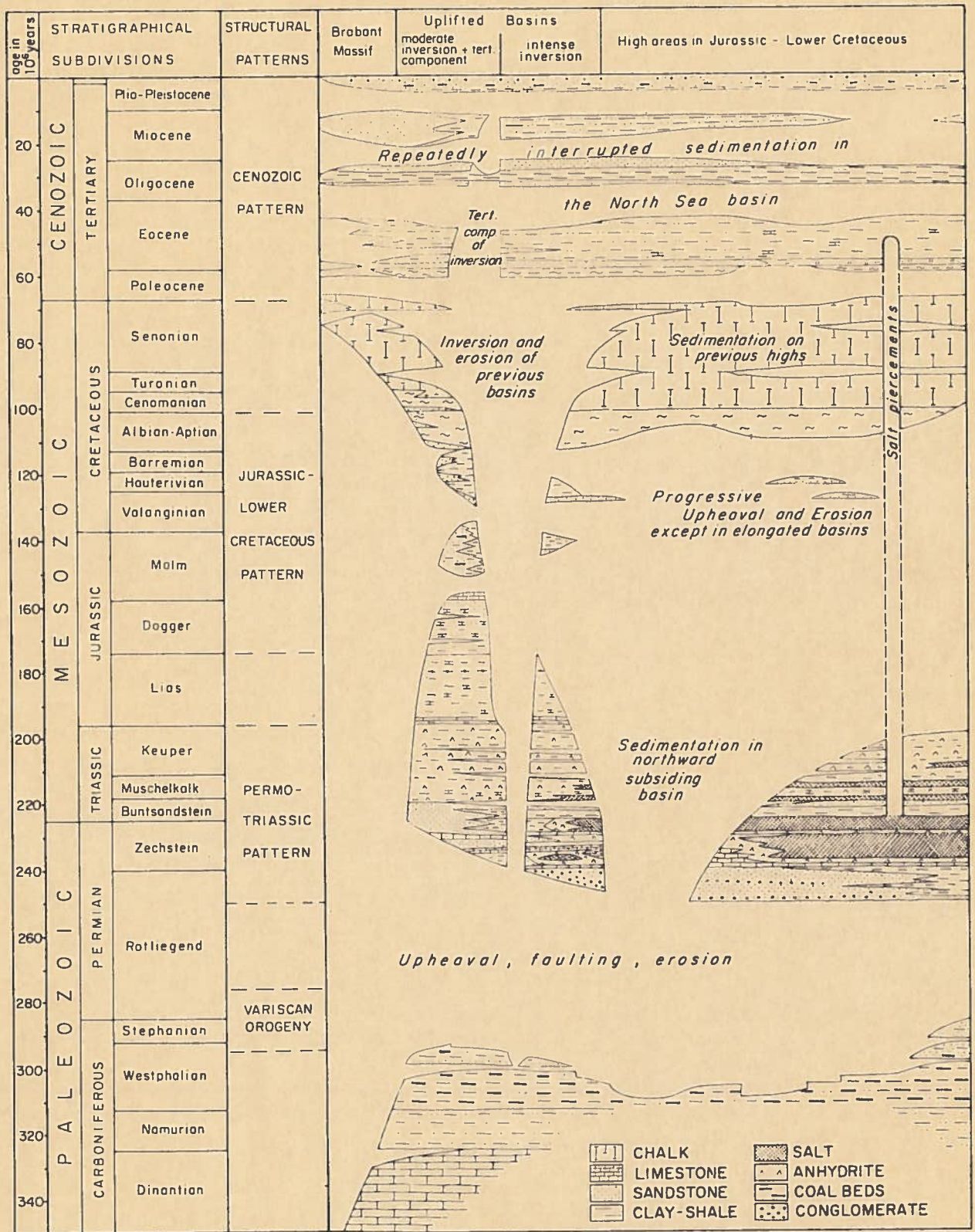


Fig. 2 Scheme of geological events in the Netherlands (lit.2)
Geologische overzichtstabel Nederland (lit.2)

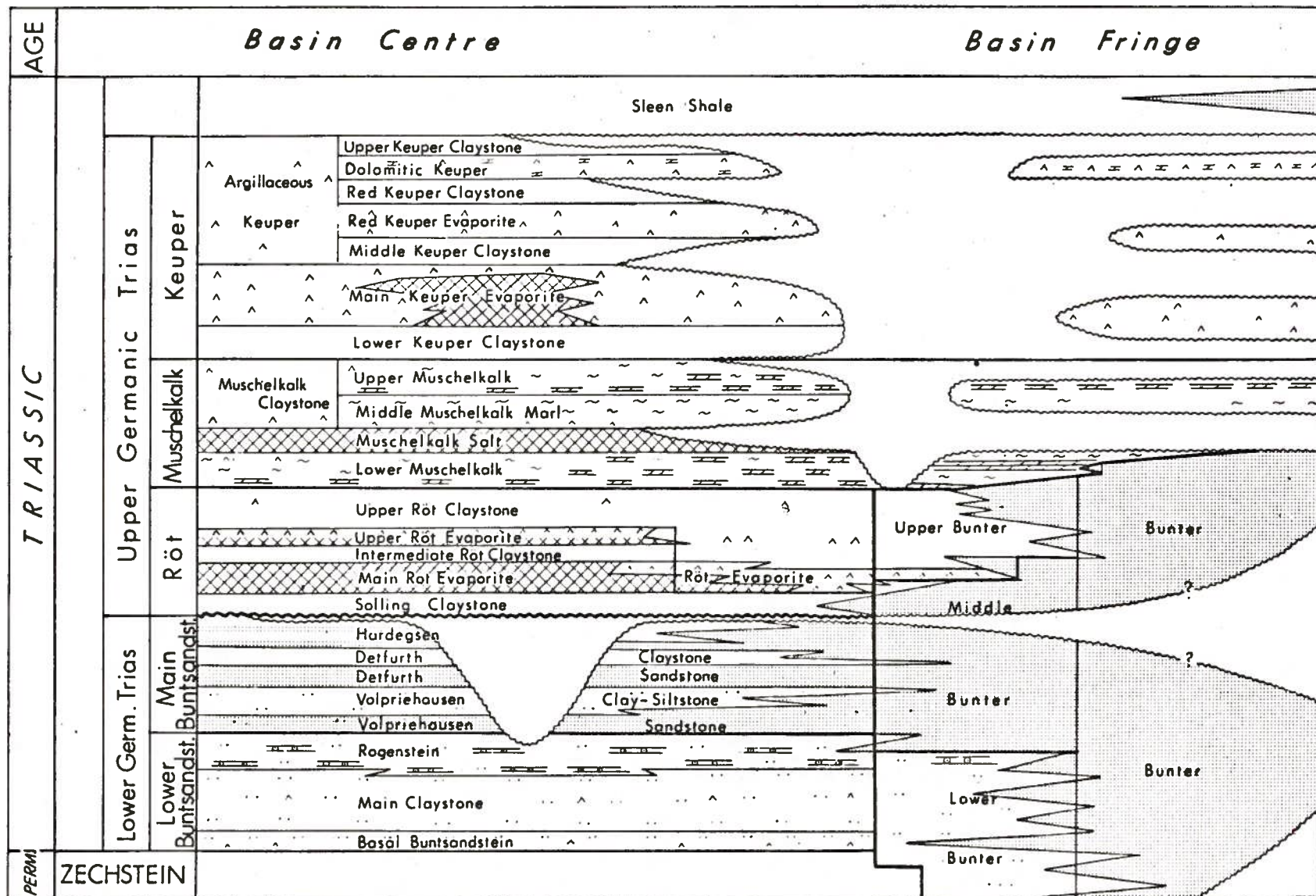


Fig. 3 Rock stratigraphic diagram of the Bunter, Lower and Upper Germanic Trias Groups (lit. 3)

Lithostratigrafisch schema van de Trias in Nederland (lit. 3)

