

Grondboor en Hamer	4	1982	pag. 90 — 115	19 fig.	Oldenzaal, augustus 1982
-----------------------	---	------	------------------	---------	-----------------------------

Geologische opbouw van Nederland

H.M. van Montfrans

SAMENVATTING

De geologische opbouw van Nederland wordt behandeld met het oog op huidige en toekomstige toepassingen. In een eerste gedeelte wordt een overzicht van de delfstoffen gegeven. Hierna volgt een beschouwing over sterkte en stabiliteit, en over doorlatendheid.

I. INLEIDING

Door de sectie Tunneltechniek van het KIVI, het Koninklijk Instituut van Ingenieurs, is een studiegroep 'Inventarisatie toekomstig gebruik van de ondergrond' ingesteld. Vanuit deze groep is aan de Rijks Geologische Dienst gevraagd een bijdrage te leveren over de geologische opbouw van ons land. Dit artikel vormt hiervan het resultaat.

Het mogelijk gebruik van de ondergrond van Nederland kan als volgt in een schema worden samengevat:

Civieltechnisch gebruik

Wegen, fundering voor gebouwen

Tunnels, leidingenstraten

Kelders, opslagruimten

Pompaccumulatiemijn

Mijnen van de vaste ondergrond

In dagbouw: Zand, grind, klei, leem, keileem, veen, bruinkool, kalksteen, mergel

Onder water: Zand, grind

Ondergronds: Steenkool, steenzout en K/Mg zouten, anhydriet

Holruimten en poriën

	Zand, zandsteen, steen, evt. met 'trap'	Kalk- steen, evt. met 'trap'	Klei, klei- steen, schalie	Steen- zout, K/Mg, zouten	Steen- kool (mijn)	Op de bodem
--	--	------------------------------------	-------------------------------------	------------------------------------	--------------------------	----------------

Winning

Aardolie, aardgas	x	x				
Zoet(drink-, industrie-)water	x	x				
Brak(industrie-)water	x	x			x	
Zout(industrie-, medicin.-)water	x	x			x	
Geothermie	x	x		x		

Holruimten en poriën

	Zand, zandsteen, evt. met 'trap'	Kalk- steen, evt. met 'trap'	Klei, klei- steen, schalie	Steen- zout, K/Mg, zouten	Steen- kool (mijn)	Op de bodem
Opslag						
Aardolie, aardgas	x	x	x	x		
Benzine				x		
LPG/LNG				x		
Perslucht				x		
Drinkwater	x	x				x
Warm water	x	x				
Lozing						
Grof puin				x	x	x
Huishoudelijk afval						x
Vast chemisch afval			x	x		x
Vast radioactief afval			x	x		
Vloeibaar chemisch afval	x	x		x		

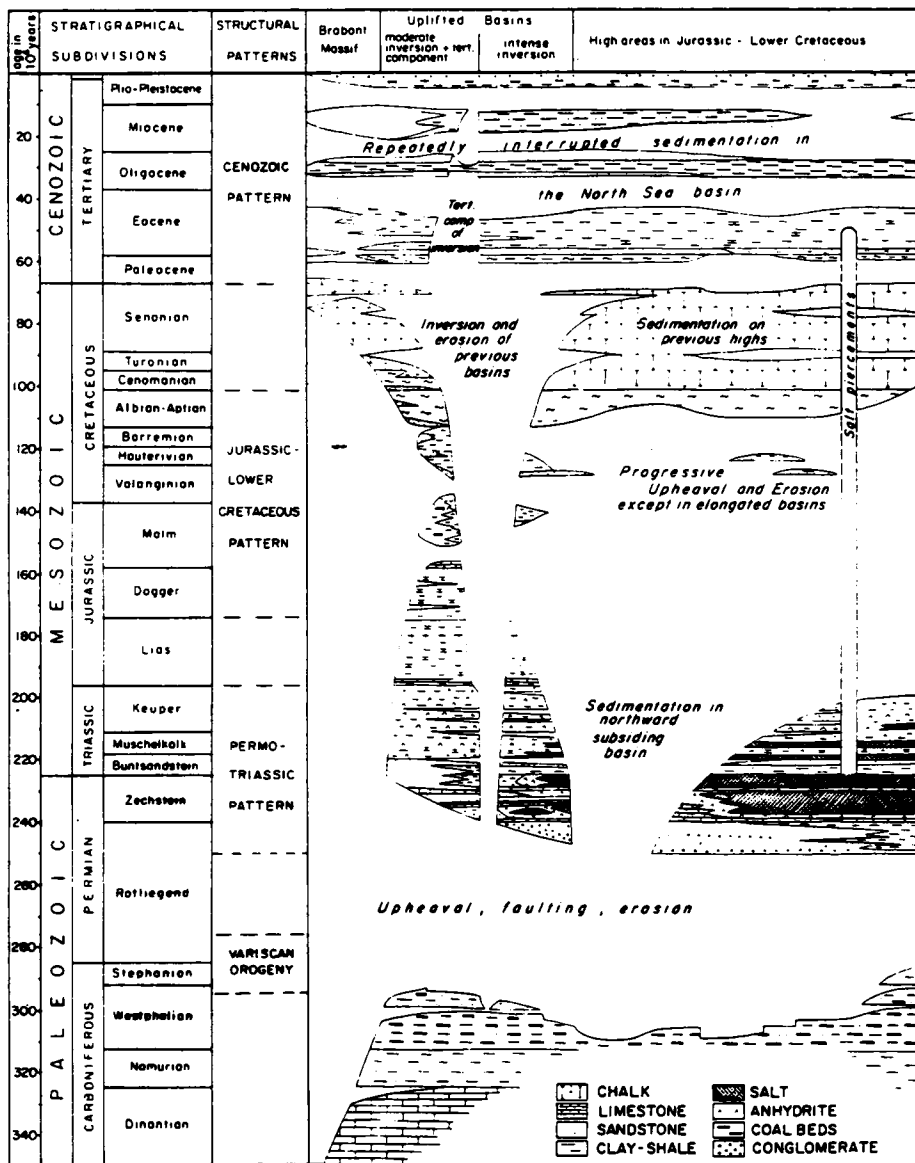
Schema mogelijk gebruik ondergrond Nederland.

De opbouw en samenstelling van de ondergrond van Nederland is zeer gevarieerd. Gegevens hierover spelen uiteraard een belangrijke rol bij een inventarisatie van mogelijk toekomstig gebruik. De meeste kennis is verzameld bij de exploratie en de winning van een aantal delfstoffen. Het verdere gebruik van de ondergrond zal in sommige gevallen ook samenhangen met deze delfstoffen. Om deze redenen wordt in hoofdstuk II: Delfstoffen, een overzicht gegeven over dat onderwerp. Hierbij komen, in principe, achtereenvolgens aan de orde: een beschrijving van het voorkomen; een opgave van de voorraden; de winning; bij-effecten van de winning; en eventuele verdere plannen.

Hierna wordt in hoofdstuk III de opbouw van de ondergrond nader besproken vanuit twee invalshoeken. Allereerst gebeurt dat in een gedeelte over de sterkte en de stabiliteit van de ondergrond. Hierin wordt vooral de tektonische ontwikkeling van Nederland geschetst. In een laatste gedeelte wordt speciaal gekeken naar de doorlatendheid van het gesteente.

Dit artikel is een complicatie van bestaande gegevens. Er zijn een vrij groot aantal kaarten en profielen aan toegevoegd, vrijwel alle conform gepubliceerd materiaal. Een belangrijk schema met daarop de lithologie van de verschillende afzettingen staat in figuur 1. Samen met de dieptelijnenkaart bovenkant Carboon (figuur 2), de geologische kaart pré-Tertiaire afzettingen (figuur 3) en de - ondiepe - geologische kaart van Nederland in [3] geeft het al een goed inzicht in de opbouw van de ondergrond van Nederland.

Van een aantal opmerkingen over het eerste concept van dit artikel door een aantal collega's is dankbaar gebruik gemaakt.

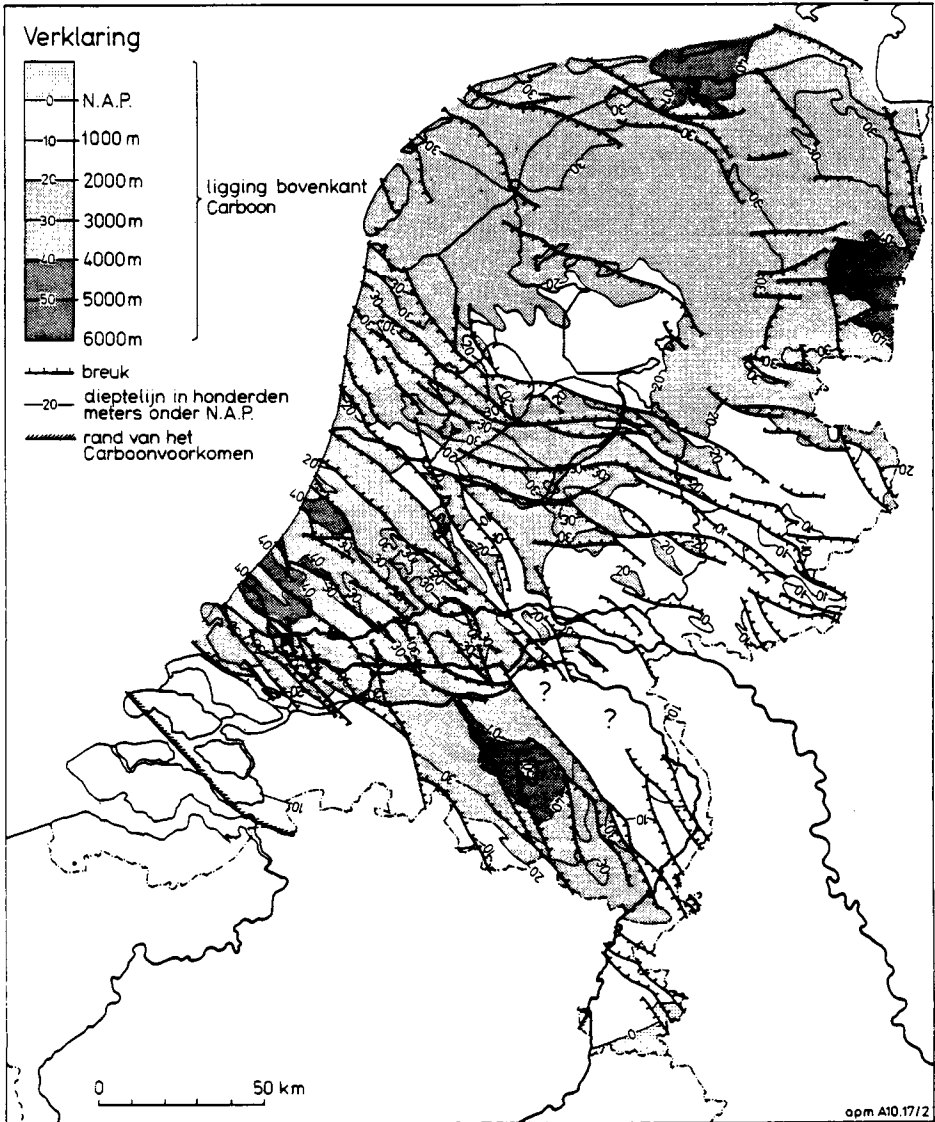


Figuur 1. Lithostratigrafische tabel Nederland. Uit [1].

