

EEN ANALYSE VAN BODEMBEWEGINGEN TIJDENS HET TERTIAIR TEN NOORDEN VAN WINTERSWIJK (PROVINCIE GELDERLAND, NEDERLAND)

MAARTEN VAN DEN BOSCH
Geologisch Veldlaboratorium
Winterswijk, Nederland

Bosch, Maarten van den. Een analyse van bodembewegingen tijdens het Tertiair ten noorden van Winterswijk (provincie Gelderland, Nederland). — *Contr. Tert. Quatern. Geol.*, 36(1-4): 109-132, 11 figs, 2 tabs. Leiden, December 1999.

Op experimentele wijze worden tertiaire bodembewegingen in een gebied ten noorden van Winterswijk (provincie Gelderland) geanalyseerd. Uitgaand van een zeer gedetailleerd lithostratigrafisch raamwerk dat correlaties tot op 1 meter nauwkeurig mogelijk maakt binnen het gebied, werden discordantievlakken opgespoord. Hun ligging ten opzichte van NAP werd vervolgens op kaarten per niveau aangegeven; deze vormen de basis van de analyse. Het onderzoek van de diepe ondergrond (delfstoffengeologie) en de reguliere geologische kartering van de ondiepe ondergrond hebben niet tot overeenstemmende resultaten geleid; deze lacune dichtten is het uiteindelijke doel van het huidige onderzoek. Voor een analyse van tektonische structuren zijn vele boringen nodig; gegevens verzameld uit boringen voor particulieren laten zien dat de resultaten spectaculair en fundamenteel zijn. Het onderzochte gebied ligt op de grens tussen het Münsterlandbekken, een dalingsgebied tijdens het Krijt, en het Noordzeebekken, dat een kenozoïsch dalingsgebied is. In dit gebied vonden compressiebewegingen plaats tijdens het Laat-Krijt en Vroeg-Tertiair, kantelbewegingen met bijbehorende hoekdiscordanties in een groot aantal korte perioden tijdens het hele Tertiair en rektektoniek (decompressie) in twee periodes tijdens het vroege Laat-Tertiair en hoogstwaarschijnlijk nog in het Pleistoceen. Op de grens Eoceen-Oligoceen vonden opmerkelijk genoeg sterke inversie-bewegingen plaats, als gevolg van compressie (Pyreneïsche fase?). In het hogere Rupel (grens afzettingen van Woold en Winterswijk) is lokaal ook een dergelijke beweging gevonden, maar dit kan het gevolg van zouttektoniek zijn. Opmerkelijk is tevens dat de gevolgen van rektektoniek, het indalen van smalle stroken langs bestaande breuken, in twee, in tijd ver uiteenliggende periodes (zeker 20 Ma), uiteenvallen. De gevolgen van deze zogeheten Savische fase worden gevonden duidelijk vóór aanvang van sedimentatie van de Afzetting van Aalten en zijn mogelijk als Vroeg-Mioceen te dateren. Een tweede fase is herkend na de vorming van miocene (en vroeg-pliocene) afzettingen en is zeer waarschijnlijk van pleistocene ouderdom. In dit artikel wordt afgezien van een koppeling tussen de bestaande tektonische orogenese en de verkregen resultaten omdat deze niet eenduidig zijn. Het belang van een zeer gedetailleerde lithostratigrafie wordt onderkend; boringen werden continu (kern) of per 25 cm (boorgruis) bemonsterd. In monsters genomen per 50 cm blijft het beeld globaal herkenbaar. In metermonsters vertroebelt dit dusdanig dat deze voor nauwkeurige tektonische analyses niet bruikbaar zijn. Dat verklaart mede waarom uit delfstofboringen het tertiaire interval zo slecht bekend is.

Sleutelwoorden — Tertiair, Nederland, bodembewegingen, Winterswijk

An experimental analysis of Cenozoic tectonic movements in an area north of Winterswijk (province of Gelderland) is presented. Based on a detailed lithostratigraphic framework which, within the area, enables correlations to be carried out on a scale of less than 1 metre, unconformities were traced. Their position in relation to NAP (Normaal Amsterdams Peil) was subsequently plotted on maps for each level; these maps form the basis of the analysis. Research into the deep subsoil (mineral exploration) and regular geological mapping of the shallow subsoil have not yielded corresponding results; to bridge this gap is the goal of the present investigation. To analyse tectonic structures numerous boreholes are needed; data assembled from wells sunken for private people in the area have shown that the results are spectacular and fundamental. The study area lies on the border of the Münsterland Basin, a subsidence area during the Cretaceous, and the North Sea Basin, which is a Cenozoic subsidence area. In this region compressional movements occurred during the Late Cretaceous and Early Cenozoic, tilting and resulting angular unconformities in several intervals of short duration during the entire Cenozoic, and decompression in two phases, widely separated in time, during the early Late Cenozoic and, probably, continuing into the Pleistocene. Remarkable at the Eocene-Oligocene transition are strong inversion movements, as a result of compression (Pyrenean phase?). In the Late Rupelian (transition Woold and Winterswijk members), locally also a comparable movement is found, but this may be due to local salt tectonics. Of note also is the outcome of tension, the subsidence of narrow zones along existing faults, which occurred in two widely separated intervals (at least 20 Ma apart). The influence of this so-called Savic phase is found to predate sedimentation of the Aalten Member, and is possibly of Early Miocene date. A second phase has been recognised after deposition of Miocene (and Early Pliocene) deposits, and may probably be dated as Pleistocene. In the present paper, the existing tectonic orogenesis and the results obtained here are not linked, since these are ambiguous. The importance of a very detailed lithostratigraphy is demonstrated;

boreholes were sampled either continuously (core) or every 25 cm (cuttings); in samples taken every 50 cm the overall picture may still be recognised. However, in 1 m samples it is blurred to such an extent that such samples are not suitable for detailed tectonic analyses. In part, this explains why the Cenozoic interval is so poorly known in exploration wells in the area.

Key words — Cenozoic, the Netherlands, tectonic movements, Winterswijk

Tektonische Bewegungen während des Tertiärs in einem Gebiet nördlich von Winterswijk (Provinz Gelderland) werden auf experimenteller Weise analysiert. Ausgehend von einer sehr detaillierten Lithostratigraphie, die in diesem Gebiet Korrelationen bis zur Genauigkeit von 1 Meter ermöglicht, wurden Diskordanzflächen aufgespürt. Deren Position zu NAP (= Normaal Amsterdams Peil) wurde danach auf Karten für jedes Niveau eingetragen; diese Karten bilden die Basis der Analyse. Untersuchungen des tieferen Untergrundes (Explorationsbohrungen) und Resultate aus normaler geologischer Kartierung des untiefen Untergrundes haben nicht zu eindeutigen Resultaten geführt; diese Differenz zu deuten ist letztendlich das Ziel dieser Studie. Eine Analyse von tektonischen Strukturen erfordert viele Bohrungen; Daten aus Bohrungen, die für Privatpersonen durchgeführt wurden, zeigen spektakuläre und fundamentale Ergebnisse. Das Untersuchungsgebiet befindet sich auf der Grenze zwischen dem Münsterland-Becken, eine Subsidenzregion während der Kreide, und dem Nordsee-Becken, eine känozoische Subsidenzregion. In diesem Gebiet gab es Kompressionen während der Oberkreide und des unteren Känozoikums, sowie Kippungen (mit dazugehörigen Winkeldiskordanz) während mehrerer kurzer Intervalle im gesamten Tertiär, und Decompressionen während zweier Intervalle im unteren Obertertiär wahrscheinlich noch aktiv im Pleistozän. Bemerkenswert sind an der Eozän-Oligozän-Grenze starke Inversionsbewegungen durch Kompression (Pyrenäische Phase?). Auch im oberen Rupelium (Grenze zwischen Woold und Winterswijk Members) ist an einigen Stellen eine solche Bewegung festgestellt worden, diese könnte aber durch lokale Salztektonik hervorgerufen sein. Von besonderer Bedeutung ist auch daß die Folgen von Kompression, die Subsidenz von schmalen Zonen entlang existierender Verwerfungen, sich in zwei zeitlich weit auseinanderliegenden Intervallen (mindestens 20 Ma) zerteilen. Die Folgen dieser sogenannten Savischen Phase sind vor den Beginn der Sedimentation des Aalten Members gefunden, und sind möglicherweise untermiozänen Alters. Eine zweite Phase ist erkannt worden nach Bildung der miozänen (und unterpliozänen) Schichten, und ist wahrscheinlich als Pleistozän zu deuten. In diesem Artikel wird die existierende tektonische Orogenese nicht mit den Resultaten dieser Arbeit in Verbindung gebracht, weil diese nicht eindeutig sind. Der Wert einer sehr detaillierten Lithostratigraphie wird anerkannt; Bohrungen wurden entweder kontinuierlich (Kern) oder in 25 cm Intervallen (Spülproben) beprobt; Proben aus 50 cm Intervallen zeigen das gleiche globale Bild. Dies vermischt aber sehr in 1 Meter-Proben, so daß diese nicht für eine detaillierte tektonische Analyse geeignet sind. Zum Teil ist das der Grund daß in Explorationsbohrungen das Tertiär-Intervall so schlecht bekannt ist.

Schlüsselwörter — Känozoikum, Niederlande, tektonische Bewegungen, Winterswijk

M. van den Bosch, Geologisch Veldlaboratorium, Laan van Hilbelink 86a, NL-7101 WN Winterswijk.

INHOUDSOPGAVE

Inleiding	p. 110
Eerder onderzoek	p. 111
Verantwoording	p. 113
Lithostratigrafie	p. 113
Interpretatie van bodembewegingen	p. 115
Conclusies	p. 129
Dankwoord	p. 130
Literatuur	p. 131

INLEIDING

Dit artikel is ontstaan uit het rapport 'Bodembewegingen gedurende het Tertiair ten noorden van Winterswijk' (van den Bosch, 1998). Het betreft een analyse van tektonische activiteit tijdens het Tertiair, op basis van een zeer gedetailleerd lithostratigrafisch raamwerk dat correlaties tot op ca. 1 meter nauwkeurig binnen het gebied mogelijk maakt (van den Bosch, 1996a, b).

Het is bedoeld als experiment, omdat vanuit de delfstofgeologie onvoldoende resultaat wordt geboekt in de ondiepe (tertiaire) afzettingen. Bij de toegepaste seismi-

sche technieken, die volledig op de diepe ondergrond gericht zijn, worden spronghoogten langs breuken van minder dan 50 meter doorgaans niet opgemerkt. Tektonische activiteit gedurende het Tertiair in Oost-Nederland begeeft zich meestal binnen dit bereik. Het is dan ook niet verwonderlijk dat de rijke en gedetailleerde kennis van de diepe, paleozoïsche en mesozoïsche ondergrond als het ware verzandt in het tertiaire bereik, zoals goed is te zien in de uitgave van de Geologische Atlas van de Diepe Ondergrond van Nederland, Kaartblad X (TNO-NITG, 1998).