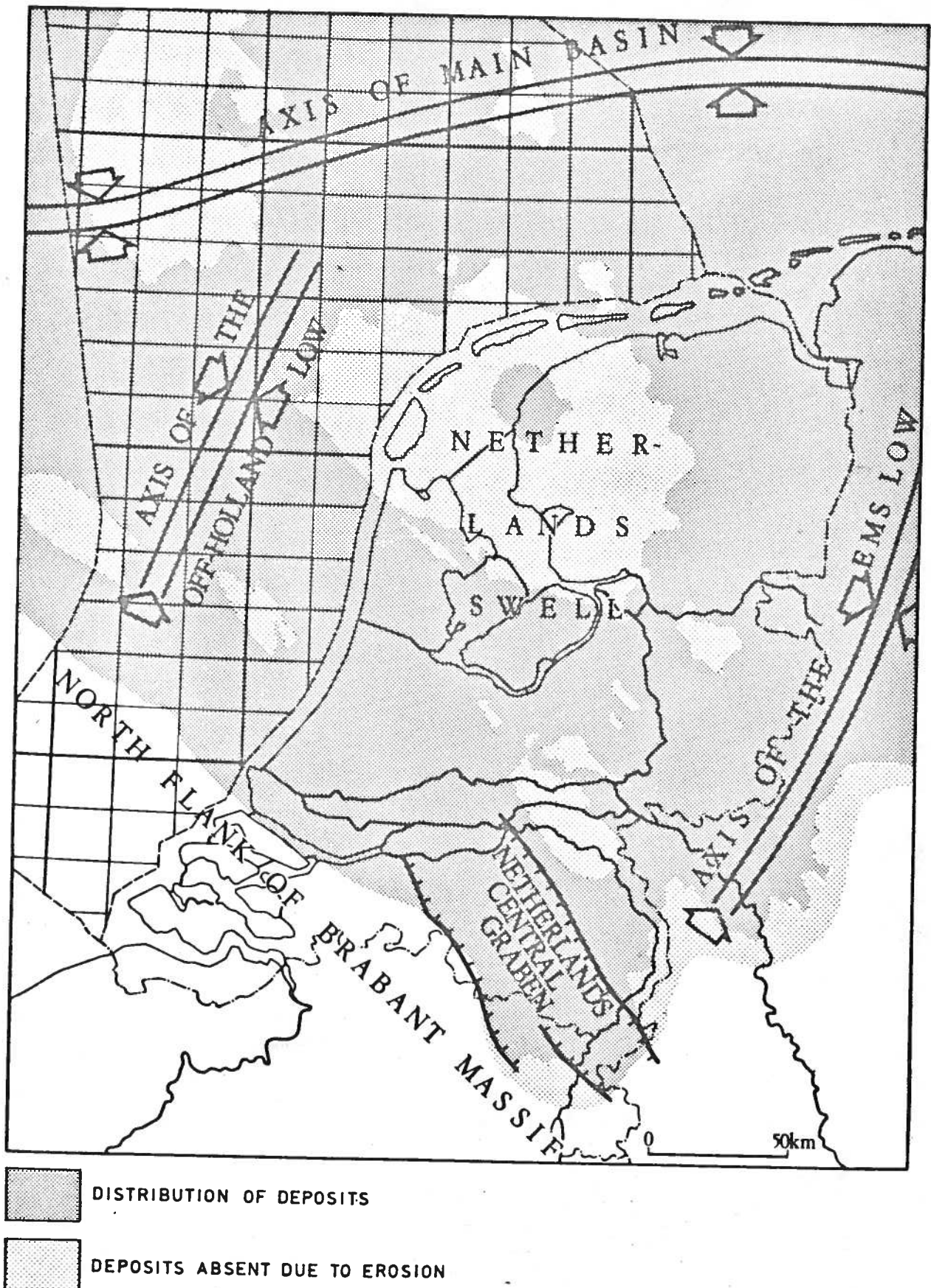
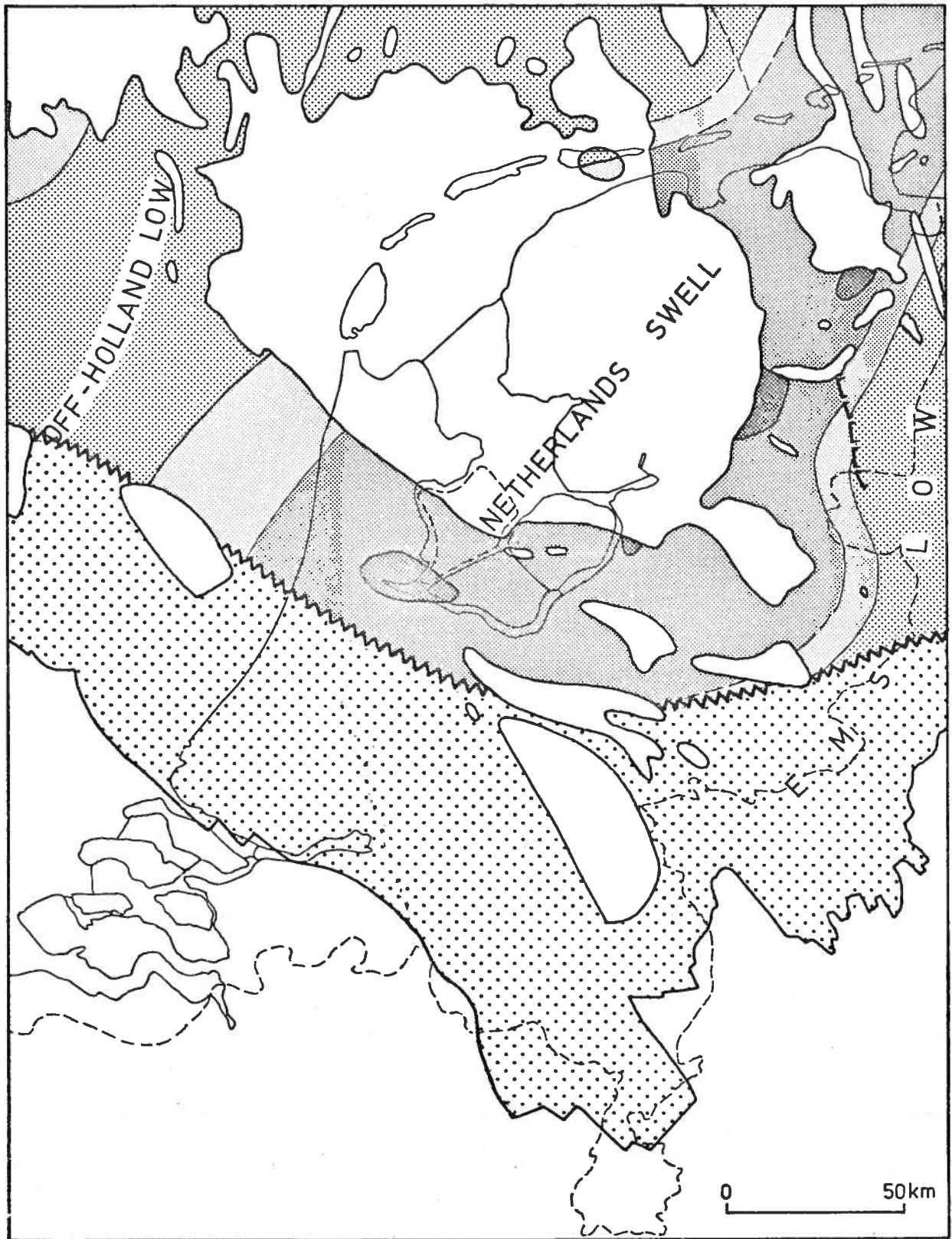








Fig.4 Extension of the Triassic with indications of Permo-Triassic structural elements (lit.4)
 Verbreiding van de Trias met de belangrijkste structurele elementen uit Perm en Trias (lit.4)



- | | | | |
|---|---|---|--------------------------------|
|  | Main Buntsandstein removed by Post Triassic erosion |  | Subcrop Hardeggen sequence |
|  | Subcrop Bunter sandstone |  | Subcrop Detfurth sequence |
|  | Subcrop Lower Buntsandstein |  | Subcrop Volpriehausen sequence |

 Facies change

Fig.5 Subcrop map below the "Hardeggen" unconformity (lit.3)
Afgedekte kaart op het niveau van de "Hardeggen" discordantie (lit.3)

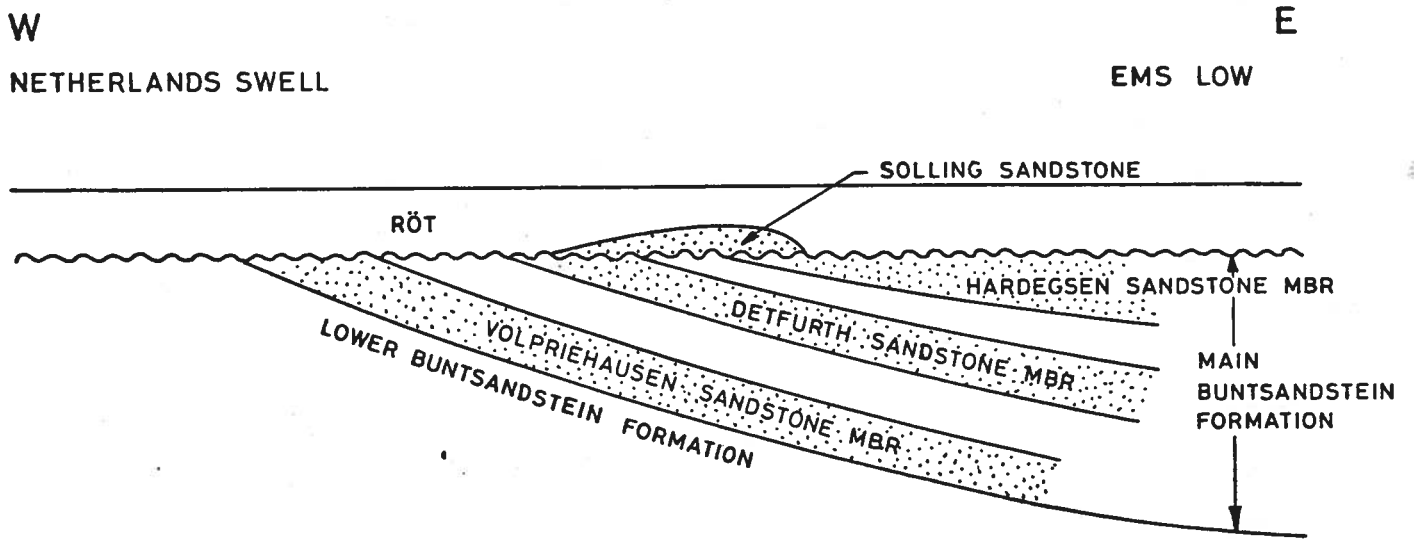


Fig. 6 Schematic profile of Triassic sandstone layers (East Netherlands)
Schematisch profiel van zandlagen uit de Trias (Oostelijk Nederland)

BLIJHAM-1 (NAM)