II. DELFSTOFFEN

Steenkool

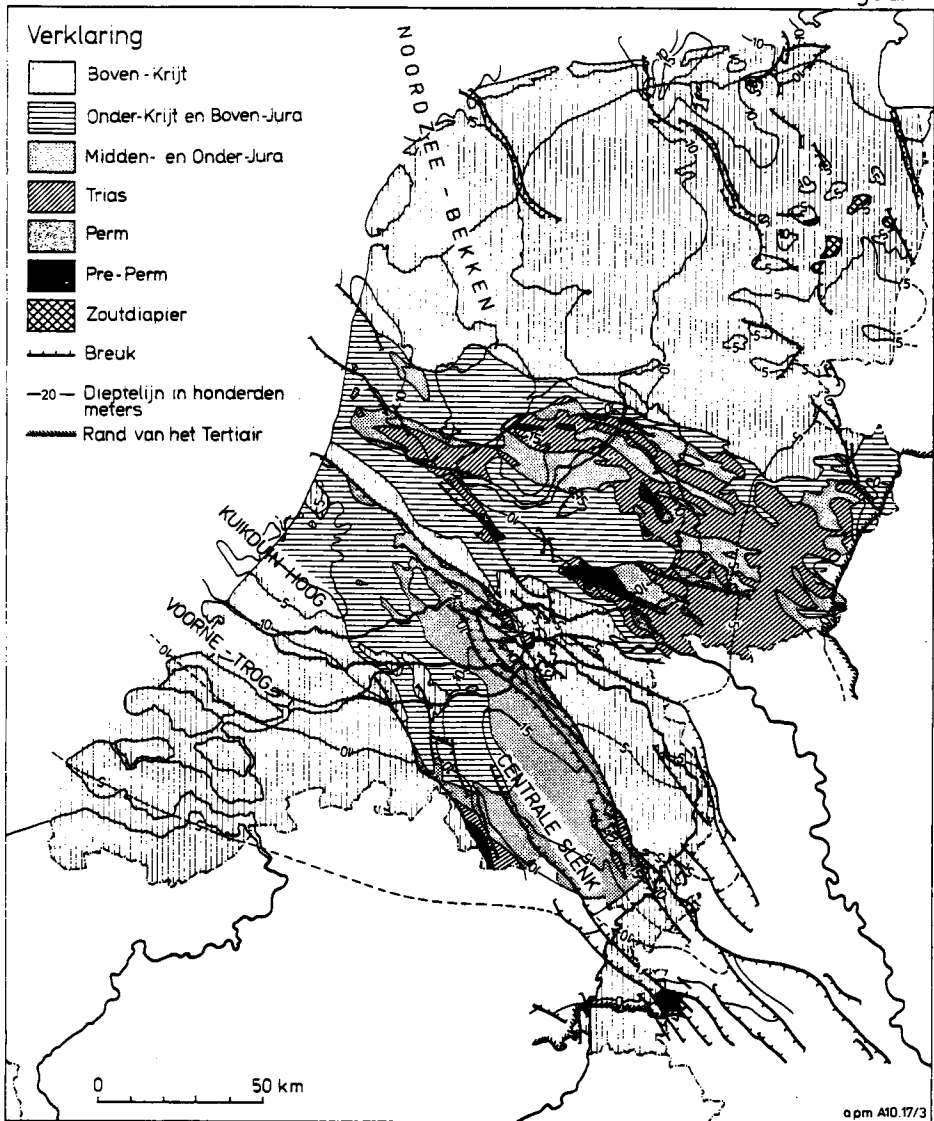
Steenkool is waarschijnlijk aanwezig onder vrijwel geheel Nederland. De ouderdom is (zie figuur 1) Westphalien, of Boven-Carboon. Het komt voor in bankjes met een dikte van centimeters tot, ten hoogste, enkele meters. Deze bankjes zijn onderdeel van een ritmische gelaagdheid met steeds - van onder naar boven - lei, steenkool, en lei overgaand in zandsteen. Deze cyclus wordt vele malen herhaald.



Figuur 2. Dieptelijnenkaart bovenkant Carboon. Naar [1] en [2].

De netto dikte van de koollagen groter dan 50 cm binnen het gehele koolvoerende pakket is in Zuid Limburg in de orde van grootte van enkele procenten.

De diepte waarop de steenkool voorkomt varieert van $\pm$ maaiveld tot enkele kilometers. Zie [4] en figuur 2, een dieptelijnenkaart bovenkant Carboon. Omdat zowel boren als het bedrijven van een mijn veel duurder wordt met toenemende diepten zijn er de laatste jaren vooral inventarisaties gemaakt tot niet te grote diepten. Het vóórkomen van koolhoudend Westphalien, met een onderverdeling naar diepte op minder dan 1000 m en van 1000 tot 1200 m, geeft figuur 4.

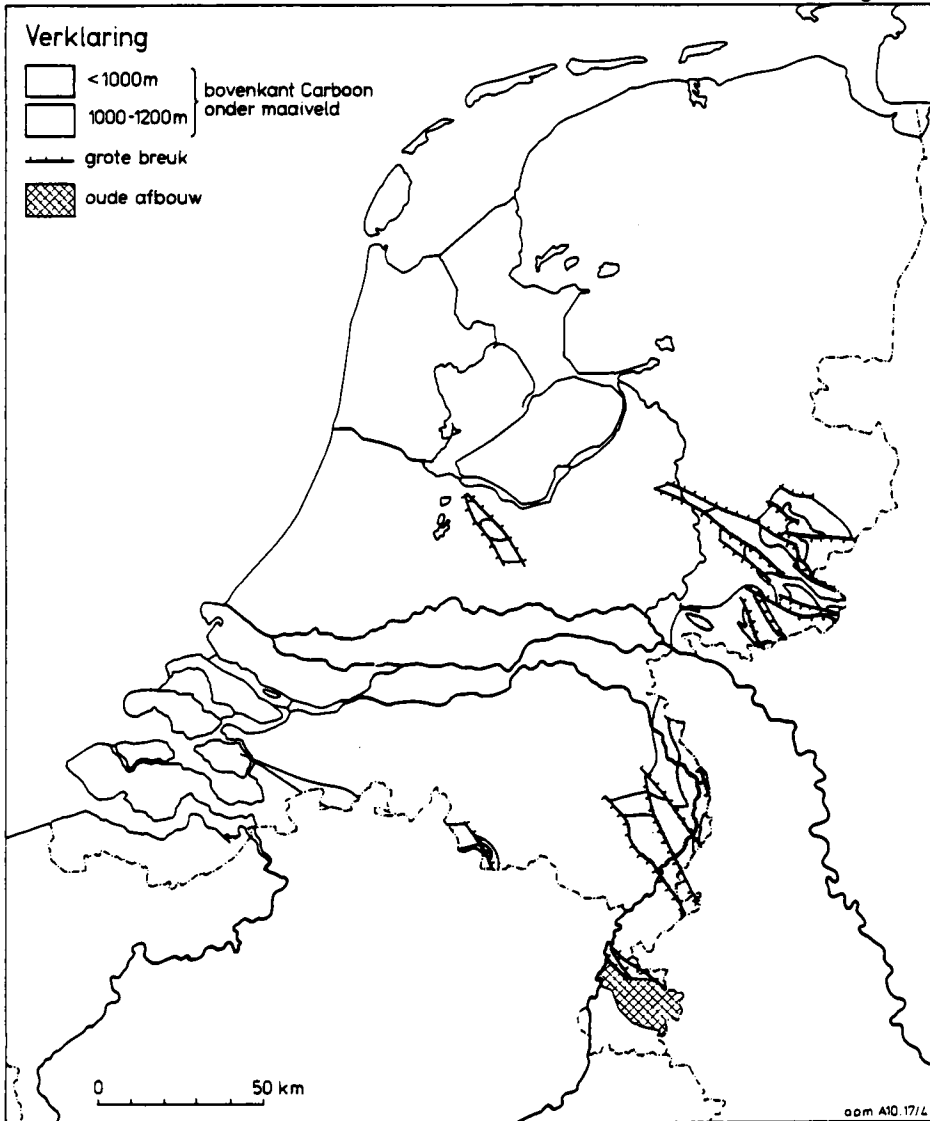


Figuur 3. Geologische kaart pre-tertiare afzettingen. Naar [1] en [2].

Over de voorraden bestaan verschillende schattingen:

- Dozy [6] 10^{12} ton ongeacht diepte.
- Commissie Martens [7] $2 \cdot 10^9$ ton tot 1500 m, lagen > 1 m.
- Commissie Martens $7 \cdot 10^8$ ton tot 1200 m 'technisch winbaar'
- Dozy [8] 10^{11} ton tot 1500 m.

De afbouwbaarheid van steenkool wordt, behalve door de dikte, ook bepaald door de horizontale verbreiding. Lagen kunnen plaatselijk ontbreken, bijvoorbeeld door uitspoeling, of splitsen zich op. Verder spelen kleine en grote storingen (breuken) een belangrijke rol. Van enorm belang bij het beoordelen van voorraden is uiteraard de winningstechniek.



Figuur 4. Verbreiding Carboon op minder dan 1000 meter en van 1000 tot 1200 meter diepte. Naar [5].

Steenkool werd in Zuid-Limburg al enkele eeuwen geleden op bescheiden schaal in dagbouw ontgonnen, en vanaf de 19e eeuw ook ondergronds. De belangrijkste periode van mijnbouw lag tussen 1900 en 1970.

Er zijn 12 mijnen geweest: 8 particuliere en 4 staatsmijnen. Een kaartje van de concessies en de mijnzetels staat in [9]. De diepte van het Carboon oppervlak varieerde van 40 tot 400 m onder maaiveld; de exploitatie vond plaats tot ruim 700 m diepte. De mijnen werden in de periode 1965 tot 1974 gesloten.

In het begin van de 60-er jaren is nog een aanvang gemaakt met de exploitatie van de Beatrix concessie. De bovenkant van het Carboon komt hier voor vanaf 400 tot 700 m, plaatselijk op 950 m diepte. De bruto dikte koolvoerende Westphalien is tot 1500 m. Er zijn twee schachten gebouwd tot ruim 700 m, waarna verder van de winning is afgezien [10].

Als gevolg van de mijnbouw zijn in Zuid-Limburg zakkingen opgetreden, tot meer dan 10 m [11]. Deze zakkingen traden vooral op bij de minst diepe ontginningen. Een probleem was soms het verband met de structuren: bestaande breuken vormen van nature al zwaktezones.

Een andere kwestie in verband met het mijnbedrijf is de geohydrologische situatie. De totale ondergrondse watertoevloed naar de verschillende mijnen beliep 25 miljoen m³/ jaar [12]. Er waren tal van ondergrondse verbindingen op verschillende niveaus, die deels later weer door dammen zijn afgesloten. Los van de mijnbouw is er zowel primaire (ontstaan tijdens de sedimentatie) als secundaire (later ontstane) permeabiliteit. Na de sluiting van de mijnen en beëindiging van het pompen is het water gaan stijgen; dit proces is nu nog gaande. Het is duidelijk dat de nu optredende veranderingen in stijghoogte en chemie van het grondwater een belangrijke invloed kunnen hebben op bijvoorbeeld de grondwaterwinning. Deze zijn immers grotendeels gerealiseerd in de periode dat de mijnen in bedrijf waren.

Zoals staat uiteengezet in [5] bestaan er concrete plannen voor een systematisch onderzoek naar het voorkomen van steenkool in Nederland. Dit zou dan een voortzetting zijn van de exploratie in de periode 1903-1959 in Zuid- en Midden-Limburg en Oost-Gelderland. Het programma bevat in eerste instantie seismisch onderzoek en boringen in Oost-Gelderland, Noord- en Zuid-Limburg.

Aardolie

Aardolie komt in Nederland voor in afzettingen van Onder-Krijt tot Midden-Jura ouderdom. Bij Schoonebeek is het reservoir de bekende Bentheimer Zandsteen, op een diepte van 650-950 m. In de Rijswijk concessie (zie figuur 5) bestaan de producerende lagen ook uit zandsteen, op diepten van 500-2000 m. In [15] staat een contourkaart met de diepte-ligging van deze formatie. Voor meer lithologische informatie zie [16].

Winning vindt plaats sinds 1945. De cumulatieve produktie te land t/m 1979 is 54×10^6 m³. De winbare reserve is in belangrijke mate afhankelijk van de toegepaste technieken. Deze bedroeg per 1-1-1980 43×10^6 m³ te land [17].

Op het continentale plat zijn vondsten gedaan in de blokken F2, F3, F18, K10, K18 en Q1. Voor Q1 is een winningsvergunning verleend. Het reservoirgesteente is van Mesozoïsche ouderdom. De winbare reserve was per 1-1-1980 11×10^6 m³.