In de ondiepe ondergrond is het beeld juist omgekeerd. Omdat hier meer met grote aantallen boringen wordt gewerkt en zelden met ondiepe gedetailleerde seismiek, worden juist in het Tertiair diverse breukenpatronen zichtbaar. Bij het karteren van oppervlakten op formatie-niveau en soms op afzettingen-niveau, worden veel breuken gezien, mits aan een zekere waarnemingsdichtheid wordt voldaan. De hieruit voortgekomen geologische kaart van Oost-Nederland en Twente (van de Meene, 1996) is hiervan een goed voorbeeld.

Tussen Kaartblad X en de geologische kaart van Oost-Nederland en Twente bestaan echter grote verschillen, met name in de strekkingsrichting van de breuk-

structuren. Deze worden veroorzaakt door een te gering aantal boringen, een te geringe waarnemingsdichtheid, die bij seismisch onderzoek nu eenmaal veel groter is. Hierdoor zijn interpretatiefouten ontstaan. Bovendien liggen veel breuken in het terrein binnen een zelfde formatie of afzetting verstopt en zijn daardoor in de reguliere kartering slecht zichtbaar.

In het onderzoeksgebied dat in dit artikel wordt gepresenteerd zijn veel boringen beschikbaar van goede kwaliteit. Al het beschikbare boringmateriaal werd doorgelopen om tot een gedetailleerde analyse van bodembewegingen te komen, en om de lacune in onze kennis te dichten. Bovendien biedt de beschikbare gedetailleerde lithostratigrafie de mogelijkheid de beweging te koppelen aan een bepaald exact punt in het lithostratigrafisch raamwerk. De tektonische bewegingen kunnen zo in de tijd worden geplaatst, waardoor meer dan via een benadering op formatie-niveau, een boeiend beeld ontstaat van de gebeurtenissen.

Dit artikel behandelt slechts een onderzoeksmethode; er worden bewust geen pogingen ondernomen de verkregen resultaten te koppelen aan de alpiene orogenese. Zo ook worden de resultaten opgehangen aan het lithostratigrafisch raamwerk, en niet aan de internationale chronostratigrafie van het Tertiair. Dit laatste wordt voor Nederland als te speculatief ervaren.

EERDER ONDERZOEK

Al in 1834 werd door van Breda de vondst van tertiaire fossielen genoemd van de vindplaats 'de Giffel', een steenbakkerij te Meddo bij Winterswijk, aan de huidige Giffelweg en Goossensweg. In juli 1965 werd door de auteur, tijdens een werkkamp van de Werkgroep voor Tertiaire en Kwartaire Geologie (WTKG), op deze plaats een boring uitgevoerd; het resultaat van paleontologisch onderzoek van de monsters uit deze boring werd gepubliceerd (de Vogel, 1970-71). De afzetting werd door de Vogel gedateerd als Midden Mioceen, overeenkomend met de Duitse Reinbek Stufe. De Vogel beschreef vier biozones die de correlatie van de afzetting binnen de regio mogelijk maakten. Van den Bosch *et al.* (1975) voerden voor Oost-Nederland een nieuwe lithostratigrafie in; de fossielrijke afzetting van de vindplaats 'de Giffel' werd Afzetting van Aalten genoemd, de zandige basis hiervan kreeg de aanduiding Laag van Miste, en de klei aan de top Laag van Stemerding. Het traject van ruim 10 m dikte werd door deze auteurs geplaatst in het jongste Hemmoorien en het gehele Reinbekien. Janssen (1984) volgde deze opvatting.

In dezelfde periode (rond 1965) werd door de auteur rond de 'de Giffel' een reeks handboringen uitgevoerd, waarbij de uitgestrektheid van het gebied met de miocene afzettingen min of meer werd vastgesteld. Ook in de jaren daarna werden boringen gezet, waaruit uiteindelijk een beeld tevoorschijn kwam van een noordwest-

zuidoost lopende strook miocene afzettingen, te midden van een gebied met afzettingen uit het Rupelien, alles dicht onder de oppervlakte. Het ontstane kaartbeeld werd geïnterpreteerd als een breukstructuur (van den Bosch, 1981a) en overgenomen op de kaart die in 1994 intern werd vervaardigd ten behoeve van het Achterhoek-Project van het Nationaal Natuurhistorisch Museum en de toenmalige Rijks Geologische Dienst (van den Bosch, 1994a).

Harsveldt (1963) publiceerde kort voor de reeds genoemde onderzoeken een tektonische kaart van de omgeving van Winterswijk. Deze kaart was gebaseerd op diepe delfstofboringen en uitsluitend vervaardigd vanuit de kennis van het Mesozoïcum. De breukstructuur rond de vindplaats 'de Giffel' werd in deze tektonische kaart niet genoemd; er waren op dat moment nog te weinig waarnemingen.

Gedurende de uitvoering van het genoemde Achterhoek-Project werden door de Rijks Geologische Dienst in 1990-1992 voor een oost-west gericht profiel een reeks boringen tot enige tientallen meters diepte uitgevoerd. Het profiel was bewust over de vindplaats 'de Giffel' gesitueerd, in de hoop de reeds eerder gevonden structuur te bevestigen. Dat was ten dele het geval; twee boringen lieten een spronghoogte zien aan de top van de Afzetting van Woold (Rupelien, Oligoceen) van ca. 25 m, waardoor de suggestie werd gewekt dat dit hoogteverschil ook in de jongere tertiaire afzettingen zou bestaan. De uitwerking van het profiel bleef wat vaag, met de afzettingen onder het Rupelien als grote onbekende en een nabij gelegen kwartaire smeltwatergeul als storende factor in de interpretatie (van den Bosch, 1996a-c).

In de periode na 1995, toen het Achterhoek-Project NNM-RGD werd beëindigd, werd door de auteur een reeks boringen bemonsterd, die werd uitgevoerd ten behoeve van de drinkwatervoorziening van boerderijen. Op diverse plaatsen werd door het Rupelien geboord (aan de basis waarvan zich een watervoerende laag, de Formatie van Ratum, bevindt), waardoor een goed beeld ontstond van de reeds eerder vermoede tektonische structuur. Het zijn deze laatste boringen die de sleutel verschaften tot het oplossen van de problemen met de interpretatie van de breukstructuur. Deze boringen konden nauwkeurig lithostratigrafisch worden geïnterpreteerd, waardoor een goed beeld ontstond van de bodembewegingen tijdens het Tertiair in het onderzochte gebied (Fig. 1).

Meer zuidelijk, vooral direkt ten oosten van Winterswijk, zijn overvloedige gegevens beschikbaar omtrent tektonische bewegingen gedurende het Tertiair. Het gaat hier echter om een grote hoeveelheid uitzonderlijke situaties, die wellicht niet voor een groter gebied zouden gelden. Om bij het onderzoek hiervan te kunnen refereren naar een minder gecompliceerd gebied, waarin de bodembewegingen mogelijk meer universeel zijn, is er voor gekozen het hier genoemde gebied rond de vindplaats 'de Giffel' te Meddo het eerst te publiceren.

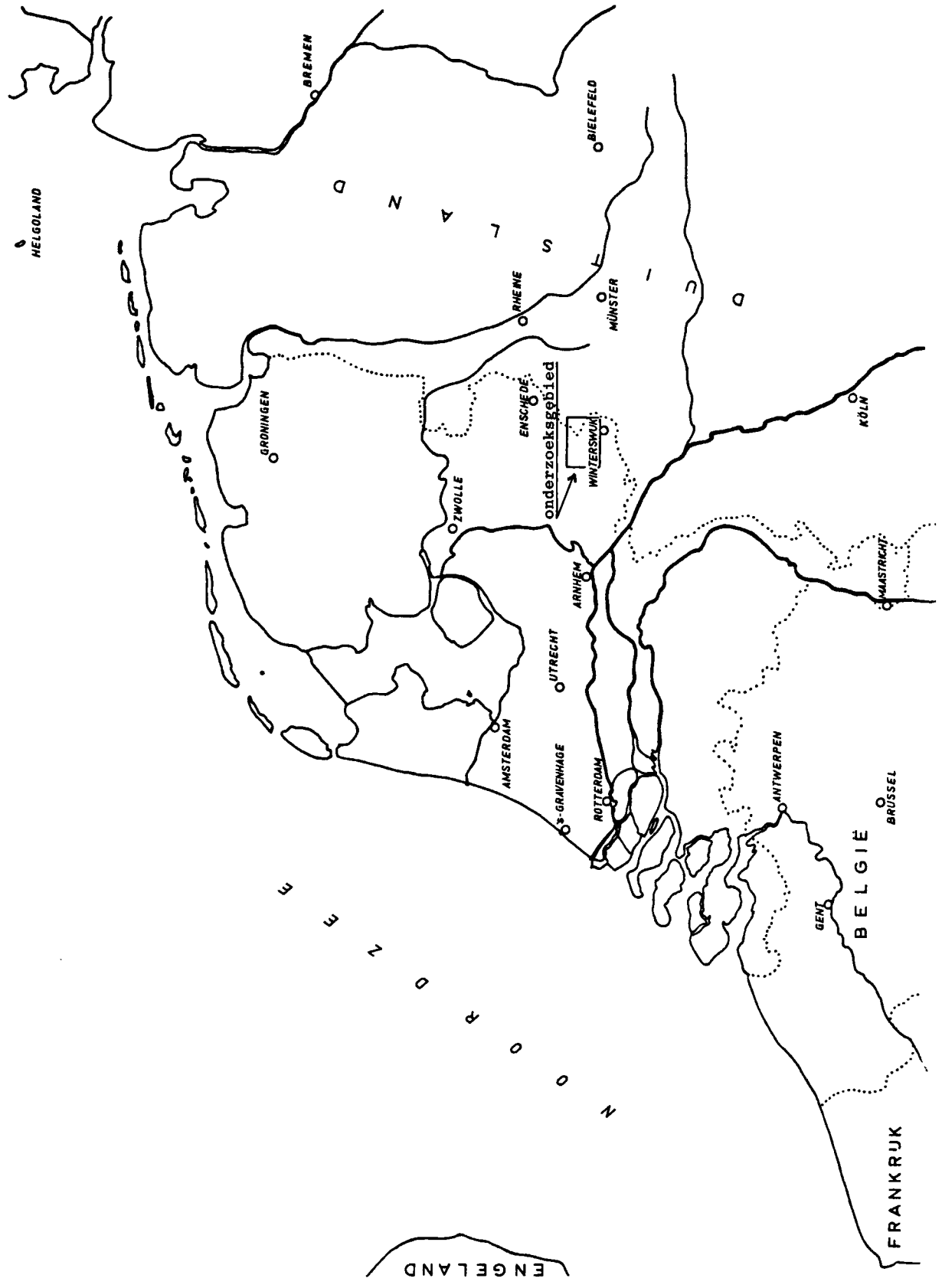


Fig. 1. Overzichtskaart.

VERANTWOORDING

In het onderzochte gebied zijn 315 boringen van diverse dieptes beschikbaar. De meeste hiervan reiken ten minste tot de top van het Tertiair, dat vrijwel altijd lithostratigrafisch geïnterpreteerd kon worden. Veel van deze boringen zijn door de auteur uitgevoerd vanaf 1965, soms als onderdeel van het onderzoek van het voormalige Rijksmuseum van Geologie en Mineralogie, thans het Nationaal Natuurhistorisch Museum (Naturalis). Een gedeelte van het materiaal werd eerder gepubliceerd door van den Bosch *et al.* (1975).