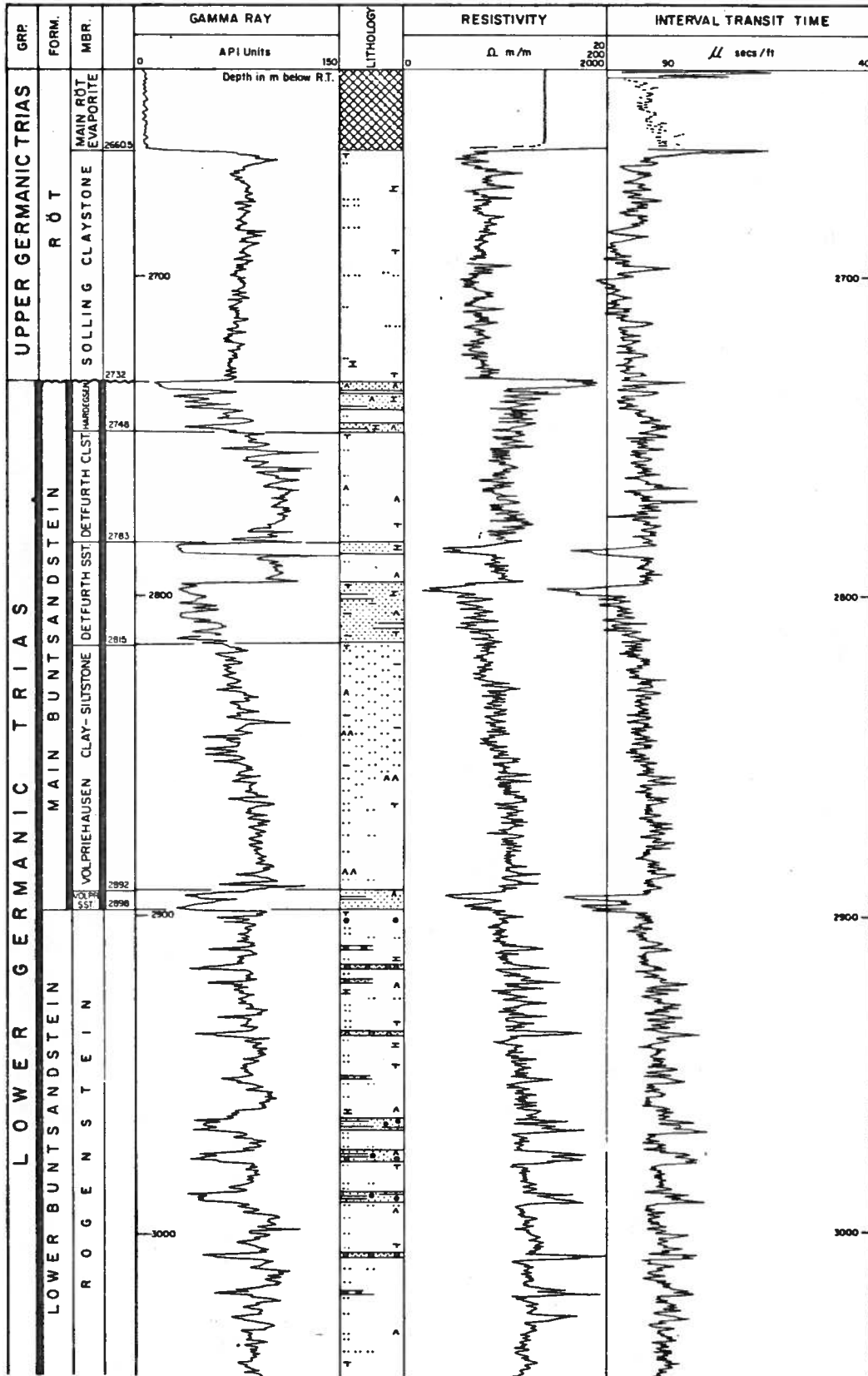


Fig. 7 Lower Germanic Trias sandstone development in the eastern Netherlands (lit.3)

Standaard zandontwikkeling van de Lower Germanic Trias in oostelijk Nederland (lit.3)

L2-1 (NAM)

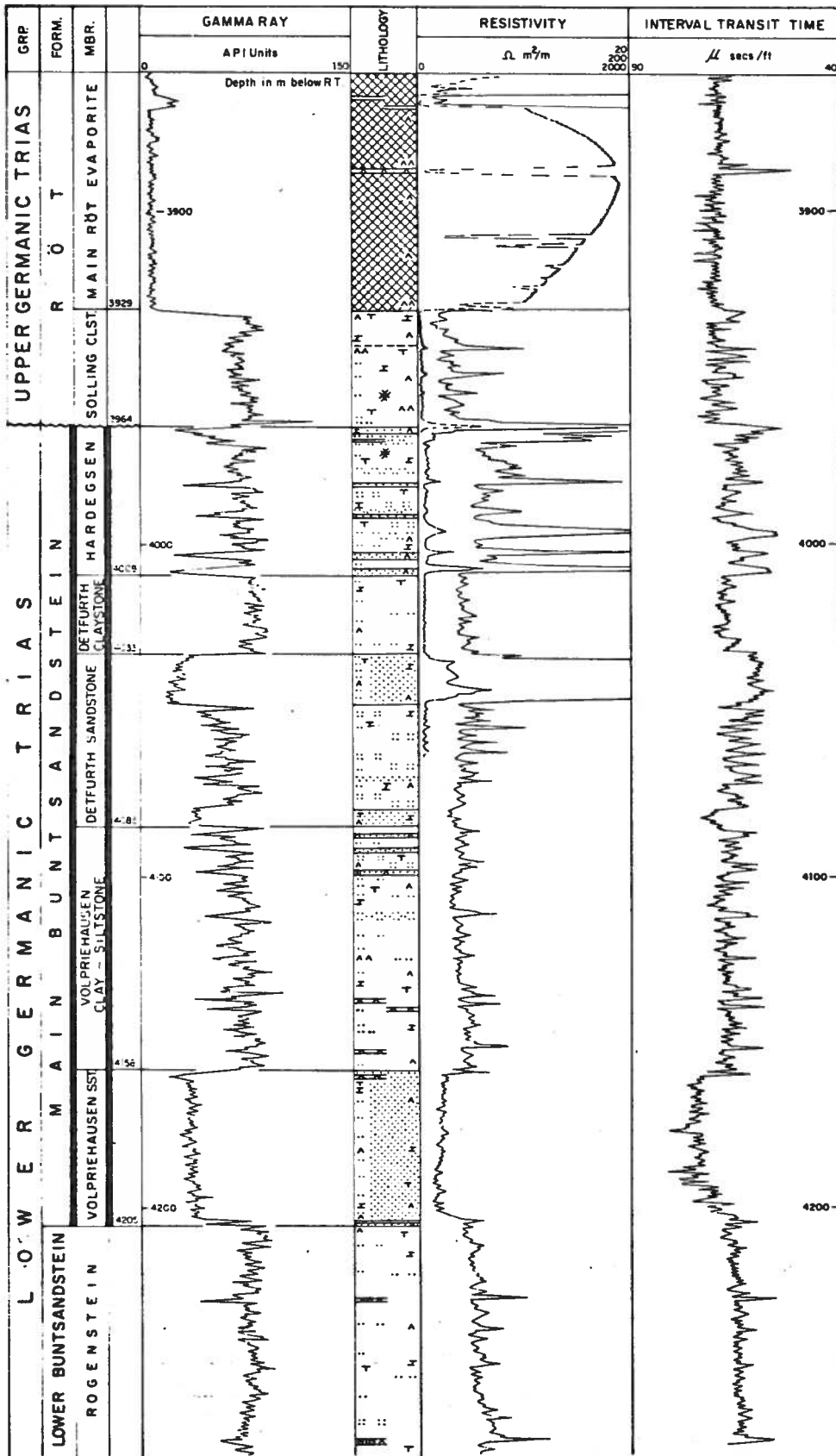


Fig. 8 Lower Germanic Trias sandstone development in the western Netherlands (lit. 3)
Standaard zandontwikkeling van de Lower Germanic Trias in westelijk Nederland (lit. 3)

Buurmalsen - 1 (NAM)

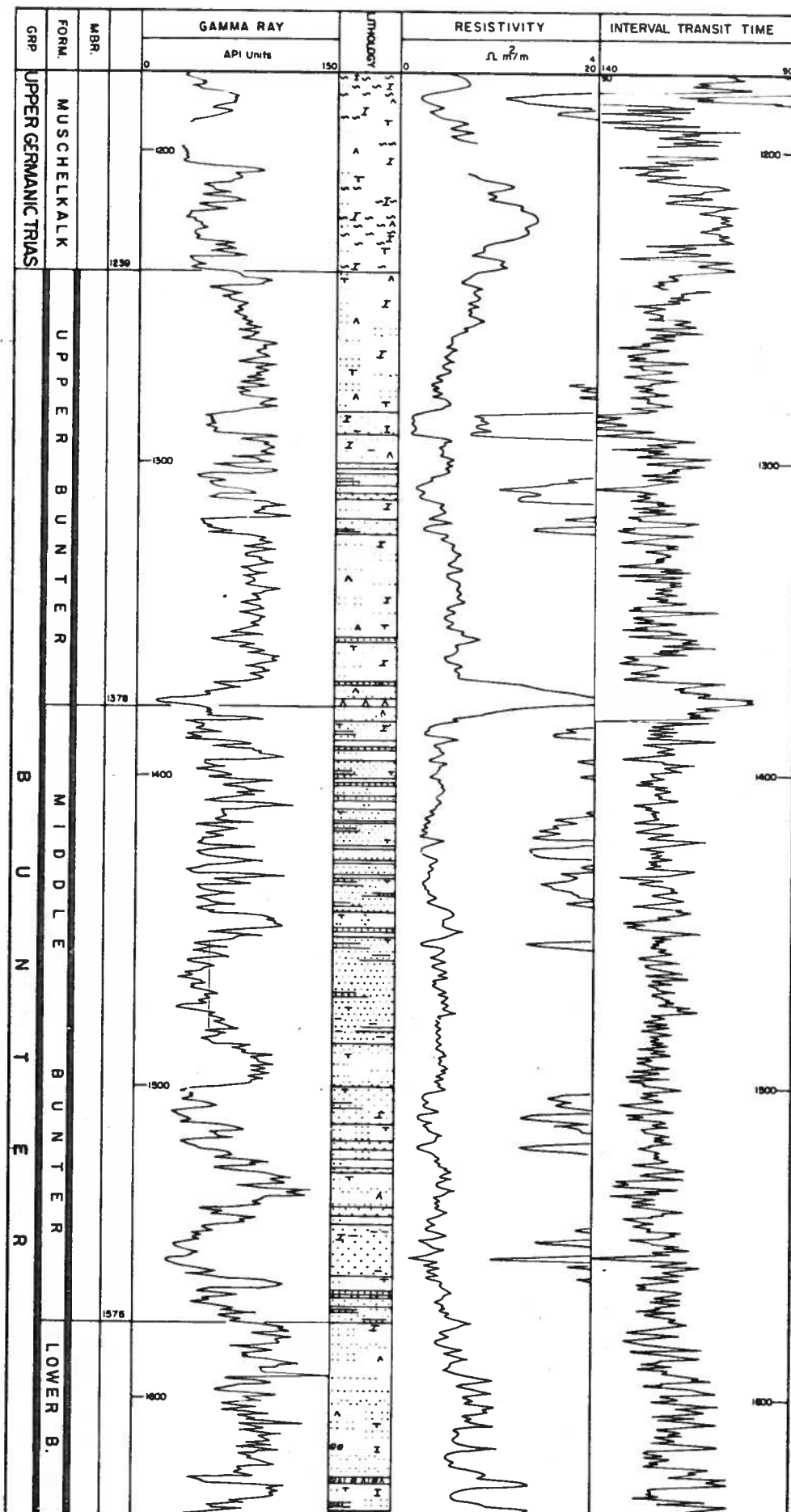







Fig.9 Transition with still recognizable Main Buntsandstein to the completely sandy Bunter (lit. 3)