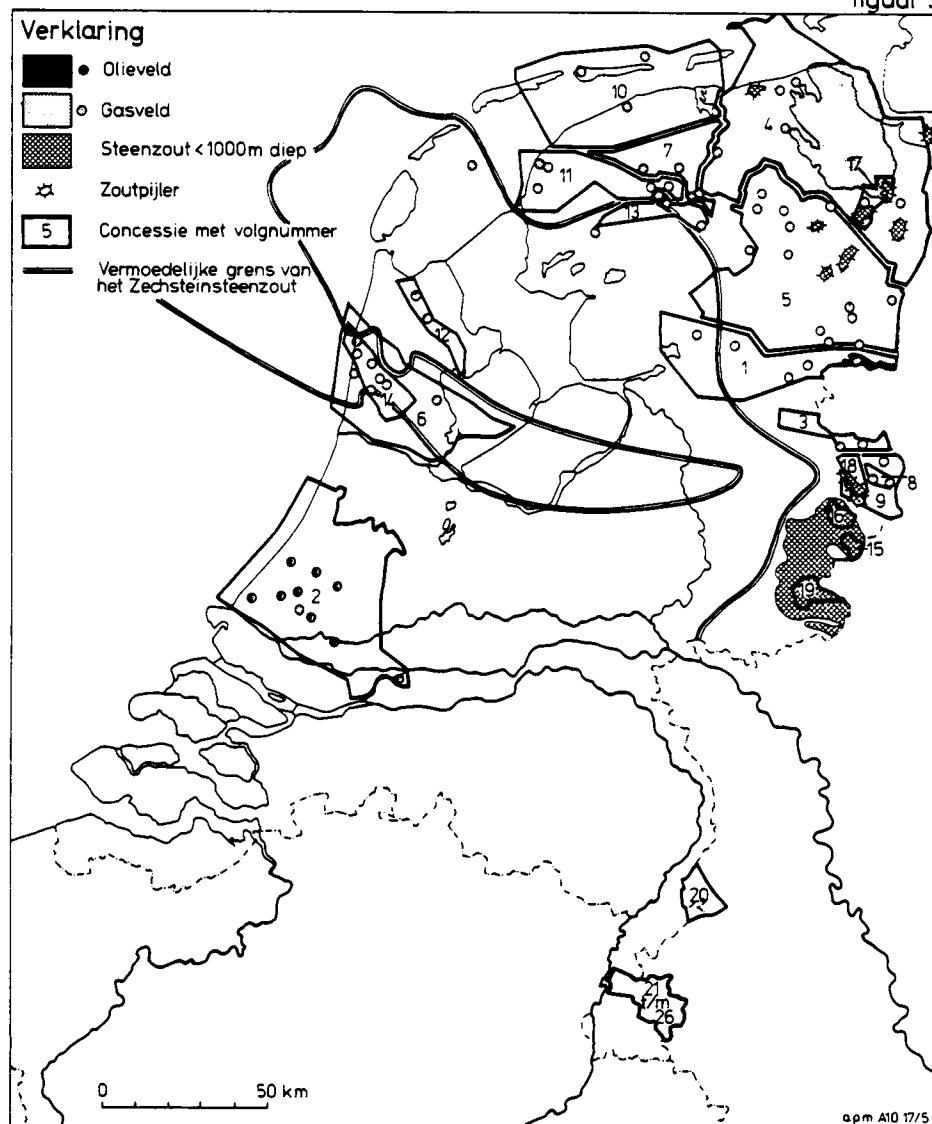
AARDGAS

Het voorkomen van aardgas in gesteenten van verschillende ouderdom staat in de volgende tabel, met diepten in meters.

	Groningen	Drente	ZW Drente Twente	Friesland	N.Holl.	Z.Holl
Eoceen			400- 600			500- 600
Boven-Krijt				1300-1450		
Onder-Krijt			1200-1500	1700-1950		600-2000
Trias		1800-2300			1200-1300	
Zechstein		2600-4000	1100-2000	2100-2400	1800-2300	
Rotliegend	2400-3500	2700-3300		2300-3500	1900-2500	
Carboon	2400-3500	2600-3700	1700-2300			

Veruit het belangrijkste is het Groningen veld. Het zandsteen pakket waaruit gewonnen wordt ligt hier op ± 2800 m diepte, met een netto zanddikte van 90 tot 200 m.

De eerste aardgasvondsten dateren uit 1948. Winning vindt plaats sinds 1951.



Figuur 5. Delfstoffenkaart (1979). Naar [13] en [14]. Voor lijst van concessies zie figuur 5a.

CONSESSIES

Aardolie en/of aardgas

- 1) Schoonebeek
- 2) Rijswijk
- 3) Tubbergen
- 4) Groningen
- 5) Drenthe
- 6) Middelie
- 7) Tietjerksteradeel
- 8) Rossum-de Lutte
- 9) Twenthe

- 10) Noord-Friesland
- 11) Leeuwarden
- 12) Slootdorp
- 13) Akkrum
- 14) Bergen

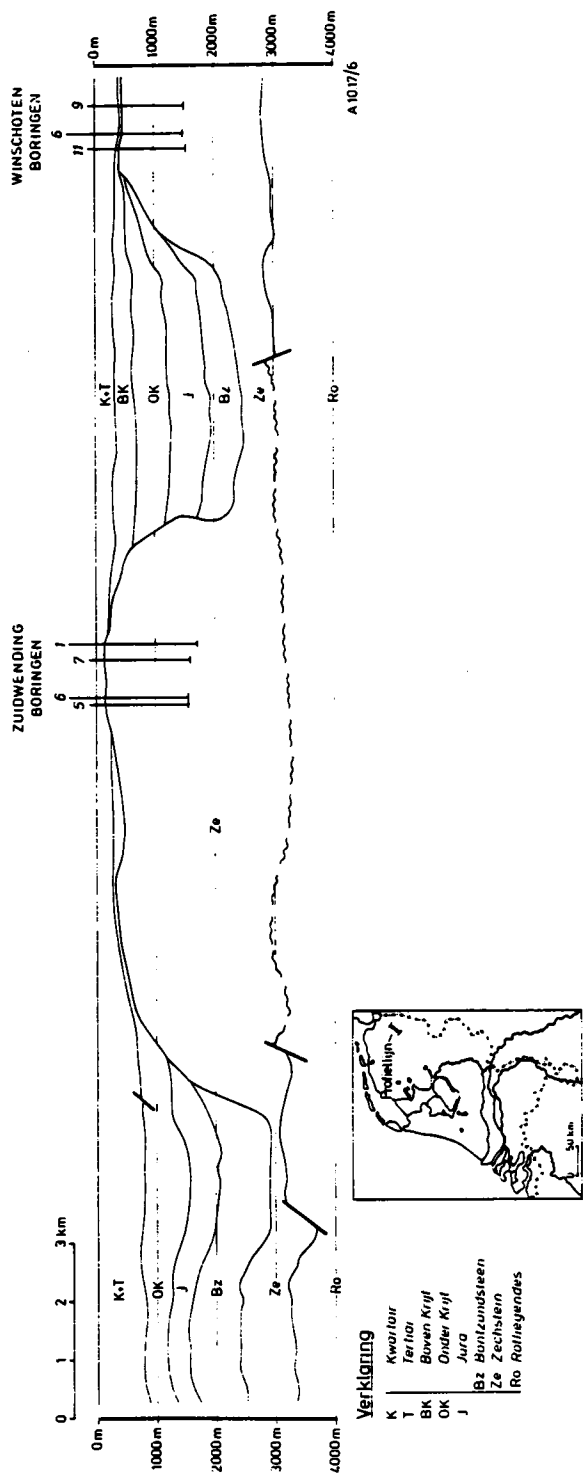
Zout

- 15) Buurse
- 16) Twenthe-Rijn
- 17) Adolf van Nassau
- 18) Weerselo

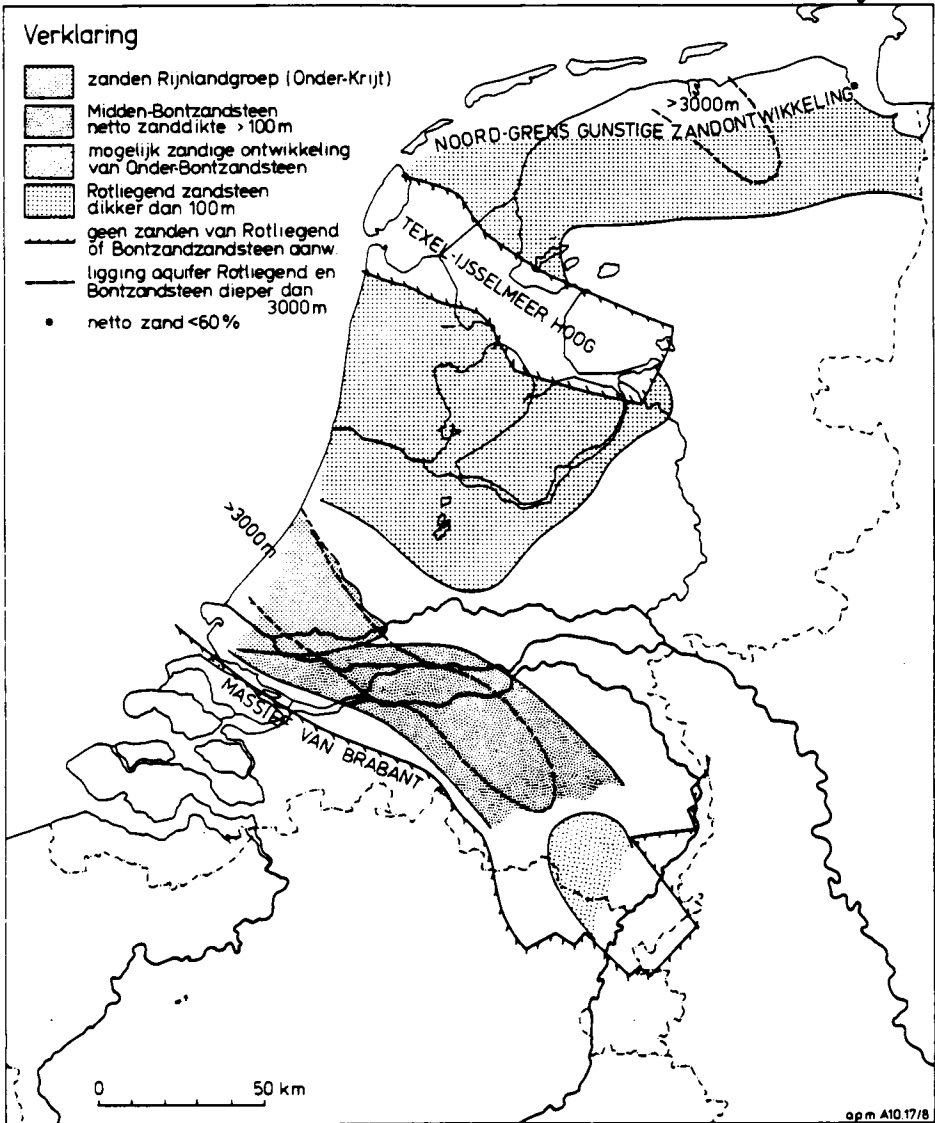
- 19) Gelria

Steenkool

- 20) S.M. Groot-Beatrix
- 21) S.M. Emma-Hendrik-Maurits
- 22) S.M. Wilhelmina
- 23) Oranje Nassau Mijnen
- 24) Laura Vereniging
- 25) Domaniale mijn
- 26) Mijn Willem Sophia
- 19) Gelria



Figuur 6. Profiel over de zoutkoepels Zuidwending en Winschoten. Naar [19].



Figuur 8. Inventarisatie diepe aquifers. Samenstelling Milius.