Voorts bevat het materiaal een zestal delfstofboringen tot grote diepte, de zogenaamde Gelria boringen, en een delfstofboring van de Nederlandse Aardolie Maatschappij (NAM). De Tertiair-profielen van de Gelria boringen zijn slecht gedocumenteerd; eigenlijk is alleen de top van het Mesozoïcum betrouwbaar. Van de NAM boring Lievelde-1 zijn door de auteur monsters beschreven en bestaat er een gamma log, vervaardigd in een verbuisd boorgat. Al met al blijkt het profiel moeilijk te interpreteren: naval en vermenging spelen de monsternamen parten. Ook de boringen van de voormalige Rijksopsporing van Delfstoffen behoren tot het materiaal. Hiervoor geldt hetzelfde als bij de Gelria boringen; de kwaliteit van de Tertiair-profielen is slecht.

Van de voormalige Rijks Geologische Dienst, thans Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen/TNO (NITG) is een aantal boringen afkomstig die uitgevoerd zijn ten behoeve van de kartering van kaartblad 34 Oost. De **ondiepe** boringen die voor deze kartering gezet zijn, werden niet opgenomen in het archief van het Geologisch Veldlaboratorium. Uit het NITG archief zijn ook enkele boringen afkomstig, die gezet zijn voor de Waterleiding Maatschappij Oostelijk Gelderland.

Ten behoeve van het Achterhoeksproject NNM-RGD is tussen 1990 en 1993 een aantal boringen uitgevoerd door de RGD. Het zijn met name deze boringen waaraan in belangrijke mate de kleinschalige lithostratigrafie van het Tertiair is opgehangen. Voorts bevat het archief van het Geologisch Veldlaboratorium/NNM een aanzienlijke reeks boringen die voor particulieren gezet zijn. Deze spelen een grote rol bij het interpreteren van de beschreven breukstructuur.

Voor de analyse van de tertiaire bodembewegingen werd een keuze gemaakt uit de boringen die belangrijke lithostratigrafische grenzen bevatten en die tevens nauwkeurig beschreven en geïnterpreteerd zijn. Deze 69 boringen, die behalve de delfstofboringen alle door de auteur werden gedocumenteerd, zijn in overzicht weergegeven in Fig. 2. Hier is onderscheid gemaakt tussen de boringen die afkomstig zijn van NITG en die uit het archief van het Geologisch Veldlaboratorium. Dit laatste materiaal is door de auteur privé verzameld of gedocumenteerd; een klein deel is afkomstig van het NNM.

Voor zowel de eigen boringen als die van het NITG zijn de oorspronkelijke archiefnummers gebruikt om de

herkenbaarheid te vergroten. Bijvoorbeeld: 41B.2-9 is een archiefnummer van het Geologisch Veldlaboratorium, 41E.290 is een archiefnummer van het NITG. Voor het vervaardigen van het overzicht van de bovenkant van de tertiaire afzettingen (Fig. 11) werden alle beschikbare 315 boringen gebruikt, zonder deze op de kaart aan te geven.

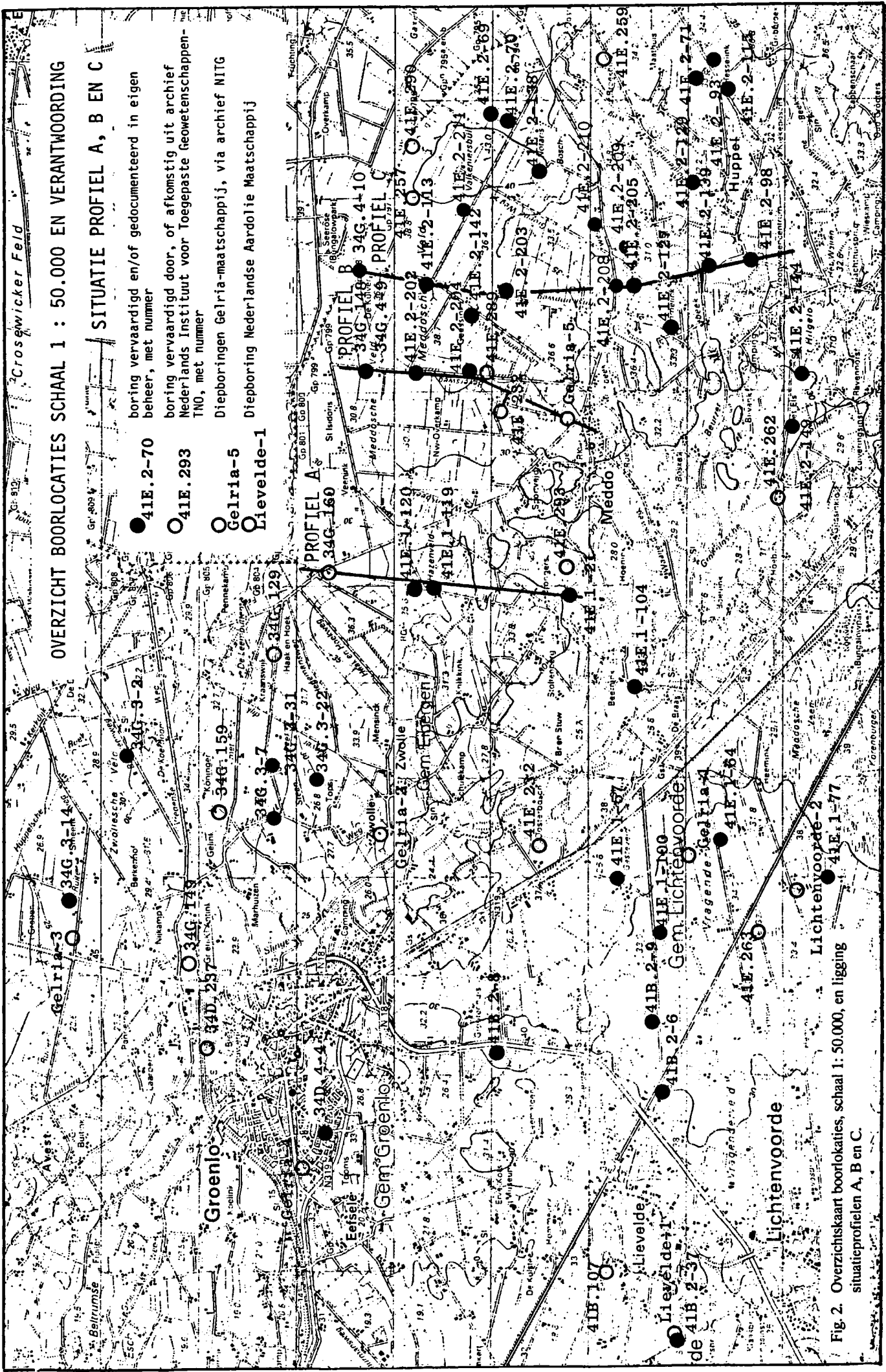
Er kan worden geconcludeerd dat uitsluitend op grond van boringen die zijn gezet in het kader van de reguliere geologische kartering, geen betrouwbare geologische interpretatie mogelijk is. De hier gepubliceerde analyse van tertiaire bodembewegingen is voornamelijk mogelijk geweest met behulp van grote aantallen boringen voor particulieren, die door de auteur werden gedocumenteerd. In een sterk tektonisch gestoord gebied als het onderhavige, draagt iedere boring bij tot een beter beeld van de geologische structuur. Na het verschijnen van dit artikel zal er ongetwijfeld opnieuw geboord worden. De ervaring leert dat het kaartbeeld zich dan nog zal wijzigen.

LITHOSTRATIGRAFIE

De interpretatie van de bewegingen in de breukstructuur onder Meddo bij Winterswijk is opgehangen aan de voor oostelijk Nederland geïntroduceerde lithostratigrafie voor het Tertiair (van den Bosch *et al.*, 1975). Later zijn hierin verfijningen aangebracht, die de bruikbaarheid van het raamwerk belangrijk hebben vergroot. Voor een groot deel van het Rupelien, afzettingen die dominant aanwezig zijn, kan met een nauwkeurigheid van minder dan één meter worden gecorreleerd (van den Bosch, 1984, 1993, 1996a, b; van den Bosch & Hager, 1984). Voor de miocene afzettingen bestaat een ongepubliceerd concept raamwerk, door de auteur vervaardigd in 1985. Zodoende kunnen (kleine) onderbrekingen in de sedimentreeksen van het Tertiair nauwkeurig worden vastgesteld. Deze onderbrekingen kunnen samenvallen of veroorzaakt zijn door bodembewegingen.

Voor de oligocene en miocene afzettingen is uit de bovenvermelde literatuur een bruikbaar schema op te stellen, voor de eocene afzettingen is dat zeker niet het geval. Globaal bestaat het Eoceen (Formatie van Dongen) uit drie lithologische hoofdeenheden. Vergeleken met de Belgische stratigrafie zijn dat van onder naar boven: klei (Ieper), zand en/of mergel met fossielen (Brussel) en klei of silt tot fijn zand met veel fijne glauconiet (Asse). In NAM boring Hellendoorn-1 is dit traject 240 m dik, maar in het gebied direct ten noorden van Winterswijk worden er slechts kleine gedeelten van teruggevonden, terwijl er hier zeker geen sprake is van een meer kustnabije ontwikkeling.

In boring 41E.2-113 ligt een equivalent van de Klei van Asse op de Klei van Ieper, hetgeen wijst op een groot hiaat onder de basis van de Klei van Asse; tientallen meters Brussel zijn hier verdwenen.



OVERZICHT BOORLOCATIES SCHAAL 1 : 50.000 EN VERANTWOORDING

SITUATIE PROFIEL A, B EN C

- 41E.2-70 boring vervaardigd en/of gedocumenteerd in eigen beheer, met nummer
- 41E.293 boring vervaardigd door, of afkomstig uit archief Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen-TNO, met nummer
- Gelria-5 Diepboringen Gelria-maatschappij, via archief NITG
- Lieveelde-1 Diepboring Nederlandse Aardolie Maatschappij

Fig. 2. Overzichtskaart boorlocaties, schaal 1: 50.000, en ligging situatieprofielen A, B en C.

Vroeg Pliocen	Formatie van Scheemda	Afdetting van Lieveelde	
		Afdetting van Delden	
MIOCEEN	Formatie van Breda	Afdetting van Zenderen	
		Afdetting van Eibergen	
		Afdetting van Aalten	
		geen afdetting aanwezig	
OLIGOCEN	Formatie van Veldhoven	"Jong oligocene afdettingen"	
		Afdetting van Winterswijk	
	Formatie van Rupel	Afdetting van Woold	Formatie van Brinkheurne
		Afdetting van Kotten	
Vroeg		Formatie van Ratum	
		"Onder-Rupelien, groene afdetting"	
EOCEEN	Formatie van Dongen	?	
		"Asse"	
		"Brussel"	
Vroeg		"Ieper"	

Tabel 1. Lithostratigrafie van het Tertiair in oostelijk Nederland.