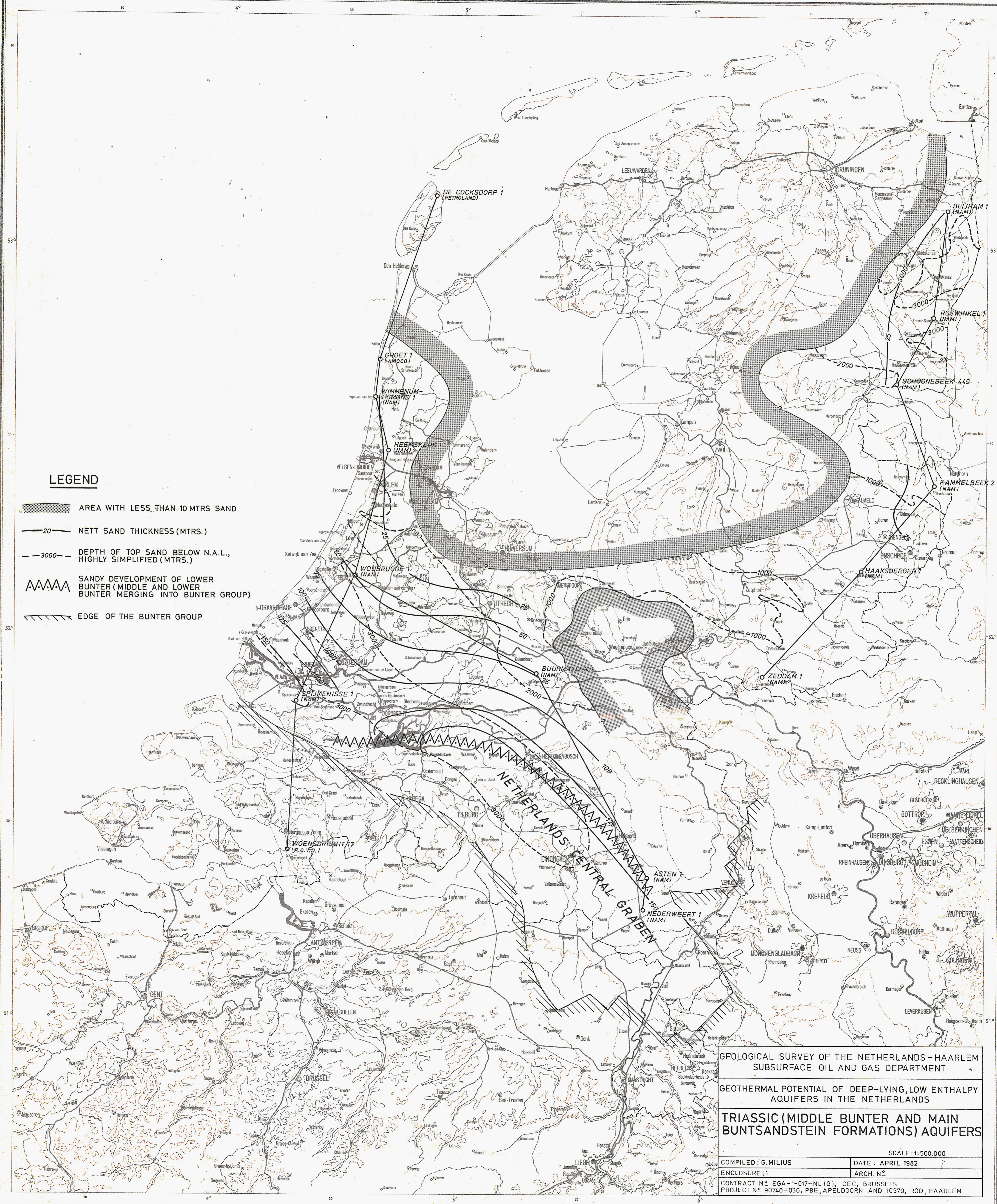
Overgang met nog herkenbare Main Buntsandstein naar de volkomen zandige Bunter (lit. 3)




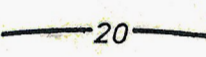



LEGEND

-  AREA WITH LESS THAN 10 MTRS. SAND
-  NETT SAND THICKNESS (MTRS.)
-  DEPTH CONTOUR (MTRS.)
-  POSSIBLE SANDY DEVELOPMENT OF LOWER BUNTSANDSTEIN
-  EDGE OF THE BUNTER GROUP

HAARLEM	GEOLOGICAL SURVEY OF THE NETHERLANDS	SUBSURFACE
INVENTARISATION: COMPILATION OF AQUIFER MAP		
TRIASSIC AQUIFERS		
COMPILED: G. MILIUS		DATE: APRIL 1982
ENCLOSURE: 1		ARCH. N ^o
CONTRACT N ^o EGA-1-017-NL (G), CEC, BRUSSELS		
PROJECT N ^o 90740-030, PBE, APELDOORN AND 10370, RGD, HAARLEM		
SCHAAL: 1:500.000		



LEGEND

-  AREA WITH LESS THAN 10 MTRS SAND
-  -20- NETT SAND THICKNESS (MTRS.)
-  -3000- DEPTH OF TOP SAND BELOW N.A.L., HIGHLY SIMPLIFIED (MTRS.)
-  SANDY DEVELOPMENT OF LOWER BUNTER (MIDDLE AND LOWER BUNTER MERGING INTO BUNTER GROUP)
-  EDGE OF THE BUNTER GROUP