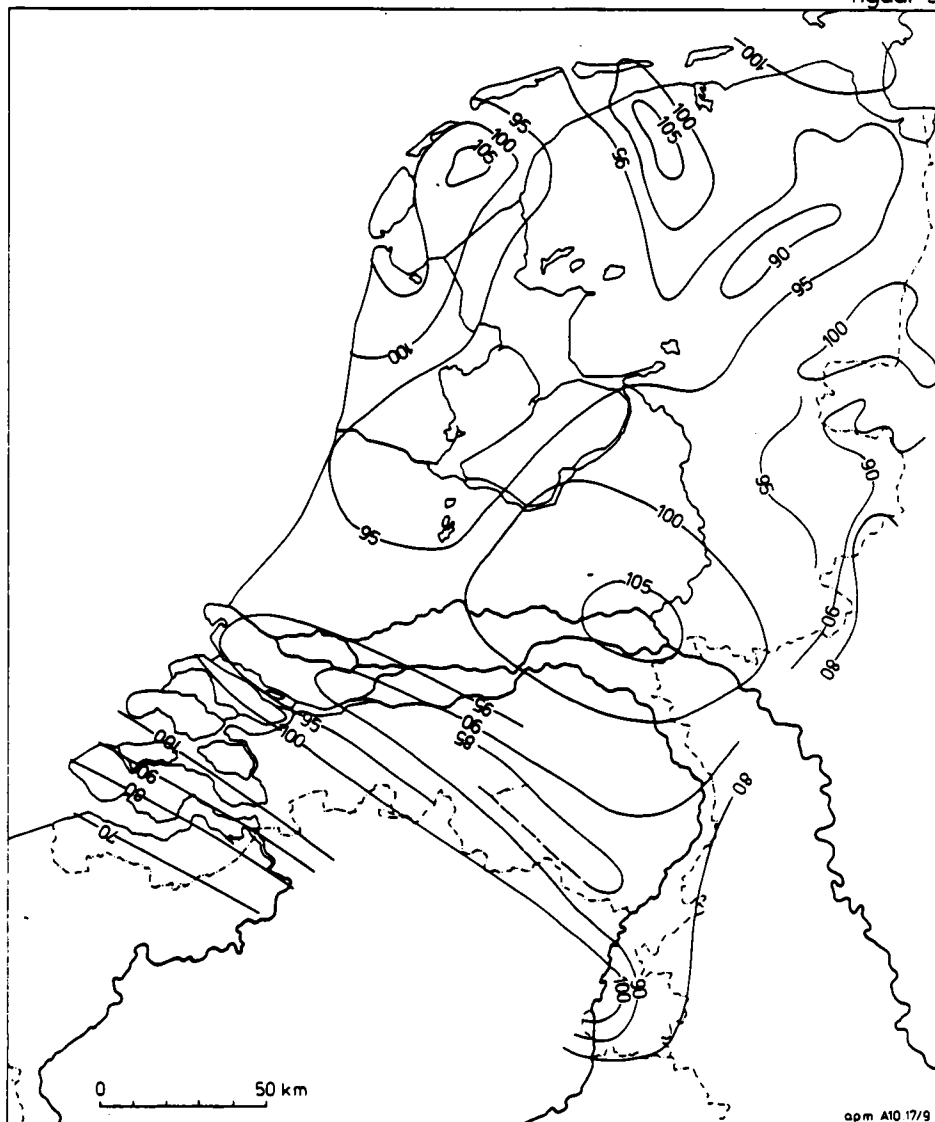
De cumulatieve produktie te land t/m 1979 is $845 \times 10^9 \text{ m}^3_{15^\circ}$.

De winbare reserve bedroeg per 1-1-1980 $2023 \times 10^9 \text{ m}^3_{15^\circ}$.

Op het continentale plat is eveneens gas gevonden, in afzettingen van verschillende ouderdom. Er zijn winningsvergunningen verleend voor de blokken L7, L10, L11w, K6, K8, K11, K13, K14 en K15. Winning vindt sinds 1973 plaats.

De cumulatieve produktie t/m 1979 is $26 \times 10^9 \text{ m}^3_{15^\circ}$.

De winbare reserve bedroeg per 1-1-1980 $304 \times 10^9 \text{ m}^3_{15^\circ}$.

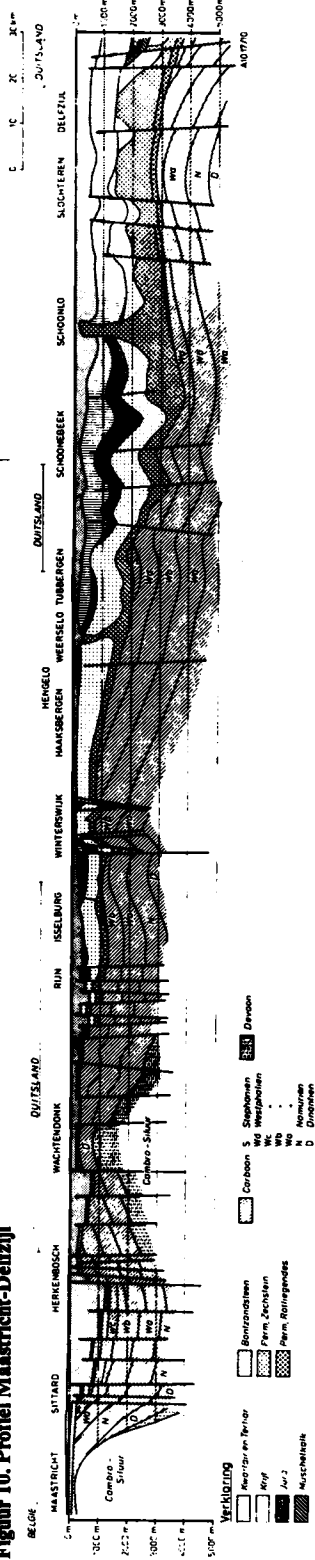


Figuur 9. Temperatuur op 2500 meter diepte. Naar [25].

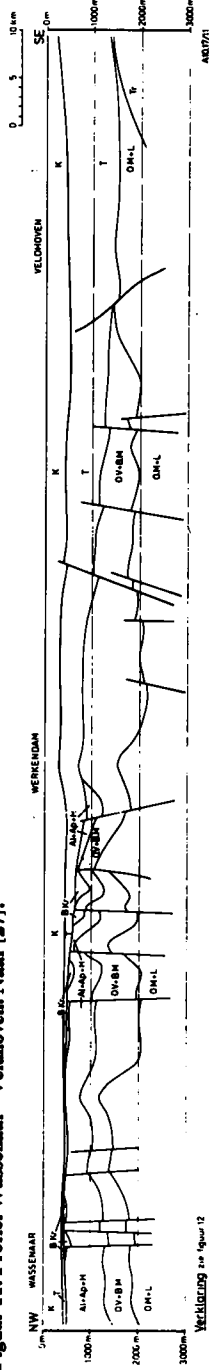
Als gevolg van de winning van aardgas op het vasteland komt bodemdaling voor, door het groter worden van de korrelspanning in het gasvoerende pakket. Voor het Groningen veld waren de eerste prognoses ruim 100 cm. Dit is later bijgesteld tot maximaal 30 cm, op basis van de dalingen die in werkelijkheid bleken op te treden. Zie verder [18]. Op een aantal andere gasvelden in Nederland zijn eveneens voorzieningen gemaakt om eventuele daling te kunnen vaststellen, en om deze naar oorzaak te kunnen uitsplitsen.

Er is een toenemende activiteit bij het exploreren van oudere en dieper liggende formaties. Ook meer in het algemeen wordt er de laatste tijd meer geëxploreerd omdat nu ook kleinere voorkomens economisch winbaar worden.

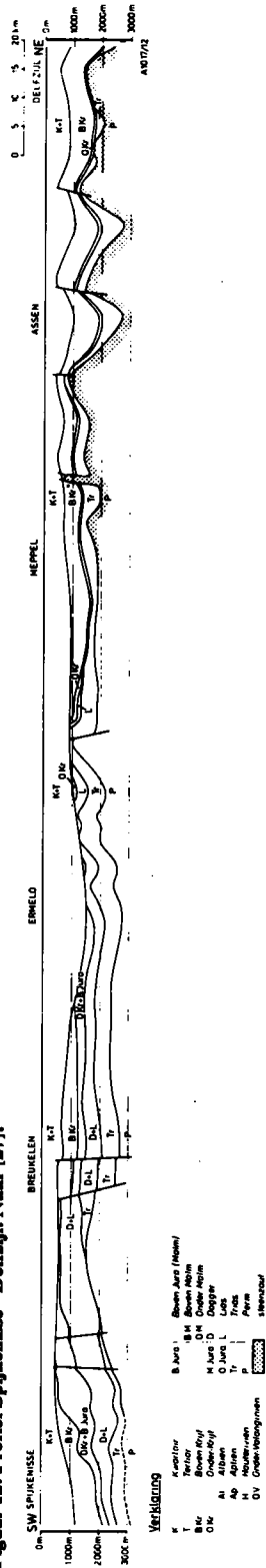
Figuur 10. Profiel Maastricht-Delfzijl



Figuur 11. Profiel Wassenaar - Veldhoven. Naar [27].



Figuur 12. Profiel Spijkenisse - Delfzijl. Naar [27].



Steenzout en K/Mg zouten

Het belangrijkste pakket steenzout in de ondergrond van Nederland is van Zechstein (Perm) ouderdom. De verbreiding staat op figuur 5. De dikte van het zout is van vele tientallen tot enkele honderden meters. Het zout ligt in het algemeen op diepten vanaf 1500 tot 2500 meter, echter 3000 meter en meer in het noordelijk grensgebied met Duitsland. In Twente evenwel bedragen deze 400 tot 1000 m.

Door halokinese, of zouttektoniek, zijn in sommige gebieden zoutkussens, -muren en -pijlers (-koepels, -dômes) ontstaan. Een aantal hiervan is aangegeven in figuur 5. De inhoud van deze steenzoutstructuren is in de orde van grootte van kubieke kilometers. De bovenkant van het zout ligt in sommige gevallen op slechts 150 m diepte. De lagen die oorspronkelijk boven het zout voorkwamen zijn vaak doorbroken. Zie als voorbeeld het profiel over Zuidwending en Winschoten in figuur 6. Naast het normale steenzout, haliet (NaCl) komen in deze structuren ondergeschikte hoeveelheden gips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) en anhydriet (CaSO_4) voor, en ook K/Mg zouten. Deze laatste zijn nog beter oplosbaar dan het steenzout zelf. Gips en anhydriet komen soms als een laag 'cap-rock', een residuaire gesteente, voor aan de bovenkant van een zoutkoepel. Er is dan een grote hoeveelheid steenzout opgelost. Het tweede belangrijke voorkomen van steenzout is in de ondergrond van Twente. Dit zout is afgezet tijdens het Röt, een onderdeel van de Bondzandsteen uit de Trias periode. Voor de verbreiding zie figuur 5. De dikte is 10 tot 70 m, plaatselijk 100 m. De diepte tot de bovenkant is 300 tot 500 m. Andere voorkomens van steenzout in onze ondergrond, eveneens uit de Trias en uit de Boven-Jura periodes, zijn van ondergeschikte betekenis.

K/Mg zouten komen in bepaalde zones binnen het steenzout voor. Dit is het gevolg van het afzettingsmechanisme van deze groep sedimenten, n.l. als meest salinaire afzettingen van de indampingscycli. In een dergelijke zone is de netto K/Mg zout dikte vaak een paar meter tot enkele tientallen meters. De gehele zone is dan veelal twee tot drie maal zo dik, soms nog aanzienlijk méér.

In normale omstandigheden zijn deze zouten, mede gezien de grote diepte waarop ze voorkomen, niet economisch winbaar. In de zoutstructuren die het diapire (doorbraak) stadium nog niet bereikt hebben, de zoutkussens, is echter in een vroeg stadium verdikking van deze K/Mg zouten opgetreden. Dit gebeurde terwijl de gelaagdheid nog nauwelijks verstoord werd. Deze verdikkingen ontstaan vooral aan de top van de zoutkussens. Het proces wordt 'preferential flow' genoemd [20]. Wanneer de zouttektoniek verder gaat wordt de oorspronkelijke gelaagdheid verstoord, wat de verbreiding van deze K/Mg zouten moeilijk hanteerbaar maakt.

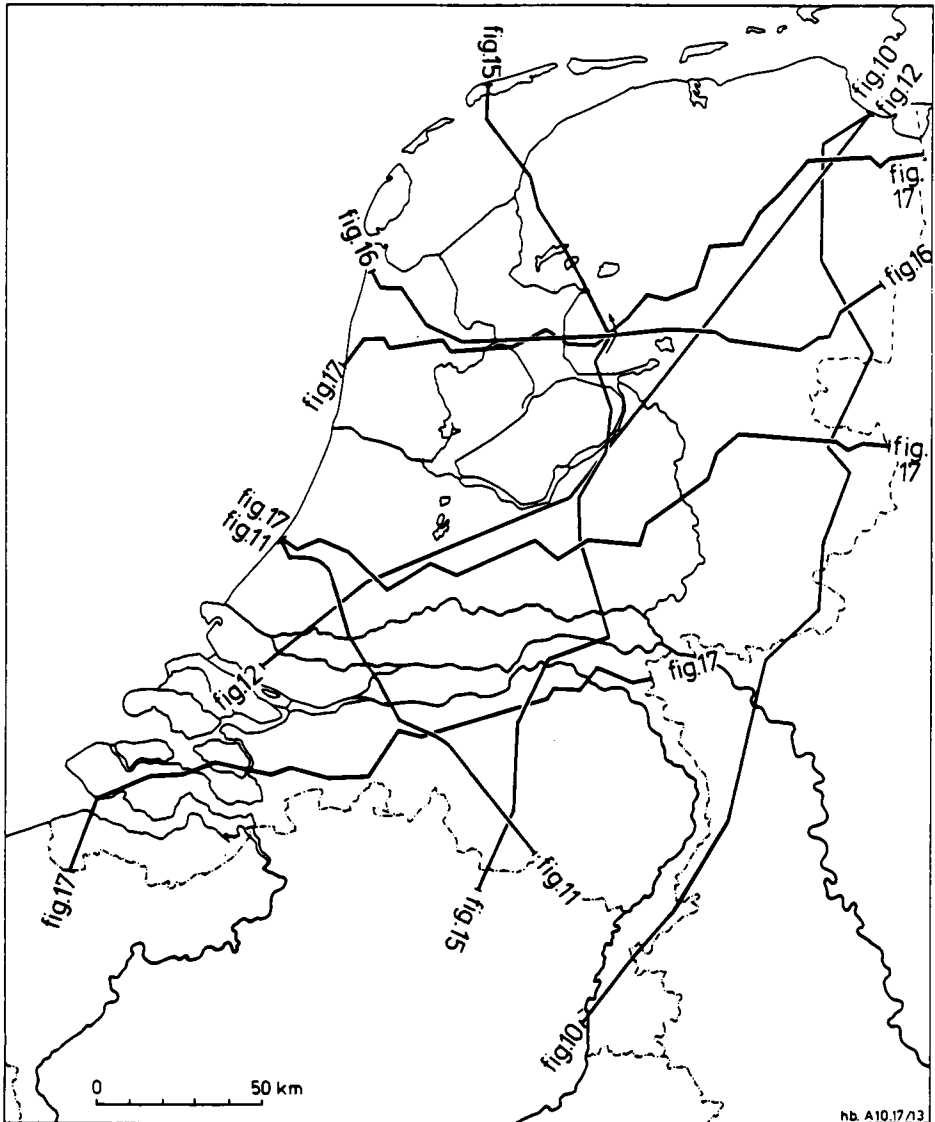
K/Mg zouten komen in principe in het gehele Zechstein-zout gebied voor. Zie verder ook [20] en [21].