In boring 41E.257 (zie Fig. 2) komt echter een dun restant van het bovenste deel van het Brussel voor en ontbreekt Asse, evenals in boring 34D.237. Door het ontbreken van een bruikbaar regionaal lithostratigrafisch raamwerk is het echter niet mogelijk alle boringen nauwkeurig te interpreteren. Wel is het duidelijk dat in dit stratigrafisch bereik diverse complicaties voorkomen. Een lithostratigrafisch onderzoek aan boring 34E.234 aan het Twentekanaal bij Hengelo toont een traject van 27 m jonger Eoceen, waarin maar liefst drie lithostratigrafische eenheden zichtbaar zijn. Deze liggen waarschijnlijk discordant over elkaar, met aan de basis van de bovenste twee eenheden een zone met verspoelde elementen zoals gerolde fosforieten (van den Bosch, 1994b). Diezelfde boring bevat een traject ouder Rupelien, onder de Formatie van Ratum gelegen en hiervan gescheiden door een hiaat. Deze afdetting, die opvallend groen van kleur is, grote kwartskorrels en lagen met zwarte in situ of licht verplaatste fosforieten bevat, zou overeen kunnen komen met de afdetting die in de groeve bij St. Niklaas (noordwest België) direkt onder het R2^b (= basis Boom Klei

Formatie) aanwezig is (van den Bosch, 1994b). Deze afdetting zou meer in strikte zin overeenkomen met het Zand van Berg in de omgeving van Tongeren (noordoost België), Nederlands Limburg en het aangrenzende Duitse gebied (Janssen, 1981; van den Bosch, 1981b). Deze karakteristieke afdetting is inmiddels op meer plaatsen in Twente en bij Winterswijk aangetroffen, en is altijd met een (klein?) hiaat gescheiden van de erbovenliggende Formatie van Ratum. In veel gevallen echter ontbreekt deze groene afdetting geheel, en is er soms alleen een basisgrind met sterk gerolde fosforieten van over gebleven, opgenomen in de basis van de Formatie van Ratum *s. str.* Vooral meer naar het zuiden rust de Formatie van Ratum steeds vaker direkt op Eoceen en nog verder naar het zuiden op Mesozoïcum. Een publikatie over de Formatie van Ratum is in voorbereiding; er zal dan een verbeterde nomenclatuur worden geïntroduceerd. Uitgaande van het bovenstaande is voor het onderzoeksgebied een lithostratigrafisch raamwerk voorhanden, zoals weergegeven in Tabel 1.

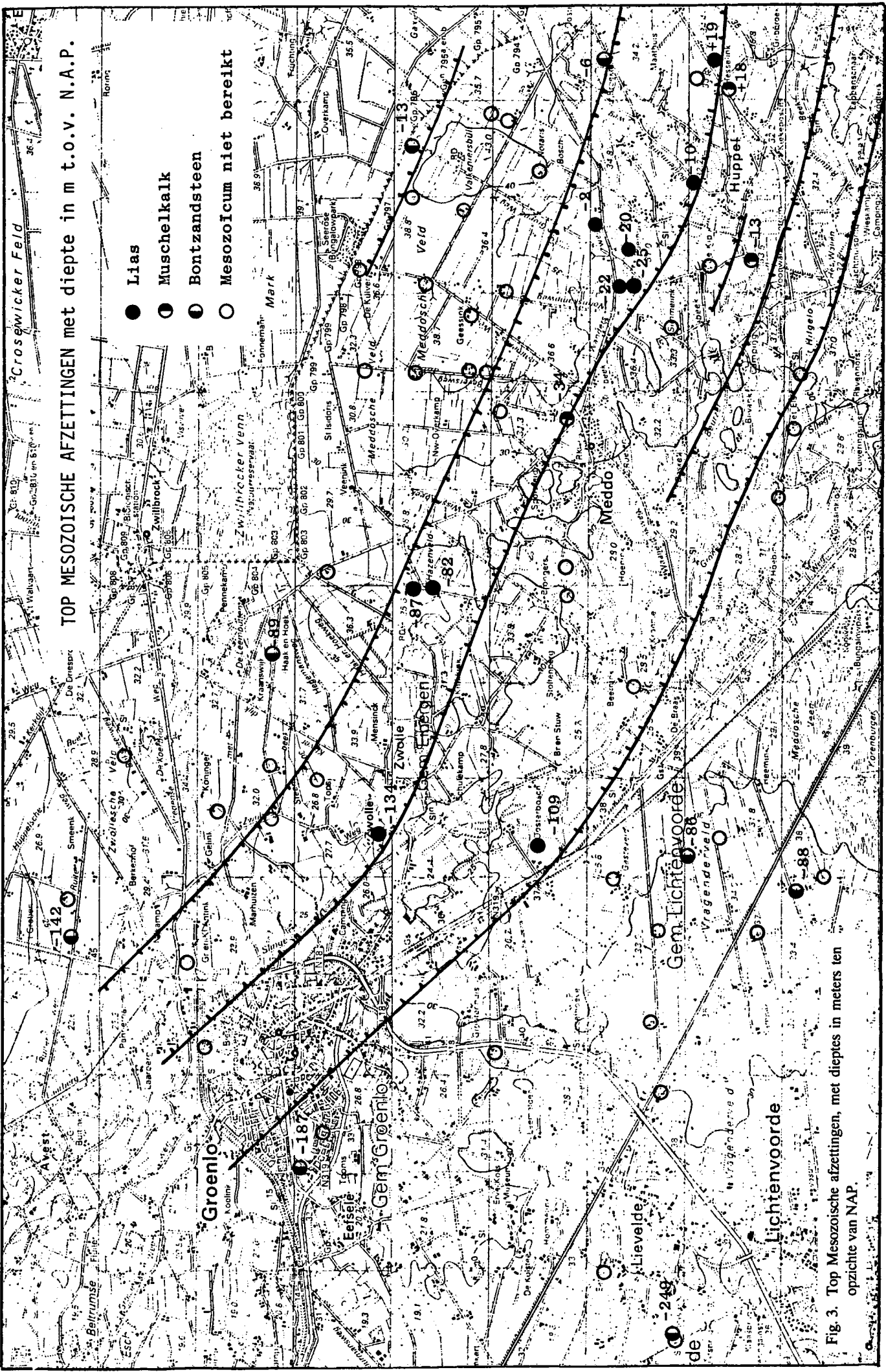
INTERPRETATIE VAN BODEMBEWEGINGEN

De goede kwaliteit van veel boringen heeft het mogelijk gemaakt een gedetailleerde lithostratigrafie op te stellen, die door middel van paleontologisch onderzoek aan de klassieke NW Europese chronostratigrafie kan worden opgehangen (Tabel 1; zie ook van den Bosch *et al.*, 1975).

In nieuwgemaakte boringen is deze lithostratigrafie goed herkenbaar gebleken, zodat een fijnmazig netwerk van nauwkeurige gegevens is ontstaan van de hoogte van lithostratigrafische grenzen ten opzichte van NAP (Normaal Amsterdams Peil) en van het belang van hiaten in de lithostratigrafie. Waar veel boringen dicht opeenvoeren staan, is het mogelijk ruimtelijke constructies te interpreteren (Fig. 2, profielen A, B en C).

Tabel 1 geeft een theoretisch model weer. In Figs 7 en 8 is dit daadwerkelijk per boring uitgewerkt. De geïllustreerde binnen de afdettingen is nagenoeg horizontaal; als een afdetting dunner is, blijkt meestal dat er iets ontbreekt (van den Bosch, 1993, 1996a, b). Volgens dit principe zijn de boorgegevens in Figs 7-8 uitgewerkt, en dat leidt tot interessante vaste patronen, die samenvallen met tektonische bewegingen. In ieder discordantievlak komen uitgespoelde of gerolde, grove componenten voor, bestaande uit materiaal uit de ter plaatse door erosie verdwenen afdettingen.

In Figs 7-8 is een aantal belangrijke discordanties zichtbaar. Van iedere discordantie is een overzichtkaart gemaakt, waarop de boringen zijn aangegeven en de hoogte ten opzichte van NAP van het betreffende vlak is vermeld (Figs 3-6, 10). Aan de hand van de kaarten wordt hieronder de interpretatie besproken; de op de kaarten aangegeven breukstructuur is ontleend aan het totaalbeeld van alle gegevens samen.



TOP MESOZOISCHE AFZETTINGEN met diepte in m t.o.v. N.A.P.

- Lias
- (with horizontal line) Muschelkalk
- (with vertical line) Bontzandsteen
- (empty) Mesozoicum niet bereikt

Fig. 3. Top Mesozoische afzettingen, met dieptes in meters ten opzichte van N.A.P.

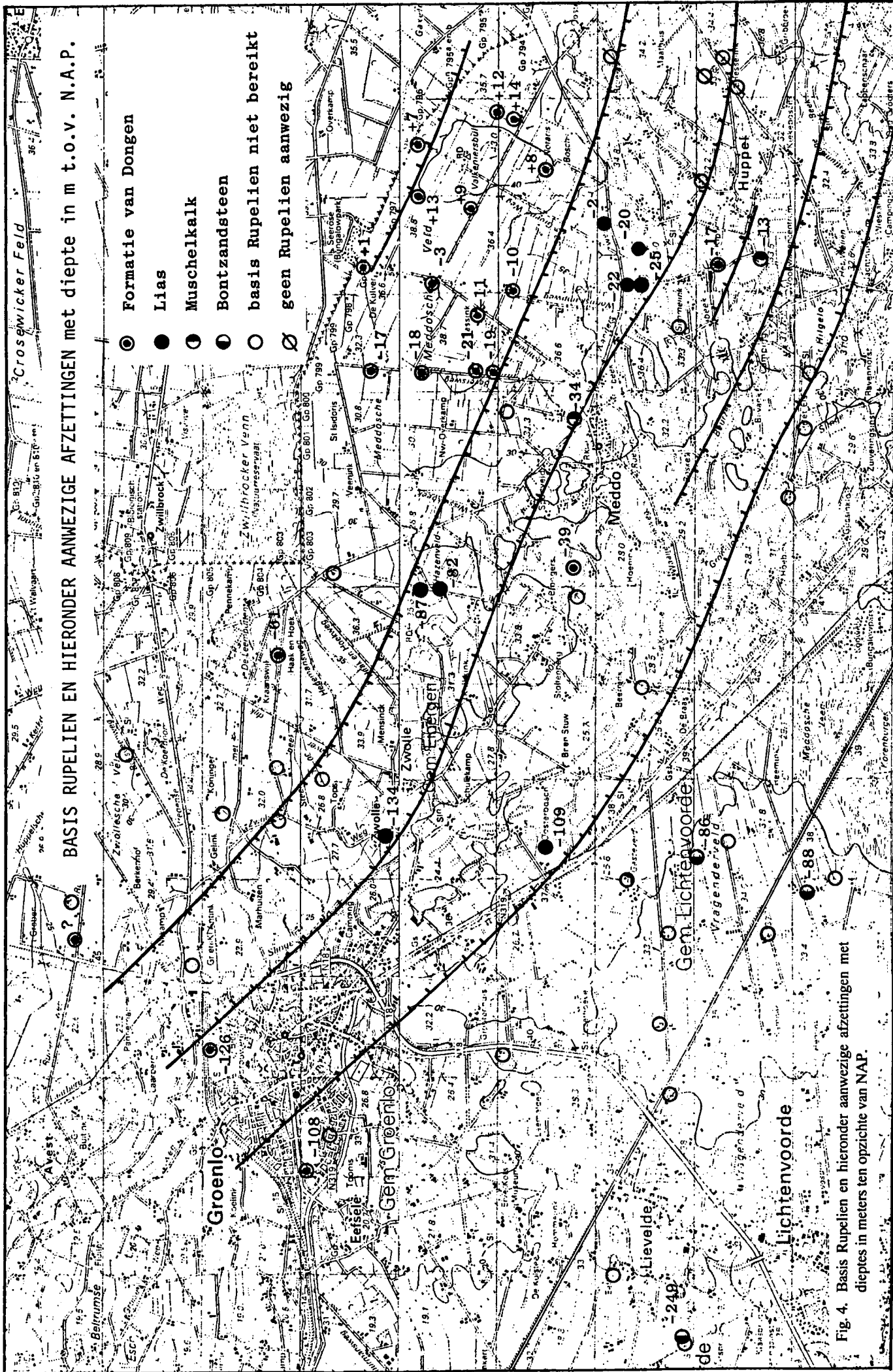


Fig. 4. Basis Rupelien en hieronder aanwezige afzettingen met dieptes in meters ten opzichte van NAP.