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

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

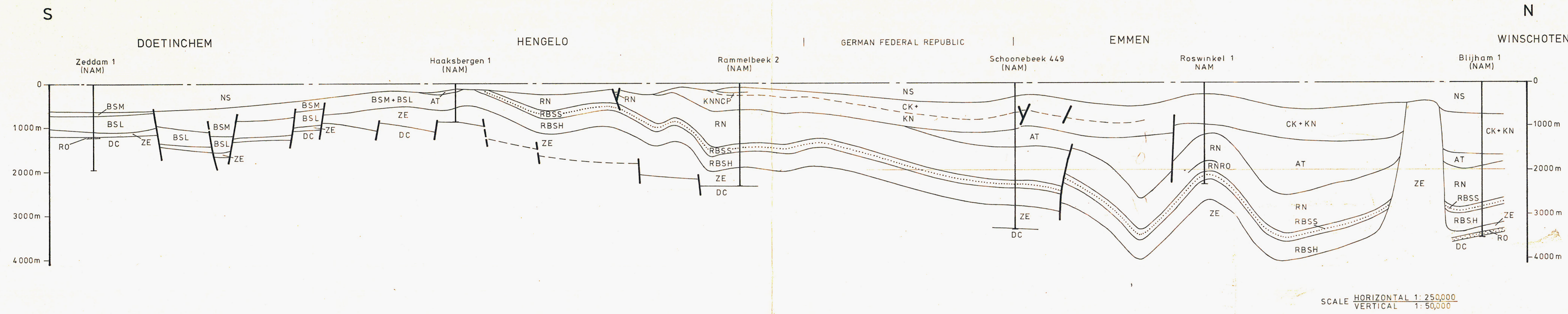
**TRIASSIC (MIDDLE BUNTER AND MAIN
 BUNTSANDSTEIN FORMATIONS) AQUIFERS**

SCALE: 1:500.000

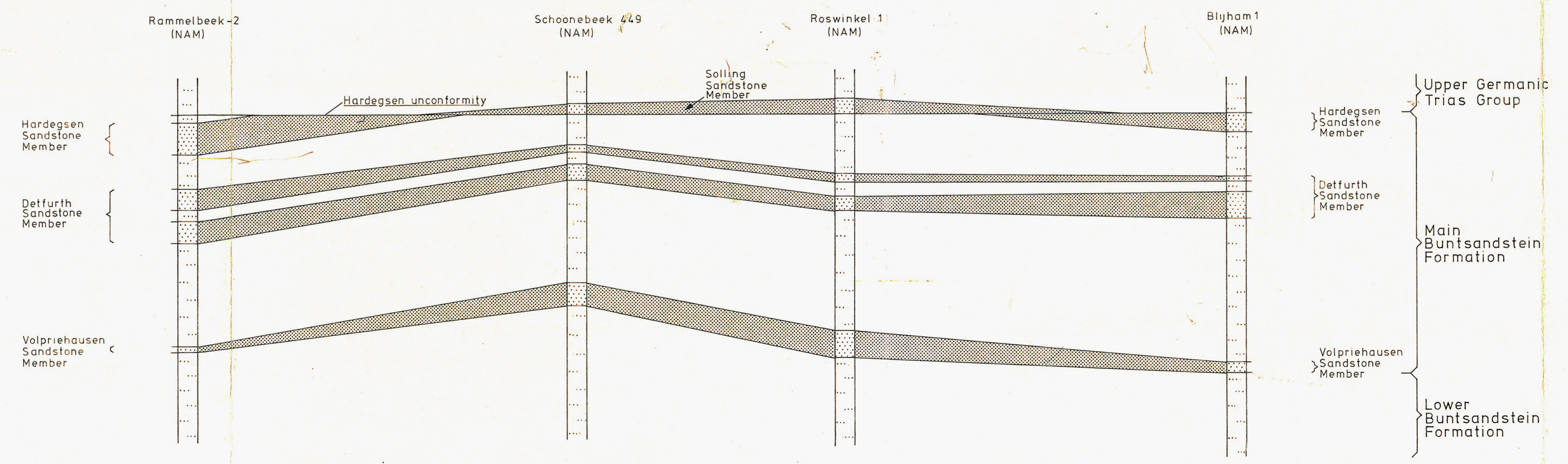
COMPILED: G. MILIUS DATE: APRIL 1982

ENCLOSURE: 1 ARCH. N°

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



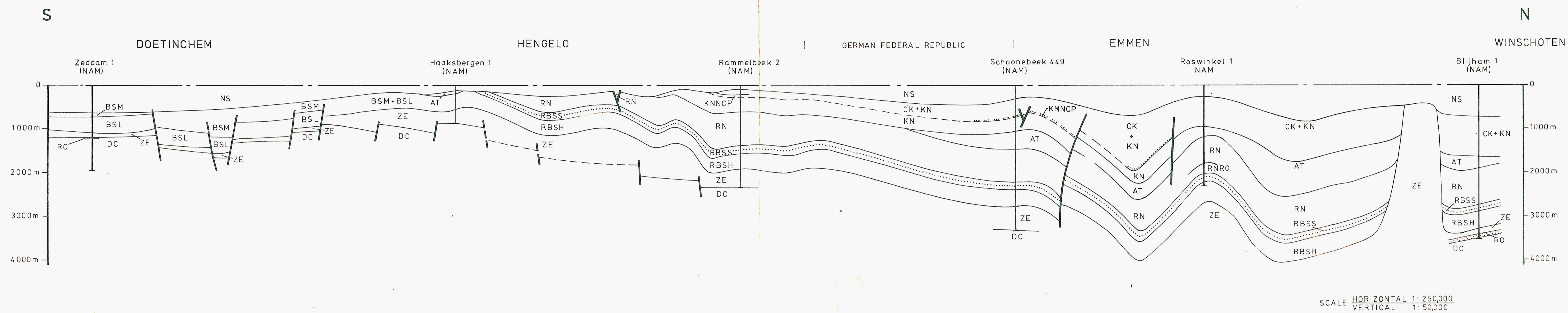
FORMATION		GROUP		AGE		
	NS	NORTH SEA		QUATERNARY+TERTIARY		
	CK	CHALK		LATE CRETACEOUS		
	KN	RIJNLAND		EARLY CRETACEOUS		
	AT	ALTENA		EARLY JURASSIC		
BSU	UPPER BUNTER	RNRO	RÖT	RN	UPPER GERMANIC TRIAS	TRIASSIC
BSM	MIDDLE BUNTER	RBSS	MAIN BUNTSANDSTEIN	RB	LOWER GERMANIC TRIAS	
BSL	LOWER BUNTER	RBSH	LOWER BUNTSANDSTEIN	RB	LOWER GERMANIC TRIAS	
		ZE	ZECHSTEIN	ZE	ZECHSTEIN	PERMIAN
		RO	UPPER ROTLIEGEND	RO	UPPER ROTLIEGEND	PERMIAN
		DC	LIMBURG	DC	LIMBURG	CARBONIFEROUS



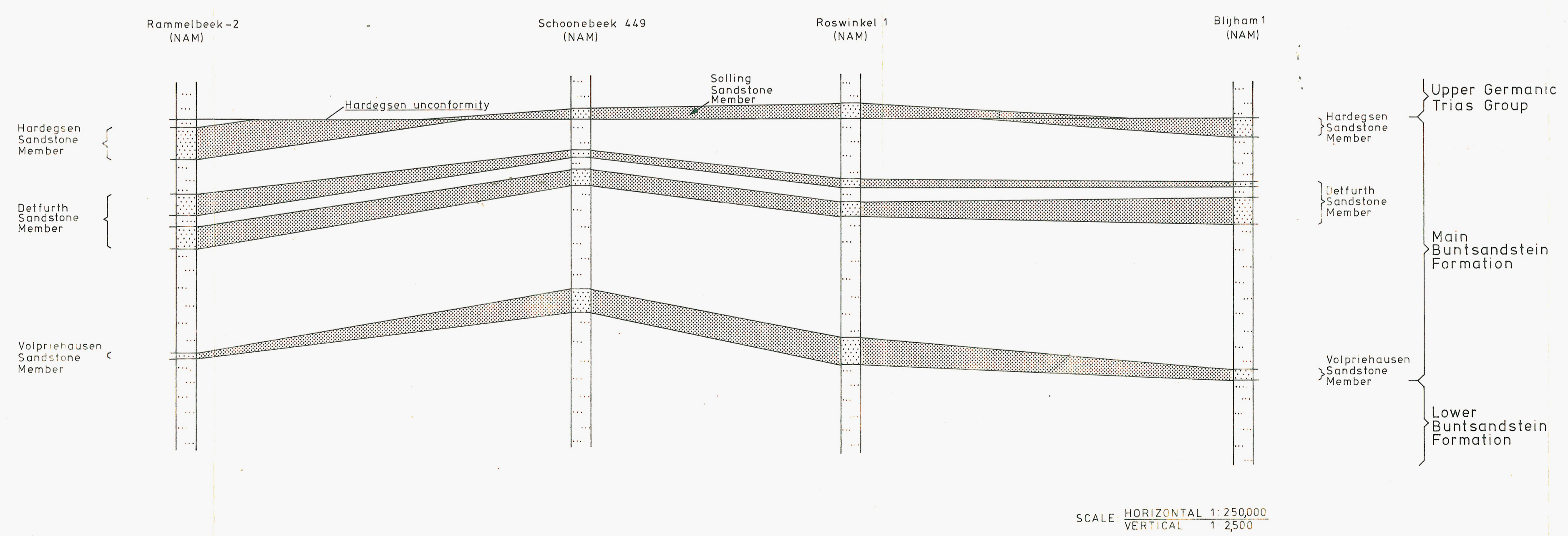
Legend (simplified lithostratigraphic column)

SANDSTONE
 CLAYSTONE WITH SANDSTREAKS AND/OR-LENSES

HAARLEM	GEOLOGICAL SURVEY OF THE NETHERLANDS	SUBSURFACE
INVENTARISATION: COMPILATION OF AQUIFER MAPS		
STRUCTURAL AND STRATIGRAPHICAL SECTIONS DOETINCHEM-WINSCHOTEN		
COMPILED: G. MILIUS	DATE: APRIL 1982	
ENCLOSURE: 2	ARCH. NR.	
CONTRACT NO. EGA-1-017-NL (G), CEC, BRUSSELS		
PROJECT NO. 90740-030, P.B.E., APELDOORN AND 10370, RGD, HAARLEM		



FORMATION		GROUP		AGE
		NS	NORTH SEA	QUATERNARY+TERTIARY
		CK	CHALK	LATE CRETACEOUS
		KN	RIJNLAND	EARLY CRETACEOUS
	Local member KNNCP BENTHEIMER SANDSTONE	AT	ALTENA	EARLY JURASSIC
BSU	UPPER BUNTER	RNRO	RÖT	RN UPPER GERMANIC TRIAS
BSM	MIDDLE BUNTER	RBSS	MAIN BUNTSANDSTEIN	RB LOWER GERMANIC TRIAS
BSL	LOWER BUNTER	RBSH	LOWER BUNTSANDSTEIN	RB LOWER GERMANIC TRIAS
		ZE	ZECHSTEIN	PERMIAN
		RO	UPPER RÖTLIEGEND	PERMIAN
		DC	LIMBURG	CARBONIFEROUS



Legend (simplified lithostratigraphic column)

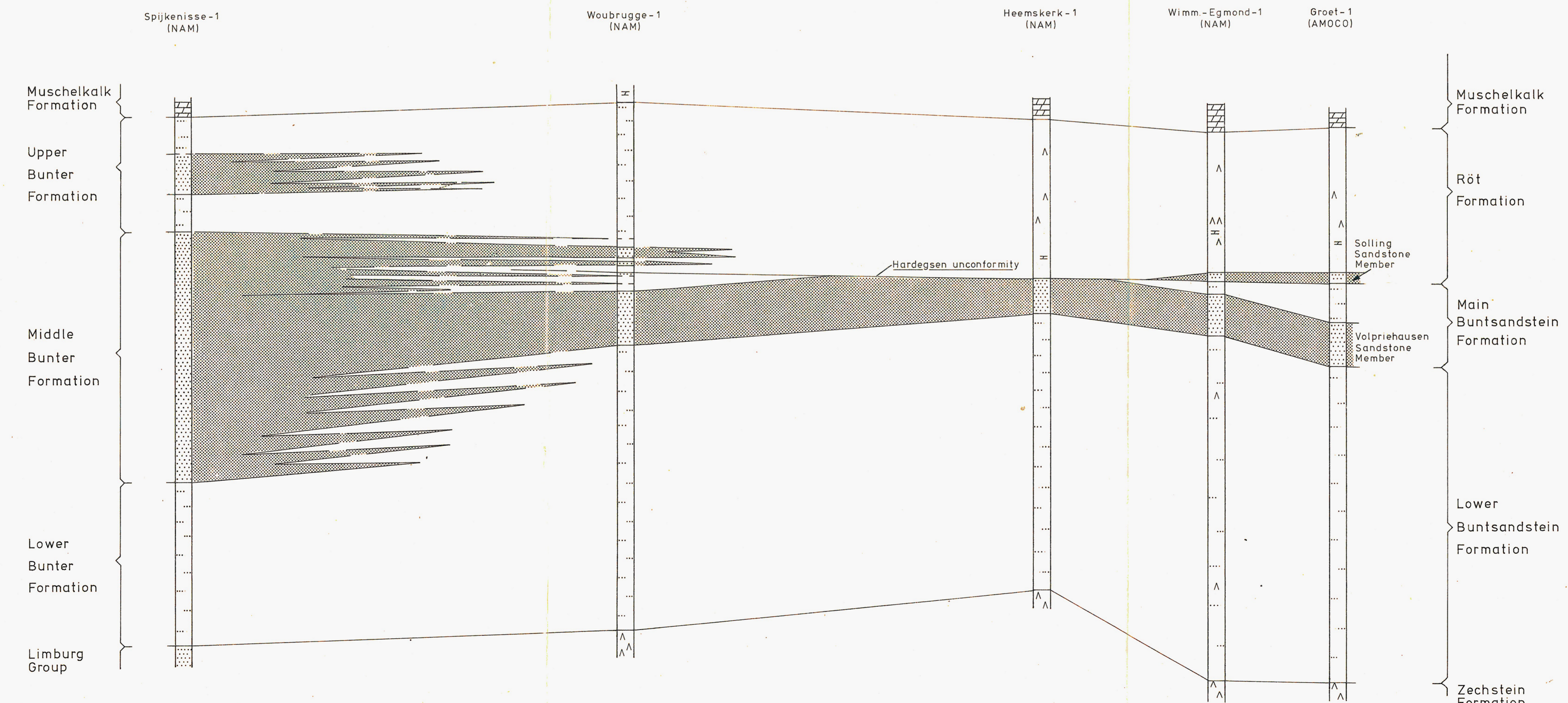
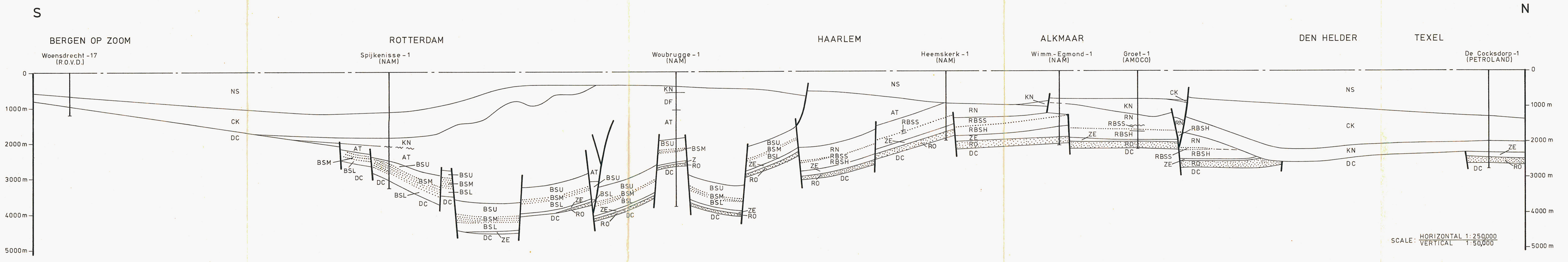
SANDSTONE
 CLAYSTONE WITH SANDSTREAKS AND/OR-LENSES