De voorraden steenzout in de ondergrond van Nederland zijn enorm groot: duizenden kubieke kilometers. De voorraden K/Mg zouten zijn ook zeer aanzienlijk. De economische winbaarheid van deze laatste categorie wordt, behalve door natuurlijke oorzaken, ook sterk beïnvloed door beperkingen van mijnbouwtechnische aard.

Winning van steenzout vond plaats bij Boekelo van 1919 tot 1955, binnen de Buurse concessie (zie figuur 5). Het zout komt hier horizontaal gelaagd voor tussen 270 en 370 m, de dikte is 70 tot 90 m. De ouderdom is Röt. De methode van winning was oplossing in boorgaten.

Vanaf 1933 wordt er zout gewonnen bij Hengelo, in de Twente-Rijn concessie. Het Röt zout komt hier voor tussen 300 en 550 m, de dikte is in het algemeen 10 tot 70 m.

Zoutwinning vindt verder plaats bij Winschoten (sinds 1954) en Zuidwending (sinds 1967), binnen de Adolf van Nassau concessie. Ook hier vindt oplossingsmijnbouw plaats. Het zout is van Zechstein ouderdom, en is aanwezig in zoutkoepels op diep-



Figuur 13. Lokatiekaart profielen v.d. figuren 10, 11, 12, 15, 16 en 17.

ten vanaf 400 (bij Winschoten) resp. minder dan 200 (bij Zuidwending) meter. De andere bestaande concessies zijn Weerselo en Gelria. In deze gebieden heeft nooit echt productie plaatsgevonden. Bij Weerselo is Zechstein zout aanwezig in een diapier die aan een overschuivingsvlak is gebonden. De diepte tot bovenkant zout is 300 m. De Gelria concessie is voor de winning van steenzout (Zechstein), en van steenkool. Het zout is hier nooit geëxploiteerd, omdat er geen oplossings-technieken mogen worden gebruikt.

Chronostratigrafie			Afzettingen in verband met landijs		Afzettingen van lokale herkomst		Afzettingen van grote rivieren		Afzettingen in zee en bij de kust	
			N	Z	N	Z	N	Z	N	Z
KWARTAIR	HOLOCEN				Formatie van Koorwik E		Beuvels Formatie B - M		Westland Formatie	
					Formatie van Singraven B					
	BOVEN	Weichselien*			Formatie van Twente E - V - P - B		Formatie van Krettenheye			
		Eemien			Formatie van Aalen V		R - M		Eem Formatie	
	MIDDELEN	Saalien*	E v Drante		Formatie van Eindhoven E - B		Formatie van ...			
		Hoistienien			B - V		Formatie van ...			
		Elstienien*	E v Peelt				Urk R		Veghel M	
		Cromerien complex**								
	ONDER	Menapien*			Form van Kedichem		Formatie van Enschede O		Formatie van Sierksel R - M	
		Waalien			Itten dalei B - P		Formatie van Kedichem B - M		Formatie van ...	
		Eburonien*			V		Hardezwijk O			
		Tiglien					Formatie van Tegeren R - M		Formatie van Maassluis	
		Praetiglien*								
TERTIAIR	PLIOCEN	Boven (Reuverien)					Form van Scheemda		Kiezel- ooliet Form	Formatie van Oostermout
		Onder (Brunssumien)						P - M		
	MIOCEEN	Boven								
		Midden					Form van Meekelenberg			Formatie van Breda (Itten dalei)
		Onder								

E = eolische afzettingen
 B = periglaciaire afzettingen
 B = beekafzettingen
 V = veen

R = Rijn
 M = Maas
 O = oostelijke noordduitse rivieren en voorlopers

*koude tijd
 **complexe eenheid bestaande uit tenminste 4 warme en 3 koude tijden
 ***nog onbepaald, voorloper bij Formatie van Urk

Figuur 14. Tabel van de boven tertiaire en kwartaire formaties.

Proefwinning van K/Mg zouten vindt bij Veendam plaats sinds 1972. In 1980 is de concessie verleend. Het betreft hier een zoutkussen structuur met Zechsteinstein-zout. Tussen 1400 en 1700 m wordt met oplossings-technieken geproduceerd. Zie verder [20].

Als gevolg van de winning van steenzout bij Hengelo, die ook plaatsvindt door oplossing via boorgaten, is er op enkele lokaties verzakking opgetreden [22]. Het gaat hier om bedragen tot 3 meter; de in totaal beïnvloede gebieden zijn enkele honderden meters groot.

De steenzout voorkomens in onze ondergrond hebben veel mogelijke toepassingen. Wat de winning van het materiaal zelf betreft wordt thans overwogen of normale mijnbouw rendabel zou zijn.

Oppervlakedelfstoffen

Grind komt voornamelijk voor in Zuid- en Midden-Limburg. In Zuid-Limburg is het pakket 5 tot 15 m dik, afgedekt door enkele meters löss. In Midden-Limburg is ongeveer 20 m grind aanwezig, afgedekt door 10 m fijnkorrelig zand. Op enkele andere plaatsen in het land wordt op beperkte schaal grind gewonnen.

Industriezand of grof zand komt op talrijke lokaties in het Pleistocene gebied op bereikbare diepten voor. Er is een grote centrale winplaats bij Bergen in Noord-Limburg, en er zijn vele kleine lokale winningen.

Ophoogzand komt eveneens op talrijke lokaties in het Pleistocene gebied voor. Het wordt echter ook tot 12 m. diep gewonnen, onder het Holoceen, en uit zandbanen binnen het Holoceen. Milieubescherpende maatregelen leiden incidenteel tot overschakeling op zeezand.

Zilverzand, een vrijwel zuiver kwartszand van Miocene ouderdom, is beperkt tot het oostelijk deel van Zuid-Limburg.

Leem komt voor in het gebied van de Centrale Slenk in Midden-Noord-Brabant.

Keileem komt voor in Drente, Oost-Friesland, Oost-Groningen en een aantal verspreide lokaties.

Klei van zeer verschillende ouderdom (Tertiair tot Holoceen) en compactie wordt als oppervlakte delfstof gewonnen. De oudere kleien liggen in het zuiden en het oosten aan de oppervlakte, de jongere met name langs de grote rivieren.

Veenwinning komt in Nederland nog op beperkte schaal voor in Zuidoost-Drente, en, lokaal, in West-Nederland.

Bruinkool werd in het gebied ten noorden en ten oosten van Heerlen in dagbouw ontgonnen. De produktie is in 1960 beëindigd [23].

Kalksteen uit het Boven-Krijt komt in Nederland aan de oppervlakte alleen voor ten zuiden van Maastricht-Heerlen. Dit gesteente wordt vaak mergel of krijt genoemd en is betrekkelijk zacht. De dikte boven de grondwaterspiegel is tot 50 m. Dolomitische kalksteen uit het Onder-Krijt wordt ontgonnen bij Winterswijk, en komt verder alleen ten noordoosten van Enschede voor.

Op het Nederlands deel van het continentale plat komen grind en industriezand maar beperkt voor. Wel is er ophoogzand in grote hoeveelheden aanwezig.

Voor nadere gegevens over oppervlakedelfstoffen wordt verwezen naar [24].

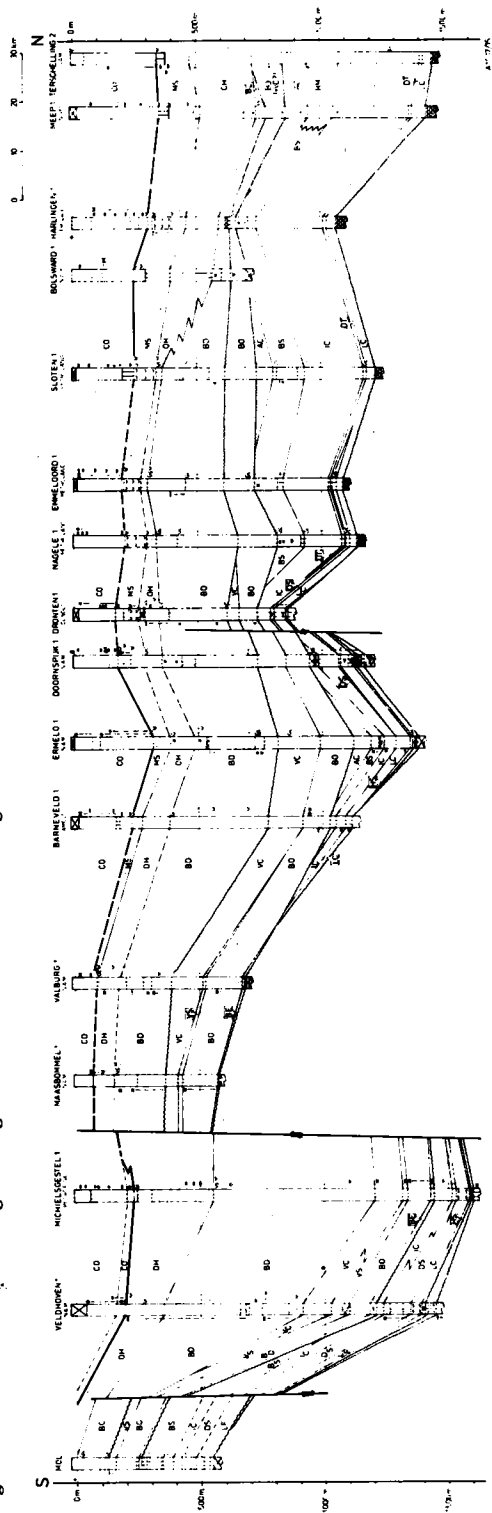
De thans optredende schaarste aan oppervlakedelfstoffen is van planologische aard. Bedrijfseconomisch is een korte afstand naar de gebruiker van belang. Een goed herkenbaar ontgrondingsbeleid begint gestalte te krijgen.

Geothermie

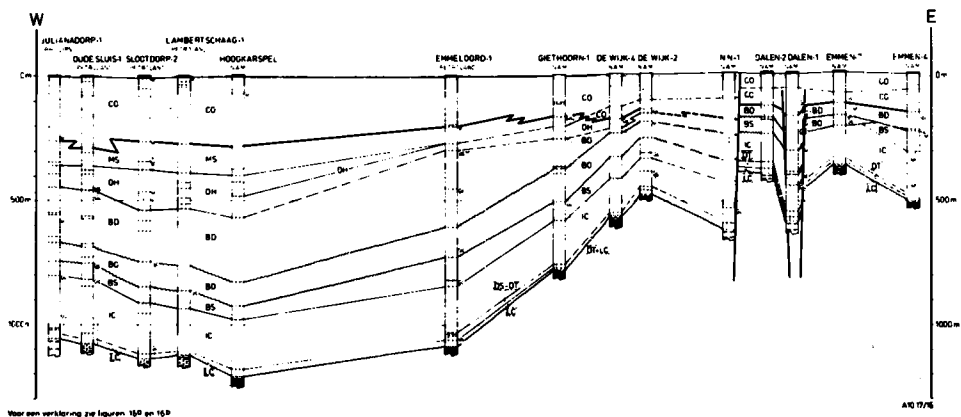
Voor het leveren van geothermische energie wordt een bepaalde afzetting interessanter naarmate beter aan enkele voorwaarden wordt voldaan:

- Het gesteente moet watervoerend zijn en voldoende diep liggen - onder Nederlandse omstandigheden thans 2000 m en meer.