Top Mesozoïsche afzettingen (Fig. 3)

Het aantal boringen dat Mesozoïcum heeft bereikt is in het onderzoeksgebied niet bijzonder groot. De diepte waarop dit gebeurt beschouwend, wordt op het eerste gezicht een grillig patroon zichtbaar, maar als de waarnemingspunten binnen de breukstructuur - een dalingsgebied - buiten beschouwing worden gelaten, wordt een helling waarneembaar in west-noordwestelijke richting. De top van het Mesozoïcum is in het dalingsgebied enkele tientallen meters dieper weggezonden, maar vertoont dezelfde helling, in de richting van de diepere delen van het Noordzeebekken. Binnen het Mesozoïcum is geen helling in die richting waar te nemen. In tegendeel: aan de oostrand van de kaart beginnen afzettingen uit het Krijt, de rand van het Münsterlandbekken, gedurende de Krijtperiode een belangrijk dalingsgebied.

De top van het Mesozoïcum bestaat in het onderzoeksgebied uit afzettingen van het Jura (diepere gedeelte van de Lias) en Trias (Midden- en Laat-Bontzandsteen, Muschelkalk). De uitersten zijn te vinden in boring Gelria-3 (Midden-Laat Bontzandsteen) en Gelria-2, waar Lias is aangetroffen. In deze laatste boring werden in het Mesozoïcum overigens talrijke breuken waargenomen. In de particuliere boring 41E.1-119 werd een traject van ten minste 70 m Lias aangeboord, Muschelkalk werd hier niet bereikt. In totaliteit is dat een relief van ten minste 300 tot 400 m binnen de Mesozoïsche afzettingen. Opvallend is dat in alle boringen die gezet zijn in de noordoostelijke slenk, onder het Tertiair Lias werd waargenomen (boring 41E.1-120; zie Lissenberg, 1997).

Hoe deze mesozoïsche structuur is opgebouwd en tot stand gekomen is moeilijk te zeggen. In het grote geheel gezien ligt de structuur op enkele kilometers ten noorden van de opschuivingsbreukzone Oeding-Winterswijk (Harsveldt, 1963). Wellicht ligt onder het Tertiair bij Meddo een dergelijke structuur begraven. Het resultaat van boring Gelria-2 wijst in die richting. In het Duitse gebied ten oosten van Winterswijk is sprake van doorbroken grootschalige plooistrukturen in het Mesozoïcum. Er bestaan opschuivingen als gevolg van compressie vanuit het noorden. In het Paleozoïcum zijn die talrijker (Drozdowski, 1987). De geologische atlas van de diepe ondergrond van Nederland, toelichting bij Kaartblad X (NITG-TNO, 1998) geeft een overzicht van de tektonische geschiedenis gedurende het Mesozoïcum in deze regio, gezien vanuit de delfstofgeologie.

Basis Rupelien en hieronder aanwezige afzettingen (Fig. 4)

Onder het Rupelien worden, behalve afzettingen van de Formatie van Dongen (Eoceen), ook Lias, Muschelkalk en Bontzandsteen aangetroffen. Dat is opmerkelijk, want ten noorden van het onderzoeksgebied, in Twente, komt altijd Formatie van Dongen voor onder de Formatie van

Rupel (van den Berg & Gaemers, 1993). Zuidelijk van het onderzoeksgebied ontbreekt dat geheel (van den Bosch, 1981a). Paleoceen (Formatie van Landen) is in het onderzoeksgebied niet aangetroffen.

Er is geen sprake van het geleidelijk 'uitwijken' van de Formatie van Dongen in zuidelijke richting; de verspreiding ervan wordt abrupt beëindigd langs breukstructuren. Ook is er geen enkele aanwijzing dat de afzettingen van de Formatie van Dongen naar het zuiden toe een meer kustnabij karakter vertonen. Wel is meer in detail gezien, het stratigrafisch bereik niet compleet. De zuidelijke begrenzing van de Formatie van Dongen is tektonisch bepaald. De stratigrafie is naar het zuiden toe 'uitgerafeld' ten opzichte van meer noordelijke gebieden. Vooral het middelste Eoceen, 'Brussel', blijkt veelal te ontbreken. Alleen in boringen 41E.257 en 34D.237 is 'Brussel' aanwezig, maar het is niet veel meer dan een dun restant van het jongere gedeelte daarvan. In veel gevallen wordt onder het Rupelien een fossiellose klei aangetroffen die ongetwijfeld correleerbaar is met de Belgisch Klei van Ieper (boringen 34G.129, 41F.290), maar meer naar de noordelijke randbreuk van de breukstructuur toe wordt juist een glauconietrijke, siltige klei gevonden die correleerbaar is met de Belgische Klei van Asse (boringen 41E.2-204, 41E.289, 41E.2-211, en 34G.4-10). In boring 41E.2-113 ligt 'Asse' op 'Ieper', mogelijk zelfs een hoger deel van het laatste. Het fossielrijke en zandige of mergelige 'Brussel' ontbreekt hier volledig.

De conclusie die uit dit fragmentarische beeld volgt is dat gedurende het Eoceen veelvuldig tektonische bewegingen voorkwamen, langs breuken die in het Rupelien niet meer zichtbaar zijn. Het ontbreken van een gedetailleerde lithostratigrafie van de Formatie van Dongen maakt het nauwkeurig interpreteren van boorprofielen moeilijk, zodat ook geen uitvoerige conclusie omtrent bodembewegingen gedurende het Eoceen te trekken zijn. Belangrijk is het feit dat met name in het noordoostelijke dalingsgebied, de slenk waarin boring 41E.1-120 is gelegen, de afzettingen van de Formatie van Dongen geheel zijn verdwenen. Daarvoor in de plaats steekt een smalle, noordwest-zuidoost verlopende strook met Lias klei omhoog (Fig. 9A-C). Voor het dalingsgebied is dat een tegengestelde beweging van ten minste enige tientallen meters, die ongetwijfeld aan compressie te wijten is. Deze beweging is ouder dan de basis van het Rupelien, maar jonger dan 'Asse', dat direkt aan weerszijden van het dalingsgebied wordt aangetroffen. Mogelijk betreft het hier de gevolgen van de Pyreneïsche fase.

In België wordt de Klei van Asse tot het Laat-Eoceen gerekend en valt binnen het 'Complex van Kallo', een overgangsgebied van klei- en siltlagen tussen Eoceen en Oligoceen, waartoe onder meer als equivalent ook het vroegere 'Tongrien' behoort. De beschreven heftige bodembeweging als gevolg van compressie vindt dus zeer waarschijnlijk plaats kort voor de aanvang van het Rupelien. Dergelijke inversiebewegingen werden ook geconstateerd ten oosten van de Gronau breukzone in kaartblad

28 Oost-29, maar lijken daar ouder te zijn (Geluk, 1993).

Ook gedurende het vroegste Rupelien vindt nog tektonische activiteit plaats. De zogenaamde 'groene afzetting' die in Twente plaatselijk voorkomt en door een hi-aat is gescheiden van de bovenliggende Formatie van Ratum, ontbreekt in het gebied rond Winterswijk. In het onderzoeksgebied is deze karakteristieke afzetting alleen nog aanwezig in boring 41E.1-120. In deze boring wordt de grens met de Formatie van Ratum gemarkeerd door een laagje met talrijke silexkeities, voornamelijk 'schuifsteentjes'. Dit zou karakteristiek zijn voor het Zand van Berg *s. str.* rond Tongeren en in Nederlands Limburg. Dat de afzetting wel overal is geweest wordt geïllustreerd door het lokaal voorkomen van grote hoeveelheden verspoelde grove componenten uit de 'groene afzetting', aan de basis van de Formatie van Ratum. Ook ten oosten van Winterswijk is dit waargenomen. Meer algemeen zijn de kleine brokjes felgroen sediment die als verspoeling tussen bijvoorbeeld mesozoïsche gesteentegruis voorkomen.

De stratigrafische top van de periode met actieve bodembeweging is hiermee nauwkeurig vastgesteld. Wanneer deze aanving is echter moeilijker te bepalen. Direct ten zuiden van het onderzoeksgebied, ten oosten van Winterswijk, bevindt zich een chaotische breukstructuur in het Mesozoïcum. Er is hier sprake van een opschuivingsbreuk met direct ten zuiden ervan een sterk gedeformeerde afzettingen van met name Vroeg- en Midden-Krijt en Dogger. Op grond van boringinterpretatie is een doorbroken dubbele plooistructuur herkenbaar (van den Bosch, 1994a). De jongst aangetroffen Krijtafzetting is Midden-Cenomanien (Witte *et al.*, 1992); ook dit gesteente is geplooid. Uit boorkernen blijkt een laaghelling van ten minste 15°. Onlangs is direct ten zuiden van Winterswijk, aan de Wooldseweg, een wit gesteente aangetroffen, 'schrijfkrijt', dat sterk verbrokken is; het gaat hier om laat Midden-Cenomanien (Herngreen, 1999). In het aangrenzende Duitse gebied zijn afzettingen van het Campanien meegeplooid (Geologische Karte von Nordrhein-Westfalen, 1987). De hiervoor genoemde heftige compressiebewegingen behoren tot de subhercynische fase (NITG-TNO, 1998).

Opmerkelijk is de recente vondst ten westen van Winterswijk, aan de Bessinkgoorweg, van een afzetting behorend tot het 'basal Dongen Tuffite Member', dat stratigrafisch geplaatst moet worden op de grens Paleoceen-Eoceen (Herngreen, 1997). Nog opvallender is dat in dit gesteente, dat over enkele meters kon worden gekernd, een laaghelling van 10° is vastgesteld (van den Bosch, boorbeschrijving [1997]). De beweging lijkt hier jonger dan laramisch en is wellicht pyreneïsch. Wanneer ten opzichte van de lithostratigrafie de subhercynische bewegingen plaatsvinden en of er sprake is van laramische bewegingen is in het onderzoeksgebied niet vast te stellen. Afzettingen uit deze periode ontbreken.