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 DOETINCHEM-WINSCHOTEN**

COMPILED: G. MILIUS DATE: APRIL 1982
 ENCLOSURE: 2 ARCH N°
 CONTRACT N° EGA-1-017-NL (G), CEC, BRUSSELS
 PROJECT N° 90740-030, PBE, APELDOORN AND 10370, RGD, HAARLEM



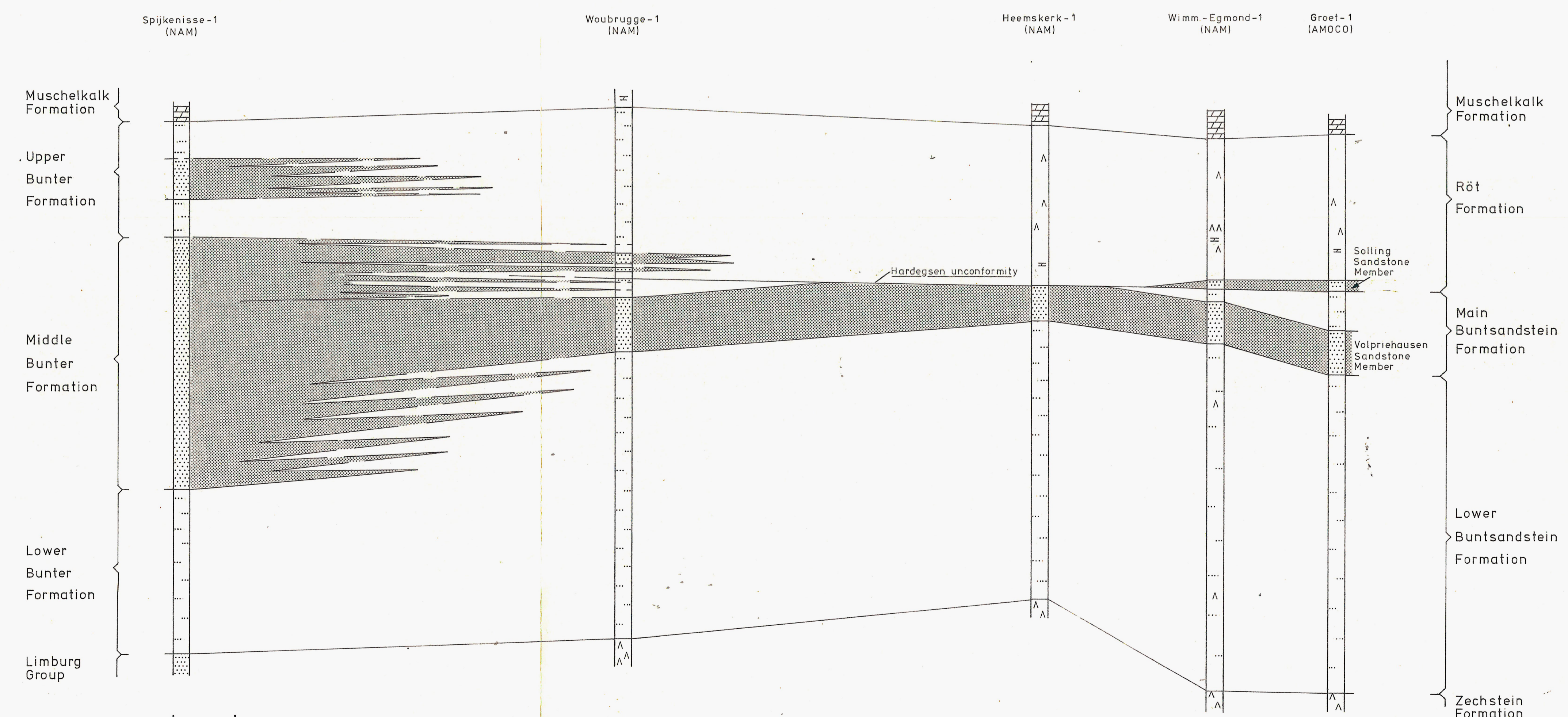
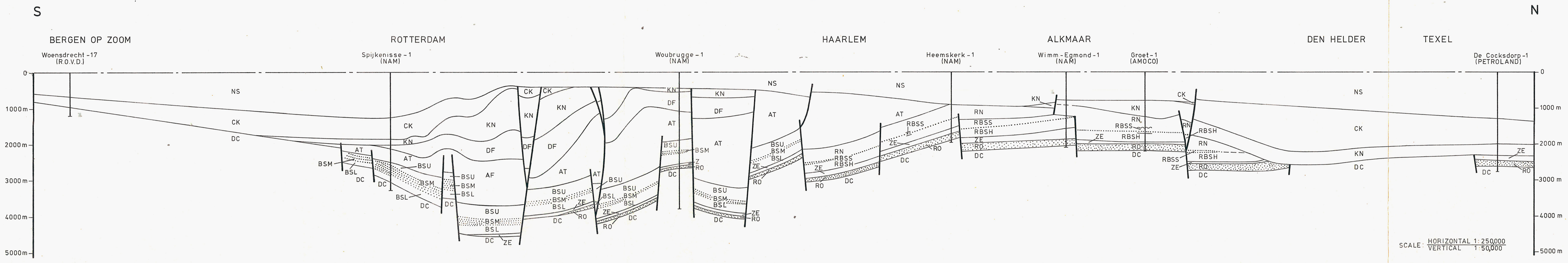
Legend (simplified lithostratigraphic column)

	CLAYSTONE		ANHYDRITE
	CLAYSTONE WITH SANDLENSES AND/OR SANDSTREAKS		ANHYDRITIC CLAYSTONE
	SANDSTONE		DOLOMITE
	DOLOMITIC CLAYSTONE		

FORMATION	GROUP	AGE
NS	NORTH SEA	QUATERNARY + TERTIARY
CK	CHALK	LATE CRETACEOUS
KN	RIJNLAND	EARLY CRETACEOUS
DF	DELFLAND	LATE JURASSIC
AT	ALTENA	EARLY + MIDDLE JURASSIC
BSU	UPPER BUNTER	TRIASSIC
BSM	MIDDLE BUNTER	
BSL	LOWER BUNTER	
RN	UPPER GERMANIC TRIAS	TRIASSIC
RB	LOWER GERMANIC TRIAS	
ZE	ZECHSTEIN	PERMIAN
RO	UPPER ROTLIEGEND	PERMIAN
DC	LIMBURG	
		CARBONIFEROUS

SCALE: HORIZONTAL 1:250,000
VERTICAL 1:2500

HAARLEM	GEOLOGICAL SURVEY OF THE NETHERLANDS	SUBSURFACE
INVENTARISATION: COMPILATION OF AQUIFER MAPS		
STRUCTURAL AND STRATIGRAPHICAL SECTIONS BERGEN OP ZOOM - TEXEL		
COMPILED: G. MILIUS	DATE: APRIL 1982	
ENCLOSURE: 3	ARCH.NR.:	
CONTRACT NO.: EGA-1-017-NL (G), C.E.C., BRUSSELS		
PROJECT NO.: 90740-030, PBE, APELDOORN AND 10370, R.GD, HAARLEM		



Legend (simplified lithostratigraphic column)

[Blank]	CLAYSTONE	[A A]	ANHYDRITIC CLAYSTONE
[Dotted]	CLAYSTONE WITH SANDLENSES AND/OR SANDSTREAKS	[Hatched]	DOLOMITIC CLAYSTONE
[Stippled]	SANDSTONE		
[A A]	ANHYDRITE		
[Hatched]	DOLOMITE		

FORMATION	GROUP	AGE
NS	NORTH SEA	QUATERNARY+TERTIARY
CK	CHALK	LATE CRETACEOUS
KN	RIJNLAND	EARLY CRETACEOUS
DF	DELFLAND	LATE JURASSIC
AT	ALTENA	EARLY+MIDDLE JURASSIC
BSU	UPPER BUNTER	TRIASSIC
BSM	MIDDLE BUNTER	
BSL	LOWER BUNTER	
RBSS	MAIN BUNTSANDSTEIN	TRIASSIC
RBSH	LOWER BUNTSANDSTEIN	
RB	LOWER GERMANIC TRIAS	PERMIAN
ZE	ZECHSTEIN	
RO	UPPER ROTLIEGEND	CARBONIFEROUS
DC	LIMBURG	