Figuur 15. Profiel Mol-Terschelling. Samengesteld door H.A. v. Adrichem Boogaert.



Figuur 16. Profiel Julianadorp-Emmen



Boorkolomverklaring

- onbekend
- zand, continentaal, in het algemeen grover dan 150 mu
- zand, marien, in het algemeen fijner dan 150 mu
- klei
- klei, zandig
- klei, zwak zandig
- afwisseling van dunne laagjes zand (fijn) met dunne laagjes klei
- overgang van zand (fijn) naar klei
- schelpenlaag of -bank
- mergel
- kalksteen
- traject met grind
- (hier en daar met grind)
- met klei-laagjes
- sterk-, normaal-, zwak-glaucioniethoudend
- met veenbrokjes
- met plantenresten
- met schelpen
- kalkhoudend
- mergelig
- met dun zandlaagje

Figuur 16b. Stratigrafische verklaring

CO	Continental (Plio-) Pleistocene
MS	Formatie van Maassluis
OH	Formatie van Oosterhout
BD	Formatie van Breda
Formatie van Veldhoven	VC Veldhoven Klei
	VS Voort Zand
Rupel Formatie	BO Boom Klei
	BE Berg Zand
Formatie van Dongen	AC Asse Klei
	BS, BM Brussel Zand, Mergel
	IC Ieper Klei
	DS, DT Dongen Zand, Tuffiet
Formatie van Londen	LC Landen Klei
	HS Heers Zand
Mesozoische formaties	

- De dikte dient minstens 50 m te bedragen.
- de porositeit (het poriënvolume) moet minsten 15% zijn, en de kD waarde (permeabiliteit in darcy $\times$ laagdikte in meters) minstens 15.

Afzettingen uit het Perm (Boven-Rotliegend, zandsteen), uit de Trias (Midden-Bontzandsteen) en uit het Onder-Krijt (Rijnland Groep, zandsteen, zie [16] voldoen in bepaalde gebieden aan deze voorwaarden. Een voorlopige schetskaart van de verbreiding van deze gesteentes staat in figuur 8. Verder zijn er potentieel mogelijkheden in afzettingen van Carboon ouderdom (voornamelijk kalksteen) en van Boven-Jura tot Onder-Krijt ouderdom (zandsteen).

De geothermische gradient in ons land is iets hoger dan gemiddeld, nl. 30 à 35°/1000 m. Temperaturen rond de 100°C worden op $\pm$ -2500 m diepte aangetroffen (figuur 9). De verschillen van gebied tot gebied zijn gering, zeker in verhouding tot het probleem van voldoende permeabiliteit op deze grote diepte.

Bij de Rijks Geologische Dienst worden de mogelijkheden voor geothermie thans geïnventariseerd. Dit onderzoek, dat wordt uitgevoerd in het kader van het Nationaal Programma Aardwarmte, zal eind 1982 worden gerapporteerd. In [26] wordt ook informatie gegeven die voor geothermie nuttig kan zijn.

III STERKTE EN STABILITEIT, DOORLATENDHEID

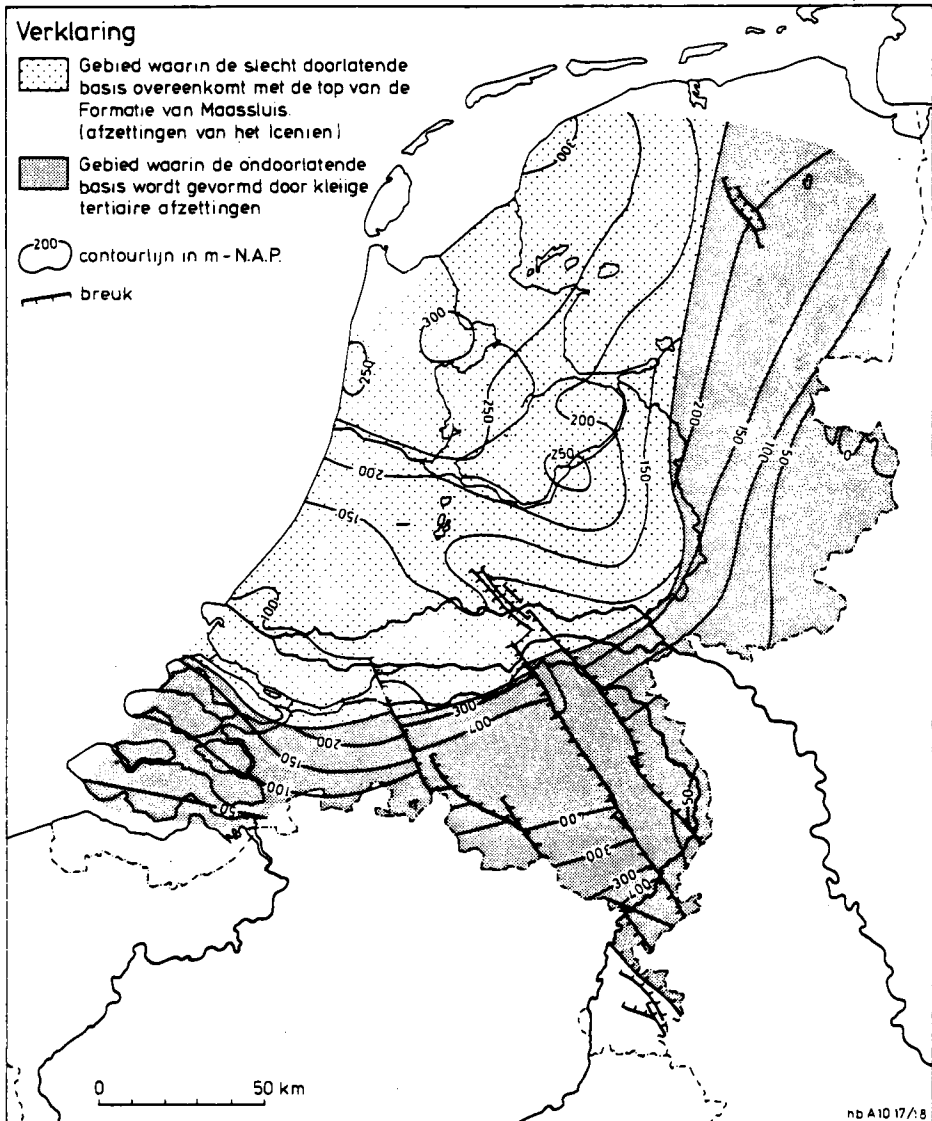
Het gebied dat nu Nederland is heeft in de loop van de geologische geschiedenis talrijke perioden van daling en sedimentatie gekend. Deze werden afgewisseld door perioden van opheffing, plooiing of scheefstelling en erosie: de 'witte' gedeelten in figuur 1. Als gevolg hiervan liggen afzettingen van gelijke ouderdom en aard nu op soms heel verschillende diepten. Ook komen bepaalde pakketten hierdoor in het ene gebied wel, maar in andere niet voor. Ter illustratie kunnen drie profielen in de figuur 10, 11 en 12 dienen. De ligging van de profielen is aangegeven in figuur 13.

Toch is de totale bedekking die afzettingen van een bepaalde ouderdom ooit hebben gehad in het algemeen ongeveer gelijk. Diagenetische processen zoals compactie en cementatie hebben in afzettingen van gelijke ouderdom ook ongeveer in dezelfde mate gewerkt. Als resultaat hiervan zijn beneden de grens Jura-Krijt de sedimenten in het algemeen overgegaan in - voornamelijk - schalie, zandsteen en kalksteen. Een geologische- en dieptelijnenkaart van dit niveau staat in [1] en [2]; een dieptelijnenkaart van een ander belangrijk, dieper gelegen, niveau, de bovenkant Carboon, geeft figuur 2.

Afzettingen uit de Krijt-periode zijn minder geconsolideerd. Aan het einde van het Krijt was er een zeer belangrijke fase van opheffing, scheefstelling en erosie, waarbij een kilometer of meer sediment werd afgevoerd. Als gevolg hiervan worden direkt beneden het Tertiair afzettingen van zeer verschillende ouderdom aangetroffen (zie figuur 3), en vormt de onderzijde Tertiair veelal een duidelijke compactie overgang.

Aan het begin van het Tertiair, 65 miljoen jaren geleden, zette zich een daling in. Hierdoor vond weer sedimentatie plaats, in marien milieu. Deze daling gaat nog steeds door. Als gevolg hiervan bevindt de onderzijde der Tertiaire afzettingen zich nu op diepten van nul tot 1900 m. Een dieptebeeld van dit niveau staat ook in figuur 3. Een afwijkend gebied was het Kijkduin Hoog, waar de daling pas laat, in het Oligoceen, begon. In de Centrale Slenk was de daling het grootst. Tot in het Kwartair zijn er belangrijke verschillen in daalsnelheid opgetreden; de snelheid was in deze jongste periode in het algemeen relatief hoog. Dit blijkt uit de kaart met dieptelijnen onderkant Kwartair in [2] en [28] waar waarden tot -500 m op voorkomen. Dat geeft een gemiddelde daalsnelheid van maximaal 0,25 mm/jaar, tegen 0.003 mm/jaar voor het gehele Tertiair en Kwartair samen.

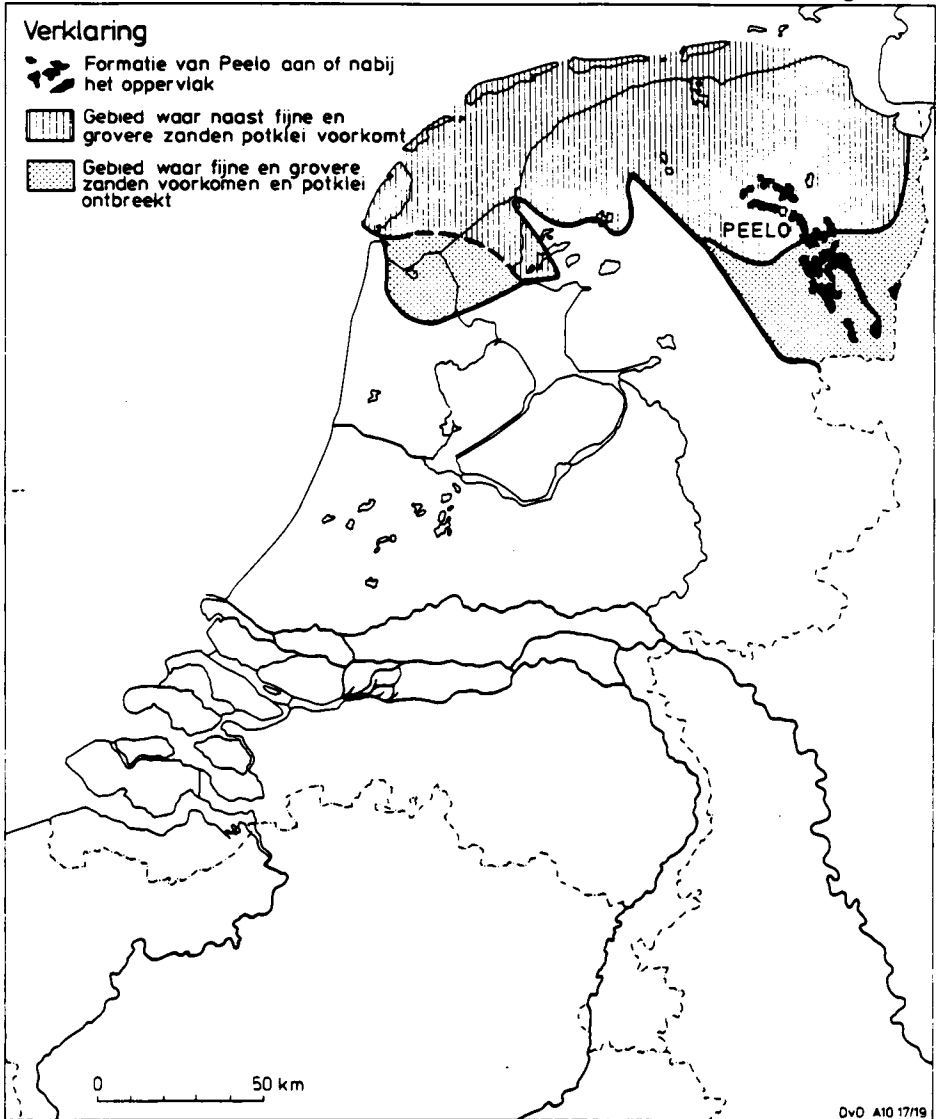
Binnen het sediment pakket van Tertiaire en Kwartaire ouderdom zal de mate van



Figuur 18. Diepteligging onderkant watervoerend pakket. Naar [35].

compactie per lithologie afhangen van zowel de huidige diepte als de ouderdom en de voorbelasting van het sediment. Klei van Tertiaire ouderdom die in Nederland in het algemeen op honderden meters diepte voorkomt treedt in Zuid Limburg aan de dag, maar is daar wel zeer hard.