Het 'Ieper' is horizontaal afgezet in een rustige periode zonder belangrijke tektonische activiteit. Deze afzetting heeft een dikte bereikt die te vergelijken is met de

Formatie van Brinkheurne. Het 'Brussel' ontbreekt grotendeels; plaatselijk is nog het jongste deel ervan aanwezig, dat verspoelde componenten bevat, zoals grove kwartskorrels. 'Asse' ligt duidelijk discordant over Vroeg-Eoceen, zodat tektonische activiteit (wederom opheffing) aan het eind van het Midden-Eoceen en aan het begin van het Laat-Eoceen waarschijnlijk is. Op de grens Eoceen-Oligoceen vinden belangrijke inversiebewegingen plaats als gevolg van compressie. Tektonische activiteit is nog waarneembaar tot in het vroegste Rupelien. Daarna treedt een lange periode van rust in met de vorming van de zuiver horizontaal gelaagde afzettingen van de Formatie van Brinkheurne.

Basis Afzetting van Winterswijk, top Formatie van Brinkheurne (Fig. 5)

De Formatie van Brinkheurne (= afzettingen van Kotten en Woold) is in een rustig milieu en over een groot gebied zuiver horizontaal afgezet. De karakteristieke gelaagdheid van vette en siltige banden, donkere bitumineuze banden en vooral de duidelijke snelle veranderingen in kalkgehalte maakt een goede lithostratigrafische correlatie over grote afstanden mogelijk (van den Bosch, 1984, 1993, 1996a, b; van den Bosch & Hager, 1984; Hager *et al.*, in druk; Leroi, 1995; Vandenberghe, 1978). De huidige helling naar het westen is later ontstaan.

De grens tussen de afzettingen van Kotten en Woold is markant. Ten opzichte van het bovenste deel van de Afzetting van Kotten is het onderste deel van de Afzetting van Woold regressief. Vervolgens wordt een nieuwe transgressie zichtbaar. Er treden in de Afzetting van Woold plotseling talrijke banden met veel organisch materiaal op, die vooral in de onderste 10 m een karakteristieke hoge gamma-straling vertonen. Dit alles wijst op een belangrijke gebeurtenis op ruime afstand van de Achterhoek (van den Bosch & Hager, 1984), maar gaat in Oost-Nederland niet gepaard met bodembewegingen, zoals uit talrijke nauwkeurige profielen is af te leiden. Er blijft sprake van een concordante sedimentatiereeks in het hele gebied (van den Bosch, 1996a).

De top van de Afzetting van Woold is echter geërodeerd, zoals uit de hiervoor vermelde rapportage blijkt. In grote lijnen is er in het oostelijk deel van het onderzoeksgebied iets meer van de top verdwenen dan in het westelijk deel (zie Fig. 7). Dit is zeer waarschijnlijk te wijten aan een zeer geringe scheefstelling; een begin van het ontstaan van de helling van het Tertiair in westelijke richting. Behalve dat door erosie de top van de Formatie van Brinkheurne in het oostelijk deel meer is geërodeerd, is ook sprake van toename van de oorspronkelijke laagdikte in westelijke richting. Deze bedraagt binnen het onderzoeksgebied ca. 3 m en is verdeeld over de bovenste 10 m van de Afzetting van Woold.

Hoeveel er tussen de top van de Afzetting van Woold en de basis van de Afzetting van Winterswijk is verdwe-

nen is niet duidelijk. Uitgaande van boring 41E.3-302 te Miste ten zuidwesten van Winterswijk is ten minste 5 m geërodeerd, maar wellicht is de afzetting van de Afzetting van Woold nog verder naar boven verlengd geweest.

In het meer oostelijke deel van de in dit artikel geanalyseerde structuur, in de omgeving van profiel C, is de top van de Afzetting van Woold sterk geërodeerd. In boring 41E.3-302 te Miste is de dikte van deze afzetting 29.15 m. In boring 41E.2-205 is dat 19.5 m, in boring 41E.2-208 nog maar 19.0 m. Aan de gelaagdheden is te zien dat deze diktevermindering van het pakket volledig te wijten is aan erosie van het bovenste deel. Niet geheel duidelijk is echter of het hier compressiebeweging in het oostelijke deel van de structuur betreft of dat het verschijnsel samenhangt met kantelbewegingen langs noordzuid-gerichte assen.

De basis van de Afzetting van Winterswijk vertegenwoordigt geen nieuwe transgressie. In tegendeel: de afzetting zal over het algemeen in minder diep water zijn afgezet, als althans het lutumgehalte een graadmeter is voor de gemiddelde zeediepte, wat natuurlijk niet per sé zo hoeft te zijn. Opvallend is de sterke toename van het siltgehalte, fijne groene glauconiet en het kalkaandeel. De donkere bitumineuze banden die in de Afzetting van Woold zo karakteristiek zijn, zijn in de Afzetting van Winterswijk plotseling verdwenen. Maar het meest opvallend is dat de gelaagdheden die in de Formatie van Brinkheurne zo karakteristiek zijn, niet meer zijn waar te nemen. Daarentegen is de Afzetting van Winterswijk grof gelaagd: de *sedimentatiesnelheid* is plotseling sterk toegenomen. Dat laatste valt ongetwijfeld samen met het op gang komen van de sterke daling van het Noordzeebekken gedurende het verdere verloop van het Tertiair.

Deze daling, een gevolg van de geosynclinale structuur die het Noordzeebekken vertegenwoordigt, veroorzaakt kantelbewegingen en opheffingen aan de randen van het bekken. Het zijn deze bewegingen die verantwoordelijk zijn voor de discordantie tussen de afzettingen van Woold en Winterswijk in het onderzoeksgebied. Hoe groot het hiaat is tussen deze eenheden is niet bekend. Bovendien is nog onduidelijk of er binnen de Afzetting van Winterswijk nog discordanties voorkomen van meer dan lokaal belang. Een eerste inventarisatie rond Winterswijk wijst in die richting (van den Bosch, 1996b). Het hiaat tussen de afzettingen van Woold en Winterswijk vertegenwoordigt binnen het onderzoeksgebied geen verlandingsfase. Dat is af te lezen aan het uitspoelingsconcentraat dat aan de basis van de Afzetting van Winterswijk aanwezig is. Het bestaat in hoofdzaak uit pyrietconcreties die niet gerold of verweerd zijn en haaiantanden in een perfecte conserveringstoestand. Ook komen er losse brokken klei uit de Afzetting van Woold in voor. In goedbemonsterde boringen is deze basislaag soms waar te nemen.

De erosie vond plaats onder water, niet zozeer als gevolg van stroming of golfslagwerking - de stromingsnelheden zijn te gering - maar waarschijnlijk als gevolg

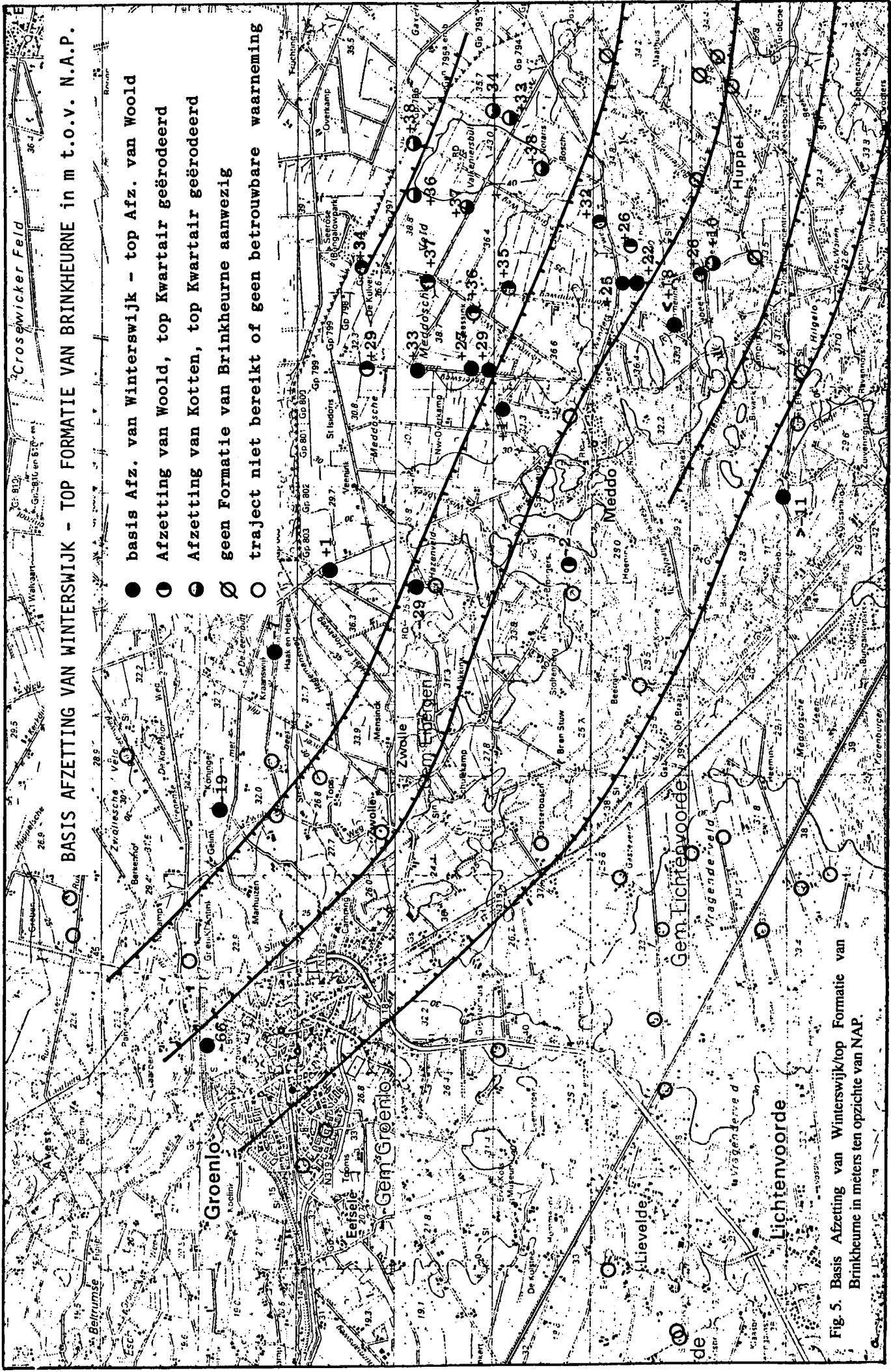
van bioactiviteit. De vondst van verspreide brokjes groene glauconiet van enkele millimeters grootte aan de basis van de Afzetting van Winterswijk kan er op wijzen dat meer aan de kusten van het bekken tegelijkertijd een korte regressie heeft plaatsgemaakt.