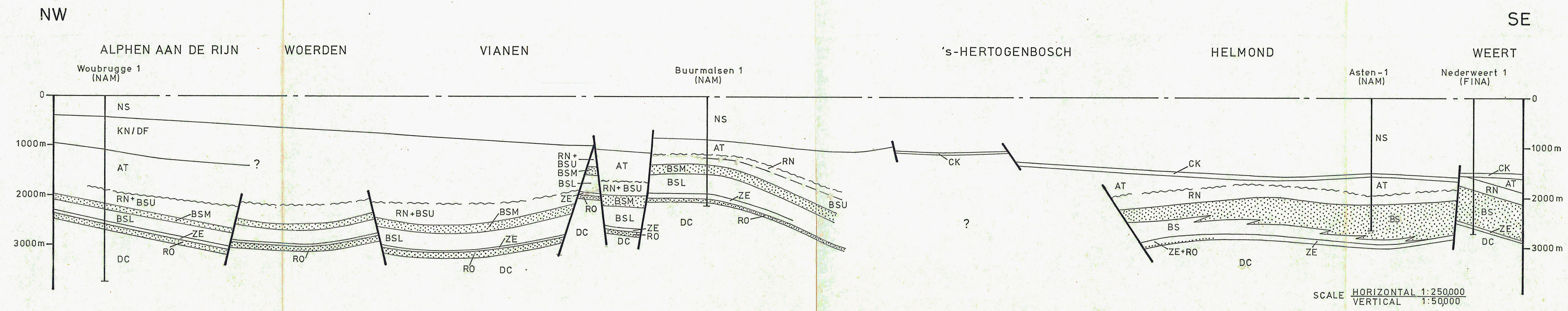
GEOLOGICAL SURVEY OF THE NETHERLANDS-HAARLEM
 SUBSURFACE OIL AND GAS DEPARTMENT

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

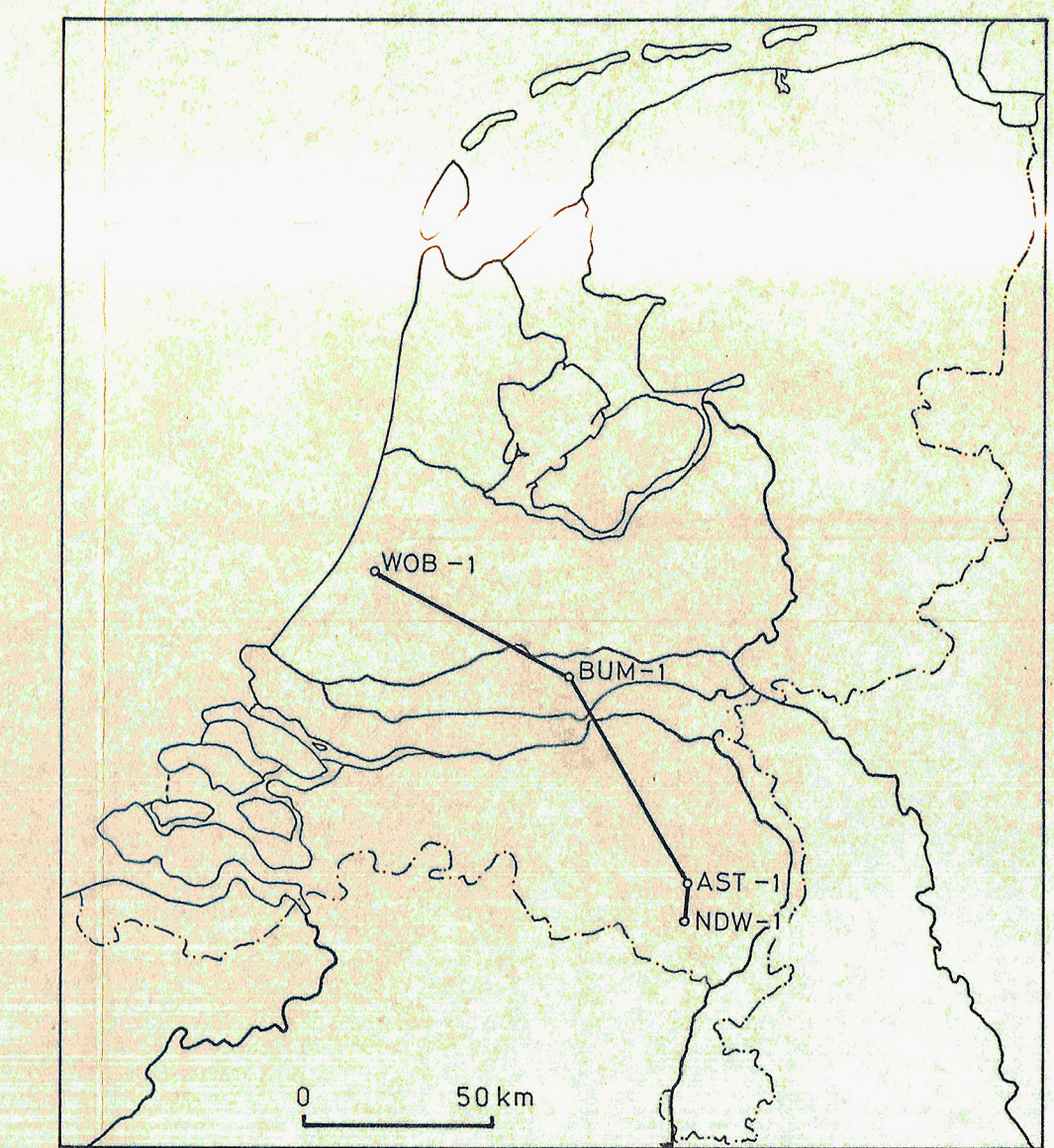
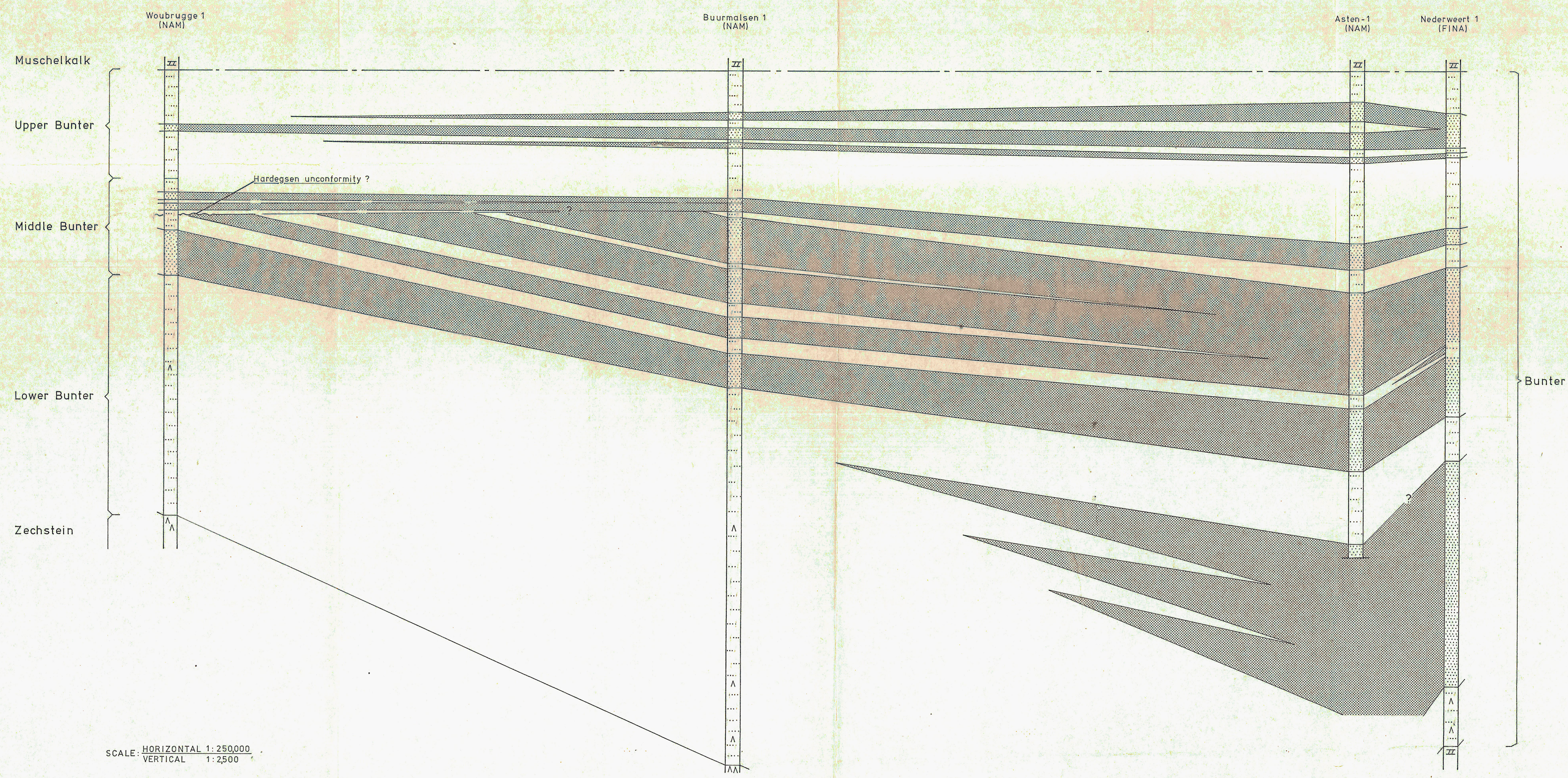
**STRUCTURAL AND STRATIGRAPHICAL
 SECTIONS BERGEN OP ZOOM-TEXEL**

COMPILED: G. MILIUS DATE: APRIL 1982
 ENCLOSURE: 3 ARCH. N°

CONTRACT N° EGA-1-017-NL(G), CEC, BRUSSELS
 PROJECT N° 90745-030, PBE, APELDOORN AND 10370, RGD, HAARLEM



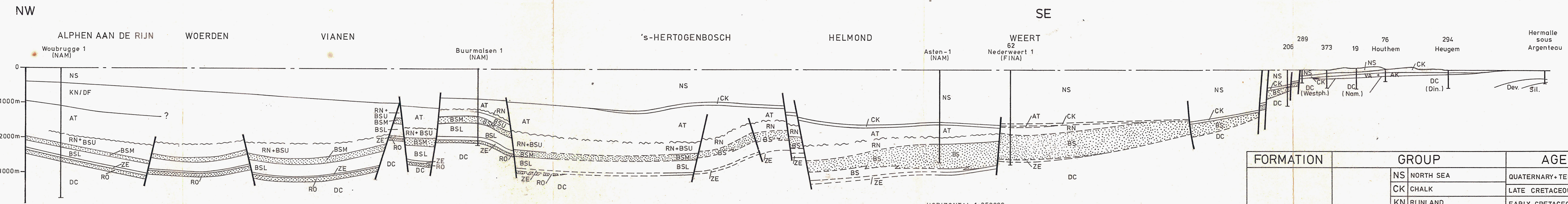
FORMATION	GROUP	AGE	
NS	NORTH SEA	QUATERNARY+TERTIARY	
CK	CHALK	LATE CRETACEOUS	
KN	RIJNLAND	EARLY CRETACEOUS	
DF	DELFLAND	LATE JURASSIC	
AT	ALTENA	EARLY JURASSIC	
BSU	UPPER BUNTER	TRIASSIC	
BSM	MIDDLE BUNTER		
BSL	LOWER BUNTER		
	RN	UPPER GERMANIC TRIAS	TRIASSIC
	RB	LOWER GERMANIC TRIAS	
	ZE	ZECHSTEIN	PERMIAN
	RO	ROTLIEGEND	
	DC	LIMBURG	