Een belangrijk ondiep gelegen vlak met betrekking tot de draagkracht van de ondergrond is de onderzijde Holocene. Dit is voornamelijk een gevolg van verschillen in lithologie. Het Holocene bevat veelal veen en klei, terwijl het hieronder liggende Pleistoceen meestal uit zand bestaat. Fundering van gebouwen vindt in het algemeen plaats op dit zand. De diepteligging van dit niveau is tussen nul en 25 meter. Verschillen in zetting (inklinking) van de bodem in West- en Noord-Nederland worden voor het grootste deel veroorzaakt door verschillen in dikte van het veen binnen de Holocene sedimenten.



Figur 19. Verbreiding van de Formatie van Peelo. Naar [29].

Een apart punt van aandacht is het effect van de ijstijden. De afzettingen van het Midden- en Onder Pleistoceen (pré-Saalien in figuur 14) die ten noorden van de lijn Haarlem-Nijmegen liggen zijn met ijs voorbelast geweest. De dikte van de ijsbedekking was 250 m of meer. De diepteligging van dit deel van het Pleistoceen is 0 tot 20 à 30 meter. Op het continentale plat speelt deze voorbelasting een belangrijke rol bij het funderen van boorplatforms.

Gedurende de ijstijden is het niveau van de zee gedaald met meer dan 100 meter. Dit had daling van de grondwaterstanden tot gevolg, vooral in gebieden met veel reliëf, wat met name nabij de toenmalige kust kan zijn voorgekomen. (zie [30]). Om deze reden kan ook een aanzienlijk extra compactie zijn opgetreden.

Tijdens de verschillende perioden van bodembeweging in de geologische geschie-

denis van Nederland is ook breukvorming opgetreden. Het huidige breukenpatroon hangt samen met de daling die sinds het begin van het Tertiair plaatsvindt. De breuken zijn in het algemeen afschuivingen. Dat deze breuken in principe nog werkzaam zijn blijkt uit de geologische kaart in [3]. Op deze kaart vallen veel dagzomen (begrenzings) samen met breuken. Een lokatiekaart van breuken in de ondiepe ondergrond staat in [37], een breukenpatroon voor Zuid-Limburg geeft [32].

Breuken kunnen om verschillende redenen belangrijk zijn. Aardbevingen zijn bewegingen langs deze breukvlakken, en de verbreiding van mogelijke aardbevingshaarden is dus - in principe - bekend. En kaart met de seismische activiteit van Nederland staat in [33]. Verder lopen de lagen aan weerszijden van een breuk niet door maar verspringen, waardoor pakketten van verschillende lithologie tegenover elkaar kunnen komen te staan. Tenslotte kan het breukvlak zelf een rol spelen. Het kan stagnatie veroorzaken doordat bijvoorbeeld klei langs het vlak is versmeerd, maar een breukzone kan ook juist watervoerend zijn door secundaire permeabiliteit.

Gesteenten met een goede doorlatendheid komen in Nederland tot op grote diepte voor, getuige de formaties waaruit aardolie en aardgas gewonnen wordt. Zie hierbij figuur 1 en het gedeelte over deze delfstoffen elders in de tekst. Wel neemt de doorlatendheid in het algemeen met toenemende diepte af. Bij het gedeelte over geothermie is aangegeven welke afzettingen het best als reservoirgesteente bruikbaar worden geacht.

Slecht doorlatende gesteenten zijn op grote diepte veel aanwezig. Het steenzout neemt hierbij een bijzondere plaats in.

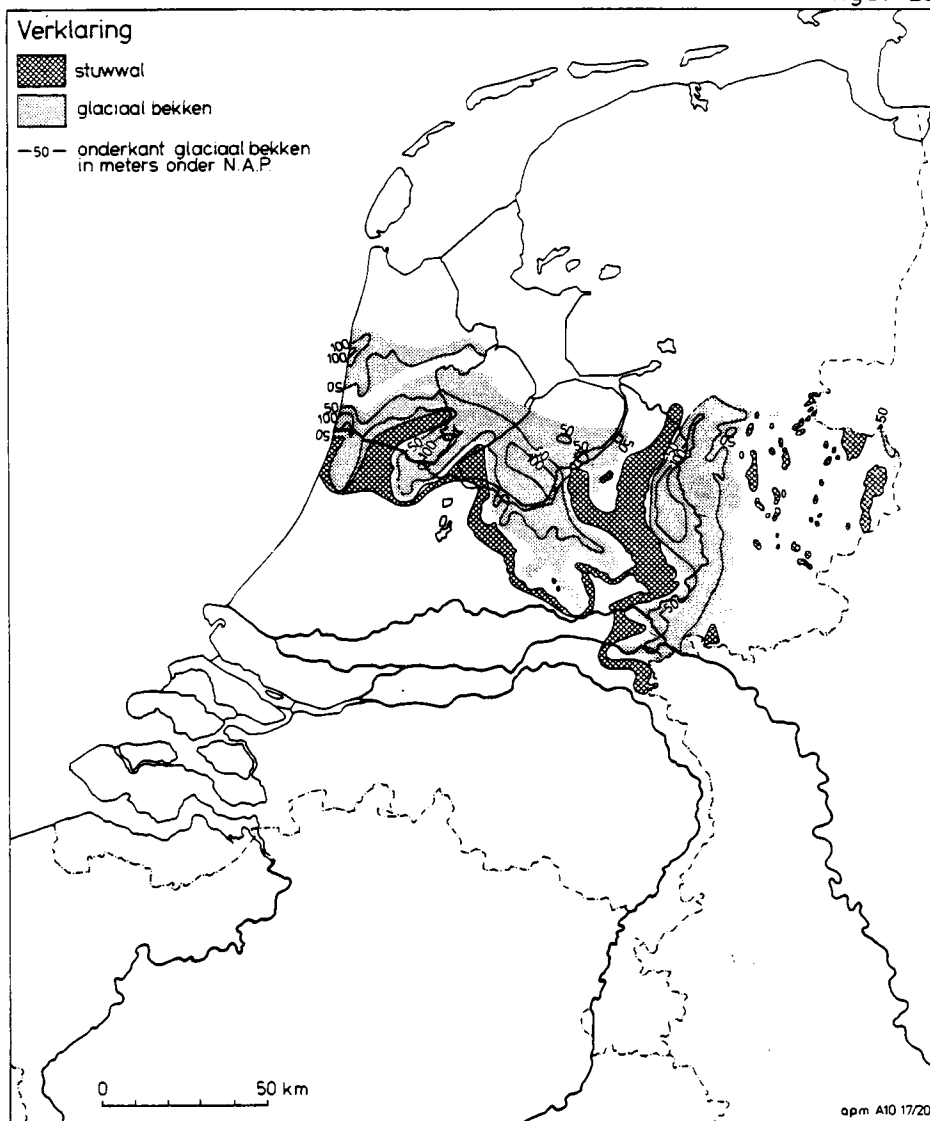
Het Onder-Tertiair (Paleoceen, Eoceen en Oligoceen, zie ook [16]) bestaat grotendeels uit klei. De erin voorkomende zandvoorkomens zijn in het algemeen betrekkelijk fijnkorrelig en beperkt doorlatend. Dit zijn (van oud naar jong).

- Heers Zand, gedeelte van Brabant en Limburg, Palaeoceen.
- Basaal Dongen Zand, vaak zeer dun, Zuid Nederland, Eoceen.
- Zand van Brussel, vooral Zuid-Nederland, Eoceen.
- Zand van Berg, dun, vooral Zuid-Nederland, Oligoceen.

De klei van Boom, eveneens afgezet in het Oligoceen, komt in het gehele land voor. Het is een zware, donkerbruine, iets silthoudende klei. Hij ligt op geringe diepte in de volgende gebieden: 10, oplopend tot 400 meter tussen Zeeuws Vlaanderen en de lijn Rotterdam/Dongen; 300 à 400 meter op de Peelhorst tussen Zeist en Tegelen; en 0 tot 400 meter in het gebied Oost-Groningen, Drente, Overijssel en Oost-Flevoland. In de rest van Nederland ligt deze klei op diepten tot 800, bij uitzondering 1000 meter. In Noord-Brabant vormt deze klei de onderzijde van het watervoerend pakket. Een illustratie van de tertiaire afzettingen wordt gegeven in twee profielen (figuren 15 en 16).

Met het oog op het gebruik van de ondergrond tot 1000 meter diepte voor de opslag en terugwinning van warm water vindt thans een inventarisatie plaats door de Rijks Geologische Dienst en de Dienst Grondwaterverkenning TNO in het kader van het Nationaal Programma Aardwarmte. De volgorde van de gebieden die bewerkt worden is Zuid-, Midden- en Noord-Nederland. De resultaten zullen in de komende 2 à 3 jaren beschikbaar komen.

Boven-Tertiaire afzettingen van het Mioceen bestaan uit slibhoudende, fijnkorrelige zanden, silts en kleien, met aan de oost- en de zuidgrens ingeschakeld nog zandlagen. Het Pliocene bevat zanden (in West-Brabant schelpplagen), met daarop een pakket slibrijke afzettingen. Het Pleistoceen bestaat uit een afwisseling van zanden en kleien. Pliocene en Pleistoceen, met in de zandgebieden ook de zanden van het Mioceen, kunnen als één groot watervoerend pakket worden beschouwd. De kaart

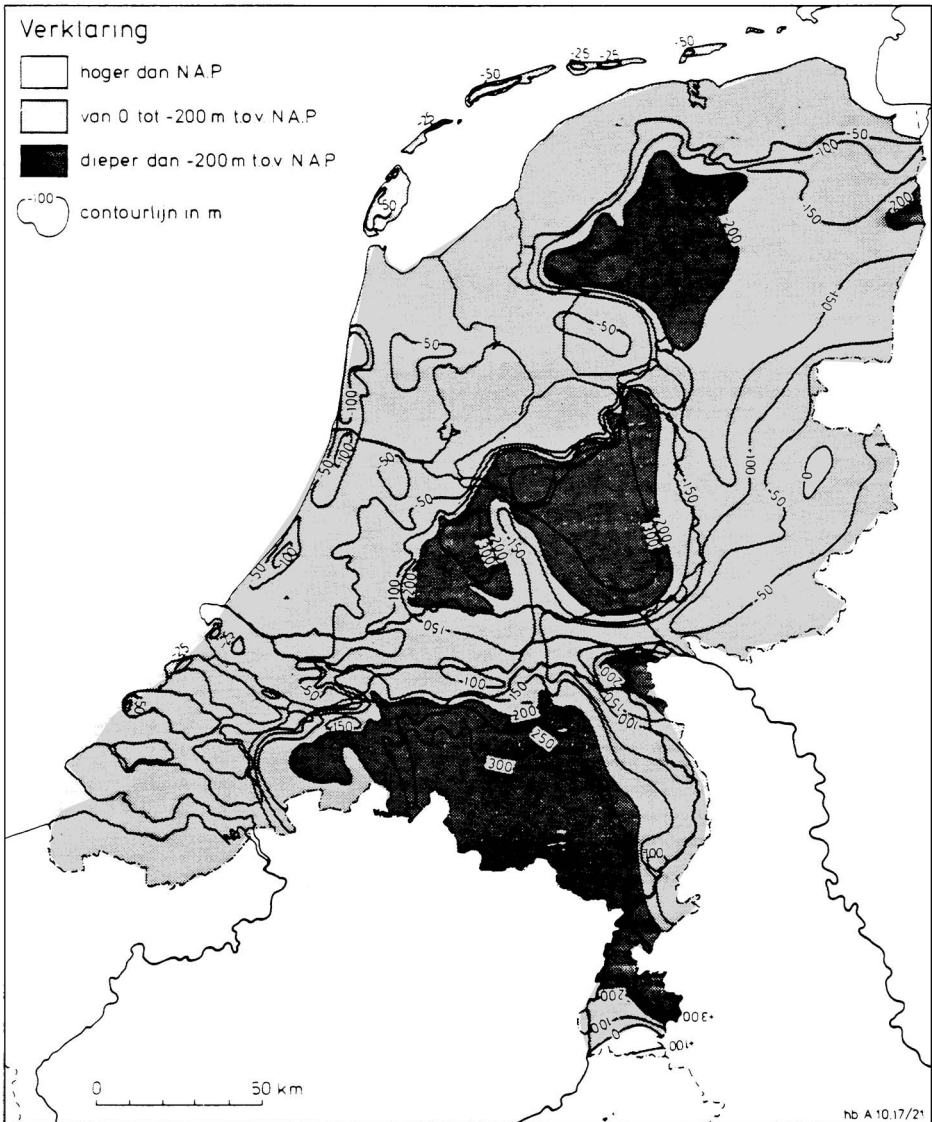


Figuur 20. Glaciale bekkens en stuwwallen uit het Saalien. Naar [38].

met diepteligging onderkant watervoerend pakket, figuur 18, toont dat dit pakket 100 à 200 meter dik is.