De in het onderzoeksgebied aangetroffen breukstructuur is gedurende de vorming van de Formatie van Brinkheurne en de Afzetting van Winterswijk, behalve in het oostelijk deel, niet actief geweest. In Fig. 9A en B is te zien dat alle laagdiktes constant blijven. Ter plaatse van profiel C (Fig. 9C) is echter zeker 10 meter van de top van de Afzetting van Woold door erosie verdwenen. Er is al eerder opgemerkt dat niet is uit te maken of dit het gevolg is van compressie binnen de breukstructuur of van kantelbewegingen. Tektonische activiteit in de gehele structuur vindt pas later plaats, onder meer als gevolg van rektektoniek waardoor langs bestaande breuken indaling plaatsvindt, de Savische fase. De indaling is in de noordelijke slenk ter hoogte van Zwolle-Meddo 18 tot 20 meter. Na het Mioceen komt hier nog 10 meter bij (zie profielen A en B; Fig. 9A, B). Meer naar het oosten, juist waar de top van de Afzetting van Woold ontbreekt, is dit geringer (zie profiel C; Fig. 9C). Deze indaling vond plaats na de vorming van de Afzetting van Winterswijk. De langste sekties hiervan zijn bekend uit de slenken; vergelijk de boringen in Fig. 7 met het overzicht in Fig. 2. Vooral boringen 34D.237 en 41E.1-120 zijn opvallend, bijvoorbeeld ten opzichte van boring 41E.2-204 die vrij oostelijk is gelegen naast het dalingsgebied. De indaling moet het sterkst zijn geweest ter plaatse van boring 34G.149. Hier werd onder de Afzetting van Aalten een gedeelte van de Afzetting van Winterswijk aangetroffen dat stratigrafisch jonger moet zijn dan de top in boringen 34D.237 en 41E.1-120. Jammer genoeg is de afzetting op deze lokatie niet doorboord.

Een volledig profiel van de Afzetting van Winterswijk is niet bekend. In boringen 41B.2-37 en Lievelede-1 is de top gelegen op 74 m -NAP en de basis op ca. 190 m -NAP. De dikte zou dan ca. 120 meter zijn, maar er is geen goede lithologie beschikbaar. Wel is de top, waarvan 20 m is aangeboord in 41B.2-37, stratigrafisch jonger dan in de overige boringen. Het betreft hier een kalkarm gedeelte dat mogelijk in weer wat dieper water is afgezet dan het oudere deel van de Afzetting van Winterswijk.

Basis Afzetting van Aalten (Fig. 6)

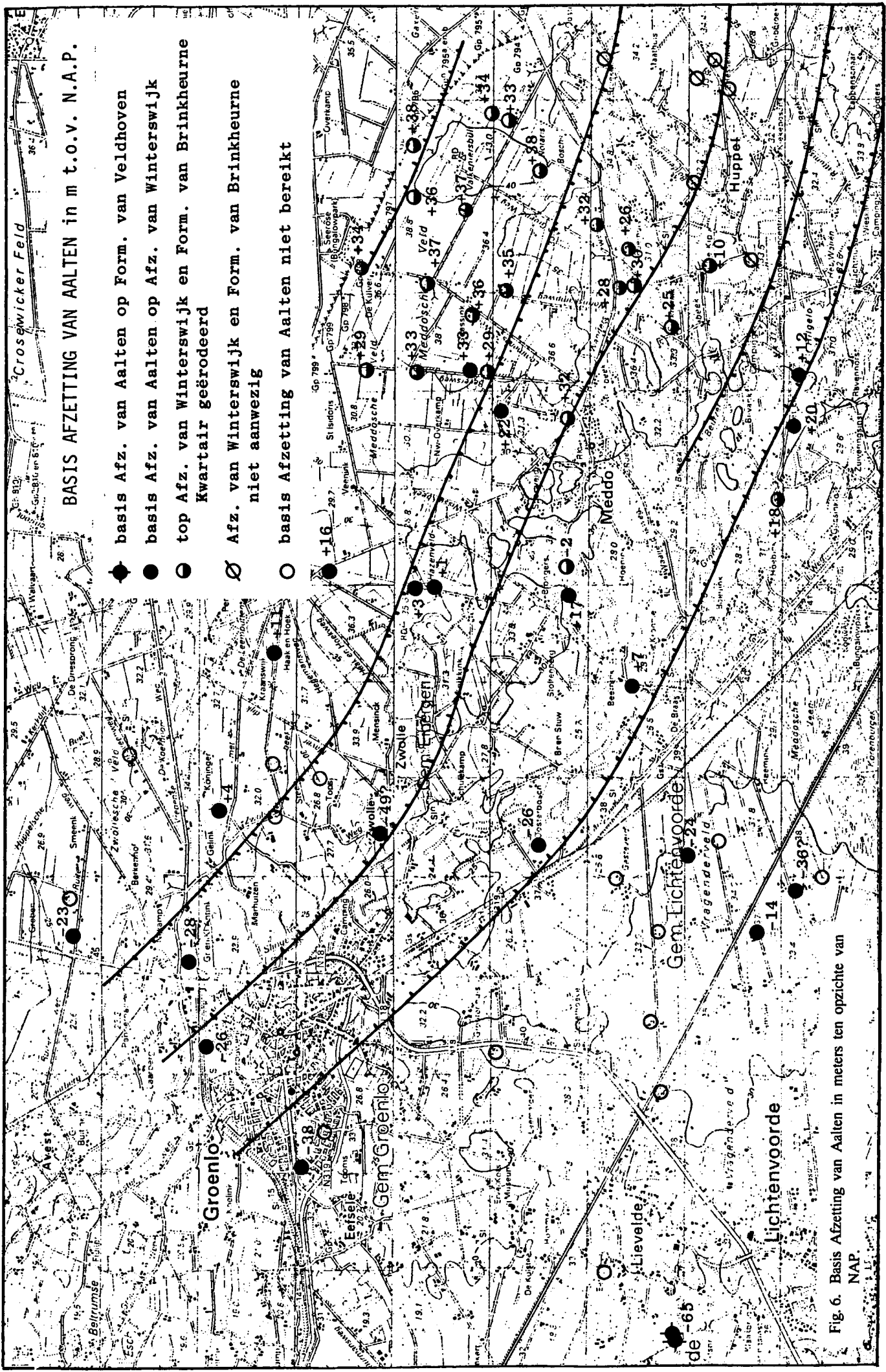
Als de midden-miocene transgressie het onderzoeksgebied bereikt is de geologische opbouw van de ondergrond belangrijk veranderd. Werd in het onderliggende Rupelien nog weinig tektonische activiteit gesignaleerd, als de vorming van de Afzetting van Aalten begint, is het gebied tevoren sterk scheefgesteld en heeft er, als gevolg van rektektoniek ter plaatse van bestaande breukstructuren, indaling van de bodem plaatsgemaakt, zoals hierboven reeds besproken. Wat precies is gebeurd en vooral **wanneer** is moeilijk na te gaan.



BASIS AFZETTING VAN WINTERSWIJK - TOP FORMATIE VAN BRINKHEURNE in m t.o.v. N.A.P.

- basis Afz. van Winterswijk - top Afz. van Woold
- Afzetting van Woold, top Kwartair geërodeerd
- Afzetting van Kotten, top Kwartair geërodeerd
- ∅ geen Formatie van Brinkheurne aanwezig
- traject niet bereikt of geen betrouwbare waarneming

Fig. 5. Basis Afzetting van Winterswijk/top Formatie van Brinkheurne in meters ten opzichte van NAP.



BASIS AFZETTING VAN AALTEN in m t.o.v. N.A.P.

- basis Afz. van Aalten op Form. van Veldhoven
- basis Afz. van Aalten op Afz. van Winterswijk
- top Afz. van Winterswijk en Form. van Brinkheurne Kwartair geërodeerd
- ∅ Afz. van Winterswijk en Form. van Brinkheurne niet aanwezig
- basis Afzetting van Aalten niet bereikt

Fig. 6. Basis Afzetting van Aalten in meters ten opzichte van NAP.