Legend (simplified lithostratigraphic column)

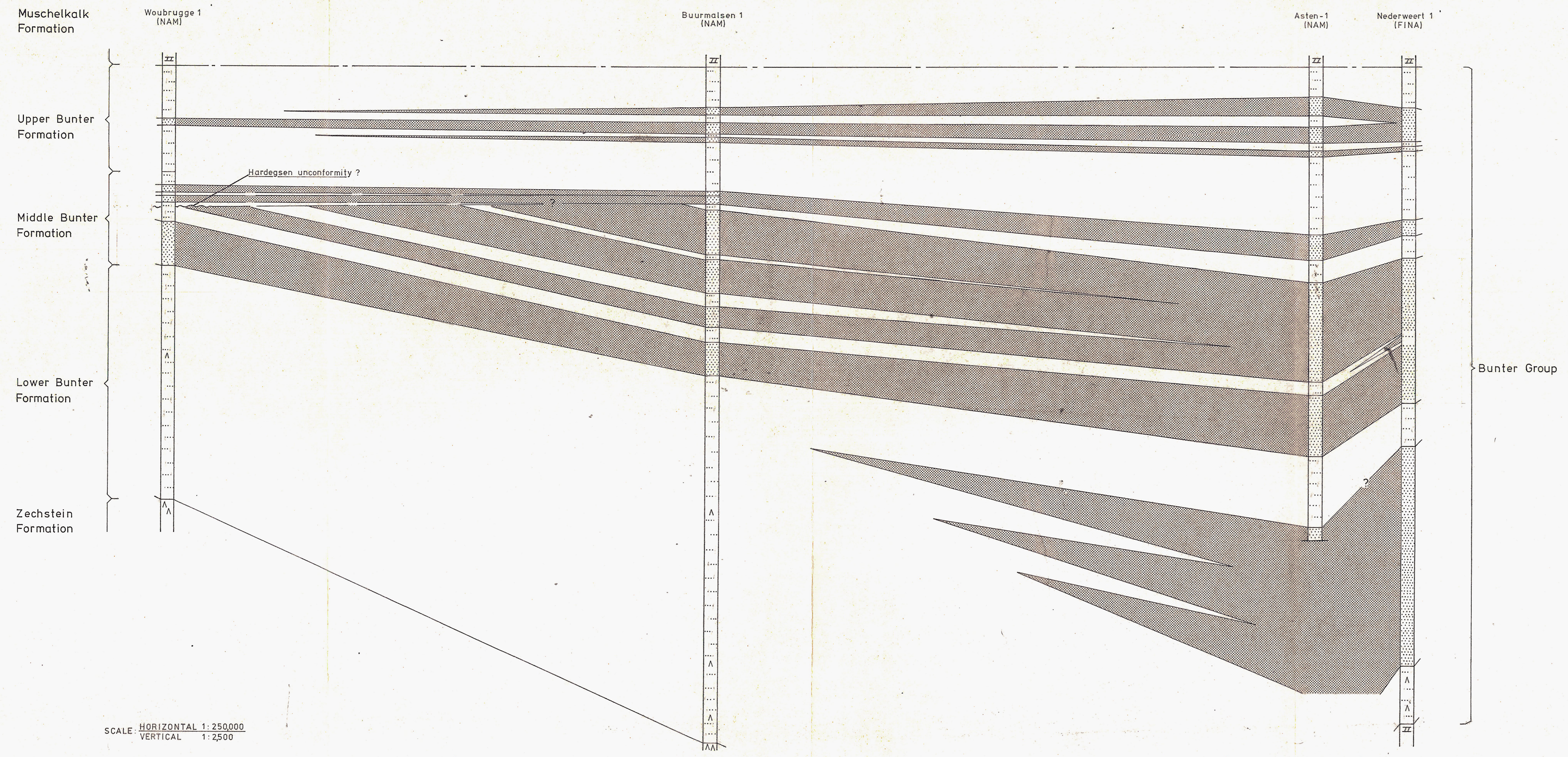
- CLAYSTONE WITH SANDLENSES AND/OR SANDSTREAKS
- SANDSTONE
- ANHYDRITE
- DOLOMITE STREAKS

HAARLEM	GEOLOGICAL SURVEY OF THE NETHERLANDS	SUBSURFACE
INVENTARISATION: COMPILATION OF AQUIFER MAPS		
STRUCTURAL AND STRATIGRAPHICAL SECTIONS		
ALPHEN AAN DE RIJN - WEERT		
COMPILED: 6. MILIUS	DATE: APRIL 1982	
ENCLOSURE: 4	ARCH. NR:	
CONTRACT NO: EGA-1-017-NL (6), CEC, BRUSSELS		
PROJECT NO: 90740-030, PBE, APELDOORN AND 10370, RGD, HAARLEM		

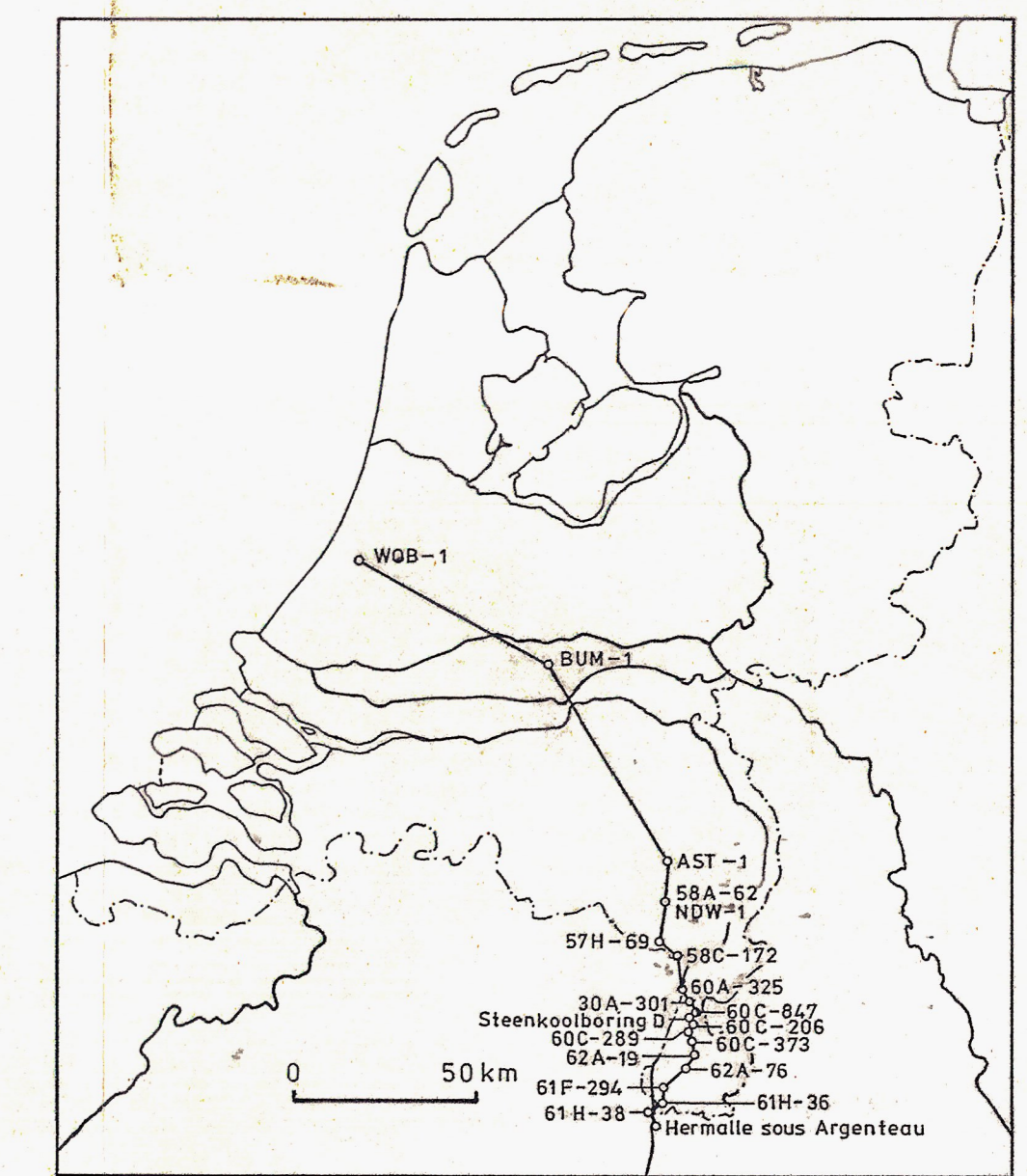


SCALE HORIZONTAL 1:250,000
VERTICAL 1:50,000

FORMATION	GROUP	AGE	
NS	NORTH SEA	QUATERNARY + TERTIARY	
CK	CHALK	LATE CRETACEOUS	
KN	RIJNLAND	EARLY CRETACEOUS	
DF	DELFLAND	LATE JURASSIC	
AF	ALTENA	EARLY JURASSIC	
BSU	UPPER BUNTER	TRIASSIC	
BSM	MIDDLE BUNTER		
BSL	LOWER BUNTER		
	RN	UPPER GERMANIC TRIAS	
	RB	LOWER GERMANIC TRIAS	
	ZE	ZECHSTEIN	PERMIAN
	RO	ROTLIEGEND	
	DC	LIMBURG	CARBONIFEROUS
			DEVONIAN
			SILURIAN



SCALE HORIZONTAL 1:250,000
VERTICAL 1:2500



Legend (simplified lithostratigraphic column)

- CLAYSTONE WITH SANDLENSES AND/OR SANDSTREAKS
- SANDSTONE
- ANHYDRITE
- DOLOMITE STREAKS

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

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

**STRUCTURAL AND STRATIGRAPHICAL
SECTIONS ALPHEN AAN DE RIJN- WEERT**

COMPILED: G. MILIUS DATE: APRIL 1982
ENCLOSURE: 4 ARCH. N°

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