De afzettingen van het Holoceen tenslotte zijn in het algemeen sterk kleilig. In [36] staat een kaart met daarop aangegeven de lithologie van de bovenste 40 meter sediment. Hierop komt dit holocene gebied duidelijk tot uitdrukking. Voor verdere informatie over de lithologie van deze Boven-Tertiaire en Kwartaire afzettingen zie [29] en [37].

Zoals al op de profielen blijkt bevat het goed doorlatende pakket tot 100 à 200 meter diepte ook klei, afgezet in bekkens. Deze zijn van glaciale oorsprong. In de oudste fase van ijsoverdekking werden er in Noordoost-Nederland door stromend water tunneldalen onder het ijs gevormd. Ze zijn langgerekt van vorm, 1 à 2 km



Figuur 21. Diepte tot het zoet- zout water grensvlak. Naar [35].

breed en 10 km of meer lang. De diepte is tot 300 m. Deze dalen zijn deels met klei opgevuld: de zgn. potklei in Noordoost-Nederland. De verbreiding hiervan is globaal aangegeven op figuur 19. Plaatselijk komt de klei aan de oppervlakte voor. Hierover zijn meer gegevens bekend in dienstrapporten en archieven bij de Rijks Geologische Dienst, Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening en de Dienst Grondwaterverkenning TNO. Tijdens de jongere fase van ijsbedekking werden erosiedalen tot 100 m diepte gevormd in Midden-Nederland. Hiervan is de verbreiding aangegeven in figuur 20. Ook deze bekkens zijn voor een belangrijk deel met klei opgevuld. De bovenkant van deze klei zit in het algemeen op enkele tientallen meters diepte. Op deze kaart staan ook de stuwwallen, waarin de lagen zijn scheefgesteld tot aan de diepte van het bekken.

In Nederland wordt de ligging van het zoet- zout water grensvlak in belangrijke mate bepaald door het stromingspatroon van het grondwater. Dit grensvlak ligt in het westen en uiterste noorden op 25 à 50 m, en in Noord-, Midden-, en Zuid-Nederland op 100 à 200 m diepte. In Twente, Oost-Gelderland en het uiterste zuiden van Limburg komen weer geringere waarden voor. Zie de kaartjes stijghoogte van het diepere grondwater [35], diepte tot het zoet- zout water grensvlak (figuur 21) en totale hardheid van het zoete grondwater in het voornaamste watervoerend pakket [35].

Een belangrijk aspect bij het gebruik van de ondergrond is de zorg voor de kwaliteit van het grondwater. Hierbij verdienen de waterwingebieden direct rondom de huidige pompstations van de openbare drinkwatervoorziening, met de - grotere - beschermingsgebieden (tienjarenzone en vijftientigjarenzone) speciaal aandacht [39]. Meer in het algemeen echter zal steeds ook elders aan dit belangrijke aspect van het milieu aandacht moeten worden gegeven.

Literatuur

- 1 Heybroek, P. (1974): Explanation to tectonic maps of The Netherlands. *Geologie en Mijnbouw*, Vol. 53, No. 2, pp 43-50.
- 2 Atlas van Nederland (1975), Blad II-4 Tektoniek.
- 3 Staalduinen, C.J. en Veen, S.D. van (1975): Toelichting bij de geologische overzichtskaart van Nederland. In: Zagwijn, W.H. en Staalduinen, C.J. (eds): Toelichting bij geologische overzichts-kaarten van Nederland.
- 4 Thiadens, A.A. (1963): The Paleozoic of The Netherlands. *Verh. Kon. Ned. Geol. Mijnb. Gen.*, Geologische serie, No. 21-1, pp 9-28.
- 5 Bless, M.J.M. (1980): Scenario voor en exploratie naar steenkool in Nederland. Intern rapport RGD.
- 6 Dozy, D.R.J.J. (1978): Heeft Nederlandse steenkool een toekomst? *De Ingenieur*, jaargang 90, No. 13, pp 263-267.
- 7 Martens, A.H.W. (1977): Advies inzake de geologische, mijnbouwtechnische en financieel-economische mogelijkheden van aanwending van in Nederland aanwezige kolenvoorkomens. Rapport van de studiegcommissie aanwezige mogelijkheden Nederlandse steenkolen, eerste fase.
- 8 Dozy, D.R.J.J. (1979): Nederlandse situatie-lezing op het symposium 'Steenkool onder Nederland, energie voor de toekomst?' *De Ingenieur*, jrg. 91, No. 40, pp 691-693.
- 9 Raedts, C.E.P.M. (1971): De opgang en teloorgang van de Limburgse steenkoolindustrie. *Geologie en Mijnbouw*, Vol. 50, No. 2, pp 105-118 (Mijnsluitingsnummer)
- 10 Kimpe, W.F.M. (1973): The geology of the Carboniferous in the coal field Beatrix in Central Limburg, The Netherlands and in the adjacent German area. *Verhandelingen Kon. Ned. Geol. Mijnb. Gen.*, Vol. 29, pp. 19-36.
- 11 Pöttgens, J.J.E. (1978): Winning van Delfstoffen. Handboek voor Milieubeheer, Deel IV: Bodembescherming. Vermande, IJmuiden.
- 12 Kimpe, W.F.M. (1963): *Geochimie des eaux dans le Houiller du Limbourg (Pays-Bas)*. *Verh. Kon. Ned. Geol. Mijnb. Gen.*, Geol. Serie, Deel 21-2, pp 25-45.
- 13 Atlas van Nederland (1979), Blad II-6-S Delfstoffen.
- 14 Staalduinen, C.J., Adrichem Boogaert, H.A. van, Bless, M.J.M., Doppert, J.W.C., Harsveldt, H.M., Montfrans, H.M., Oele, E., Wermuth, R.A., en Zagwijn, W.H. (1979): The Geology of The Netherlands. *Med. Rijks Geol. Dienst*, Vol. 31, No. 2, pp 1-49.
- 15 Bodenhausen, J.W.A., en Ott, W.F. (1980): Habitat of the Rijswijk Oil Province, Onshore, The Netherlands. In: Illing, L.V., en Hobson, G.D. (editors): *Proceedings of the Second Conference on Petroleum Geology of the Continental Shelf of North West Europe*. London 4-6 maart 1980.
- 16 Nederlandse Aardolie Maatschappij B.V. en Rijks Geologische Dienst (1980): *Stratigraphic Nomenclature of The Netherlands*. *Verhandelingen Kon. Ned. Geol. Mijnb. Gen.*, Deel 32, pp. 1-77.
- 17 Ministerie van Economische Zaken (1980): Aardgas en aardolie in Nederland en op de Noordzee (1979).
- 18 Inspecteur Generaal der Mijnen (1970 en volgende jaren): Jaarverslag. Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage.
- 19 Harsveldt, H.M. (1978): Salt resources in The Netherlands as surveyed mainly by AKZO. Fifth International Symposium on Salt - Northern Ohio Geological Society, pp 65-81.
- 20 Coelewijn, P.A.J. Haug, G.M.W. en Kuijk, H. van (1978): Magnesium - salt exploration in the northeastern Netherlands. *Geologie en Mijnbouw*, Vol. 57, No 4, pp 487-502.

- 21 Thiadens, A.A. (1968): Geologie van het zout. In: Het zout der aarde. N.V. Koninklijke Nederlandse Zoutindustrie, Hengelo.
- 22 Wassman, T.H. (1980): Mining subsidence in Twente, East Netherlands. *Geologie en Mijnbouw*, Vol. 59, No. 3, pp 225-232.
- 23 Kuyl, O.S. (1980): Toelichtingen bij de Geologische kaart van Nederland 1 - 50.000, Blad Heerlen, Rijks Geologische Dienst, Haarlem.
- 24 Oele, E. en Pruissers, A.P. (1975): Toelichting bij de overzichtskaart toegepaste geologie 1 : 600.000. In: Zagwijn, W.H. en Staalduin, C.J. van (eds.): Toelichting bij geologische overzichtskaarten van Nederland. Rijks Geologische Dienst, Haarlem.
- 25 Commission of the European Communities, Director-General for Research, Science and Education Energy Research and Development Programme Subprogramme Geothermal Energy (1980). Atlas of Subsurface Temperatures in the European Community.
- 26 Visser, W.A. (1972): Evaluatie van de mogelijkheden tot diepe lozing in Nederland. In: Stichting Postacademiale Vorming Gezondheidstechniek, Delft. Cursus Ondergrondse lozing van afvalstoffen.
- 27 Haanstra, U (1963): A Review of Mesozoic geological history in The Netherlands. *Verhandelingen Kon. Ned. Geol. Mijnb. Gen., Geol. Serie, Deel 21-1*.
- 28 Zagwijn, W.H. en Doppert, J.W.C. (1978): Upper Cenozoic of the Southern North Sea Basin: palaeoclimatic and palaeogeographic evolution. *Geologie en Mijnbouw*, Vol. 57, No. 4, pp 577-588.
- 29 Doppert, J.W.C., Ruegg, G.H.J., Staalduin, C.J. van, Zagwijn, W.H. en Zandstra, J.G. (1975): Formaties van het Kwartair en Boven-Tertiair in Nederland. Toelichting bij geologische overzichtskaarten van Nederland. Rijks Geologische Dienst, Haarlem.
- 30 Zagwijn, W.H. (1974): The paleogeographic evolution of The Netherlands during the Quaternary. *Geologie en Mijnbouw*, 53, pp 369-385.
- 31 Montfrans, H.M. van (1975): Toelichting bij de ondiepe breukenkaart met diepteligging van de Formatie van Maassluis. In: Zagwijn, W.H., Staalduin, C.J. van (eds.). Toelichting bij geologische overzichtskaarten van Nederland. Rijks Geologische Dienst, Haarlem.
- 32 Kuyl, O.S. (1971): Geologische overzichtskaart van Zuid-Limburg (Kwartair afgedekt). Rijks Geologische Dienst, Geologisch Bureau, Heerlen.
- 33 Ahorner, L., Flick, J.A., Gils J.M. van, Houtgast, G. en Ritsema, A.R. (1975): First draft of an earthquake zoning map of Northwest Germany, Belgium, Luxembourg and The Netherlands. In: On earthquake risk for nuclear power plant. Kon. Ned. Met. Inst., publikatie No. 153, pp 39-41.
- 34 Atlas van Nederland, Blad VII-4 Geohydrologie II (1976).
- 35 Atlas van Nederland, Blad VII-3. Geohydrologie I (1976).
- 36 Jelgersma, S. en Visser, W.A. (1972): Hydrogeological maps of The Netherlands, scale 1 : 1.500.000. *Geologie en Mijnbouw*, Vol. 51, No. 1, pp 7-10.
- 37 Montfrans, H.M. van (1979): Tektoniek en lithostratigrafie, recente bodembeweging. In: Stichting Postacademiale Vorming Gezondheidstechniek. Cursus Geohydrologische systemen en moderne exploratie-technieken.
- 38 Jelgersma, S. en Breeuwer, J.B. (1975): Toelichting bij de kaart glaciële verschijnselen gedurende het Saalien. In: Zagwijn, W.H. en Staalduin, C.J. van (eds): Toelichting bij geologische overzichtskaarten van Nederland. Rijks Geologische Dienst, Haarlem.
- 39 Commissie Bescherming Waterwingebieden (1980): Richtlijnen en aanbevelingen voor de bescherming van waterwingebieden. VEWIN, Rijswijk en Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening, Leidschendam.