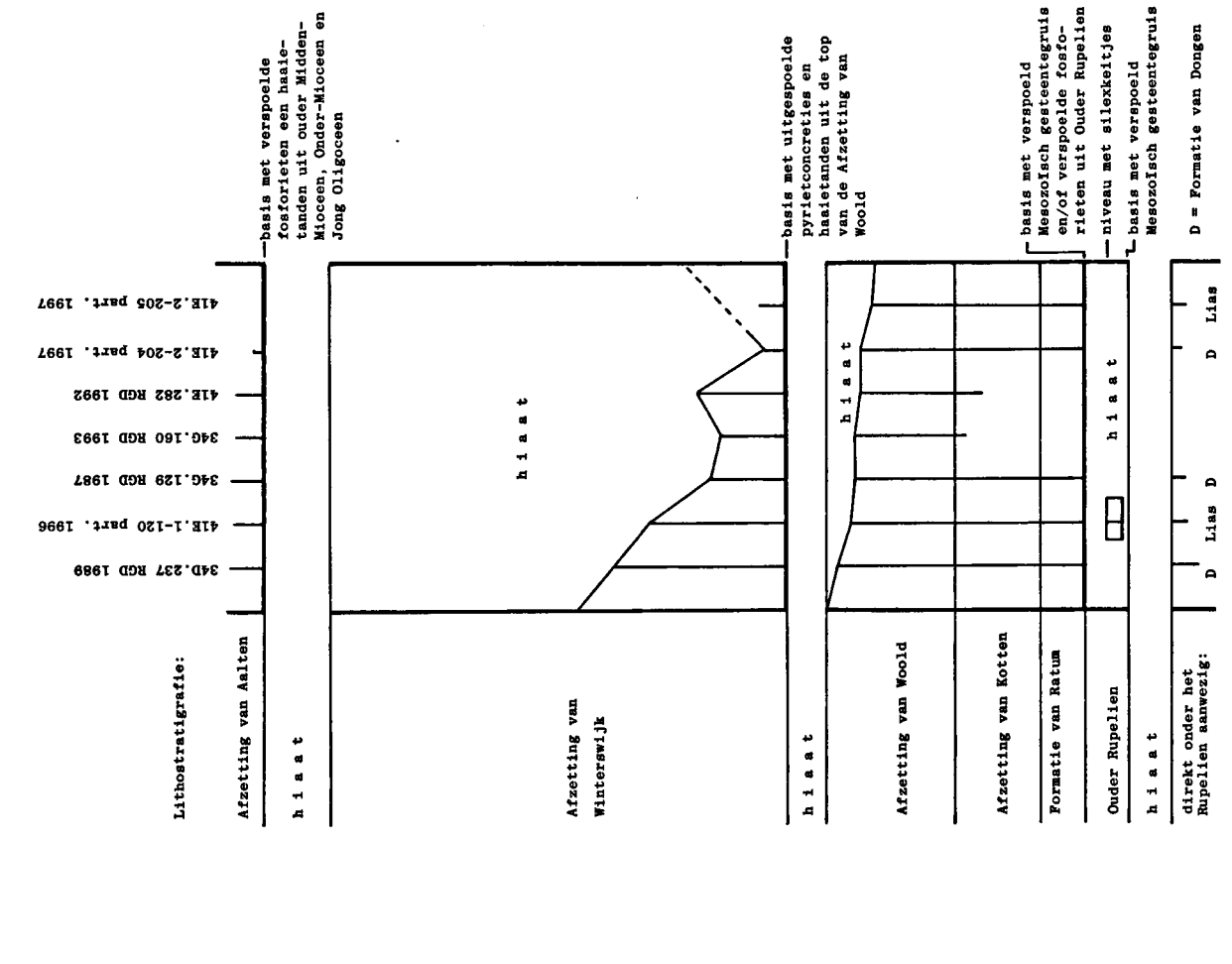
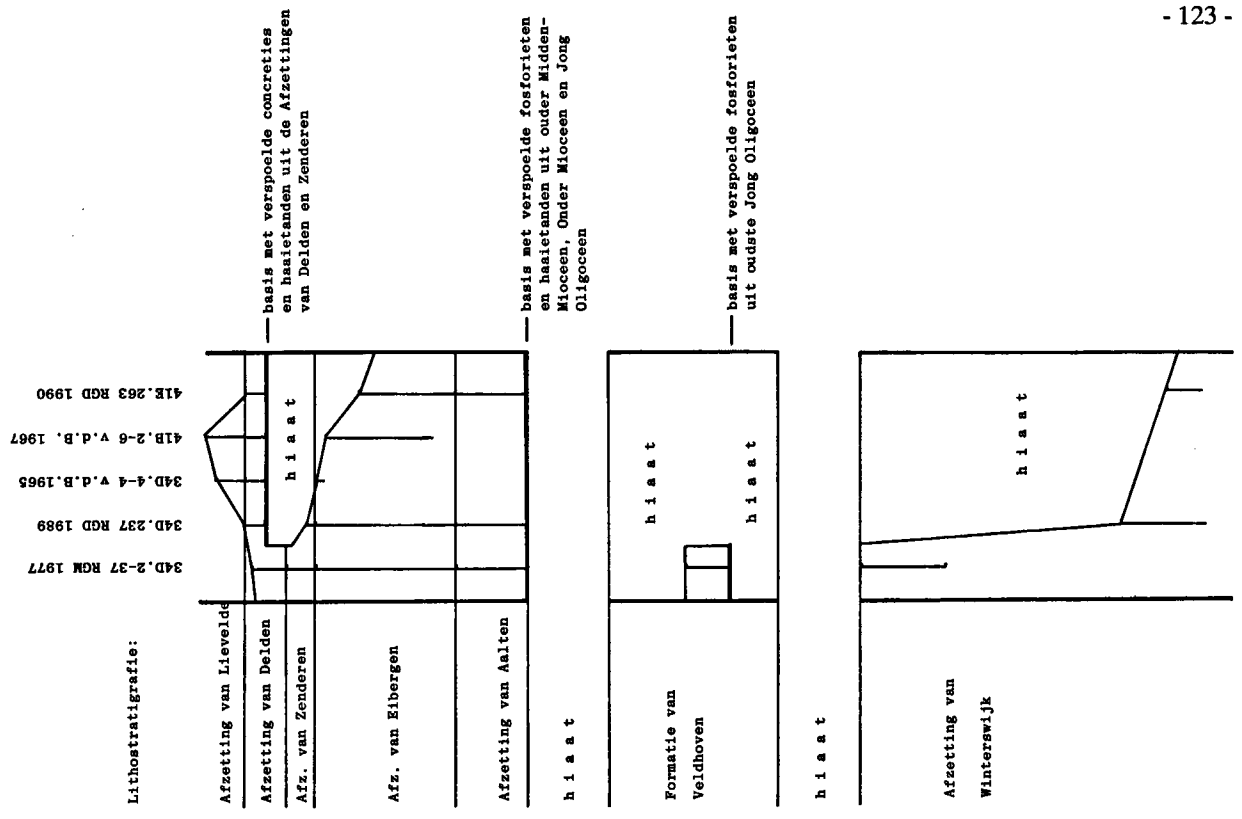


Fig. 8. Lithostratigrafisch schema van het Laat-Tertiair en de top van het Vroeg-Tertiair.

Fig. 7. Lithostratigrafisch schema van het Vroeg-Tertiair (Oligoceen) en de basis van het Laat-Tertiair.

Op een kort traject Laat-Oligoceen na (boring 41B.2-37) zijn alle afzettingen vanaf het oudere Midden-Mioceen tot en met de top van het Midden-Oligoceen door erosie verdwenen.

Aan de basis van de Afzetting van Aalten, de Laag van Miste, bevindt zich een zone met sterk gerolde, grove bestanddelen, die afkomstig zijn uit de geërodeerde afzettingen. Uit de samenstelling van dit basisgrind is op te maken uit welk stratigrafisch bereik de componenten afkomstig zijn. Dat zijn bijvoorbeeld brokstukken van kalkseptariën (uit de Afzetting van Winterswijk), gerolde zwarte fosforieten met schelpafdrukken en gerolde zwarte haaiantanden (uit Laat-Oligoceen, Formatie van Veldhoven) en gerolde haaiantanden en schelpfragmenten uit Vroeg-Mioceen (van den Bosch *et al.*, 1975; Janssen, 1984). De vondst van planktonische foraminiferen van vroeg-miocene ouderdom aan de basis van de Afzetting van Aalten bevestigt dit beeld (van Schooten, 1995). Of het in deze perioden ook tot volledige vorming van afzettingenreeksen is gekomen blijft onzeker. Mogelijk is het beperkt gebleven tot korte trajecten, die door discordanties van elkaar gescheiden waren, of die kort na het ontstaan weer werden opgeruimd. Dat zou tot herverspoeling van grove componenten kunnen hebben geleid, dat gezien de aard van het materiaal dat aan de basis van de Laag van Miste voorkomt, zeker wel mogelijk is. Veel van het verspoelde materiaal is nauwelijks nog herkenbaar.

In boring 41B.2-37 werd onder de Afzetting van Aalten een pakket van 10.5 m Laat-Oligoceen aangetroffen, waarin een molluskenfauna aanwezig is die vergelijkbaar is met die uit het hogere deel van het 'Chattien A' (Janssen, pers. comm., 1978), een gedeelte van de Formatie van Veldhoven. Aan de basis van dit pakket bevindt zich wederom een zone met talrijke gerolde zwarte fosforieten, de restanten van het oudere 'Chattien', dat door erosie is opgeruimd. De top van de Afzetting van Winterswijk bevat sporen van bioactiviteit, zoals graafgangen (van den Bosch, boorbeschrijving [1978] 41B.2-37). Een dergelijke situatie doet zich voor in een boring bij Beltrum, even ten westen van het onderzoeksgebied (van den Bosch, boorbeschrijving [1978] 34D.228). Hier zijn de laat-oligocene afzettingen 24 meter dik en het is niet zeker of het hetzelfde traject betreft als in boring 41B.2-37 te Lielde. De fosforieten aan de basis zijn er in ieder geval niet duidelijk aangetroffen.

Het Rupelien, zeker nog de Formatie van Brinkheurne, is als een horizontaal vlak afgezet. Ten opzichte van de basis van de Afzetting van Aalten is de top van de Formatie van Brinkheurne scheefgesteld. Dit verschil bedraagt tussen boringen 34D.237 en 41E.2-204 ongeveer 34 meter. Maar vergelijken we boringen 41E.2-204 en Lielde-1 dan zou het verschil zelfs ca. 120 meter bedragen. Tot in de recente tijd zijn deze verschillen opgelopen tot respectievelijk 93 en ca. 217 meter (zie ook Fig. 8). Dit alles vindt plaats binnen een afstand van 10 kilometer. Het grootste percentage hiervan komt voor rekening van het (schoksgewijs) ontstaan van de helling

naar het westen, het proces binnen de geosynclinale hoofdstructuur. De lokale bodemdaling als gevolg van rektektoniek voorafgaand aan de vorming van de Afzetting van Aalten bedraagt, zoals eerder beschreven, 18 tot 20 meter.

De bodemdaling in de breukstructuur bij Zwolle-Meddo krijgt nog een gering vervolg na het Laat-Tertiair. Als de boringen 41E.2-204 en 41E.282 vergeleken worden, wordt een bodemdaling zichtbaar aan de basis van de Afzetting van Aalten ter grootte van 11 meter; bij boring 41E.1-120 is dat 13 meter (zie profiel A; Fig. 9A). Concreet gezien is dat mogelijk iets minder, omdat er sprake is van een flexuur-achtige depressie, waarin op een bepaalde plaats breuken voorkomen, zoals te zien is in profielen B en C (Fig. 9B, C).

De gelaagdheden binnen de afzettingen van Aalten en Eibergen zijn niet verstoord; ze zijn in de dalingsgebieden en daarbuiten geheel identiek. De bodemdaling als gevolg van de tweede fase van rektektoniek is dus jonger dan de Afzetting van Eibergen en past mogelijk in het bereik Pliocene/Vroeg-Pleistoceen. Ook de Afzetting van Delden is namelijk mee ingedaald, zoals in Fig. 11 te zien is. Deze laat-tertiaire bodemdaling is in feite zo gering dat het interpreteren van breukstructuren op het kaartbeeld uitsluitend op de grens Formatie van Breda/Formatie van Rupel niet tot overtuigende conclusies leidt. Pas als op afzettingniveau wordt gekarteerd en er de beschikking is over boringen tot op de top van de Formatie van Brinkheurne, blijkt de wat onduidelijke flexuurachtige structuur toch door belangrijke oudere breuken te worden begeleid.

De tektonische bewegingen die aanvangen na het Rupelien (Savische fase) bestaan voornamelijk uit lokale indalingen langs bestaande breukstructuren als gevolg van rektektoniek. De helling naar het westen die samenhangt met de geosynclinale hoofdstructuur neemt in perioden toe. Voor de aanvang van het latere Midden-Mioceen heeft dit proces belangrijke vormen aangenomen en ontstaan kantelbewegingen, meer specifiek gezien wordt het oostelijk gebied daardoor opgeheven en alle afzettingen uit Vroeg-Mioceen en Laat-Oligoceen tot zelfs de top van het Rupelien vallen ten offer aan erosie. Zo ook in het gehele onderzoeksgebied. Het gaat hier waarschijnlijk om enkele honderden meters sediment. Mogelijk is dat al gedurende de gehele periode in fasen gebeurd en heeft de sedimentatiereeks nooit echt in zijn geheel bestaan.

In het Laat-Tertiair neemt de bodemdaling in westelijke richting nog aanzienlijk toe. Er volgt dan nog aan het einde van het Tertiair of in het Vroeg-Pleistoceen een geringe lokale bodemdaling als gevolg van rektektoniek in de bestaande structuren. Dit heeft invloed op de diepteligging van de basis van de Afzetting van Aalten. Deze lokale bodemdaling heeft grote gevolgen voor het huidige kaartbeeld. Zo werd bijvoorbeeld zeer recentelijk ten noordoosten van Winterswijk, ter plaatse van de Kobsterweg (coördinaten 248.500/445.500) nog een groot gebied met Afzetting van Aalten aangetroffen.

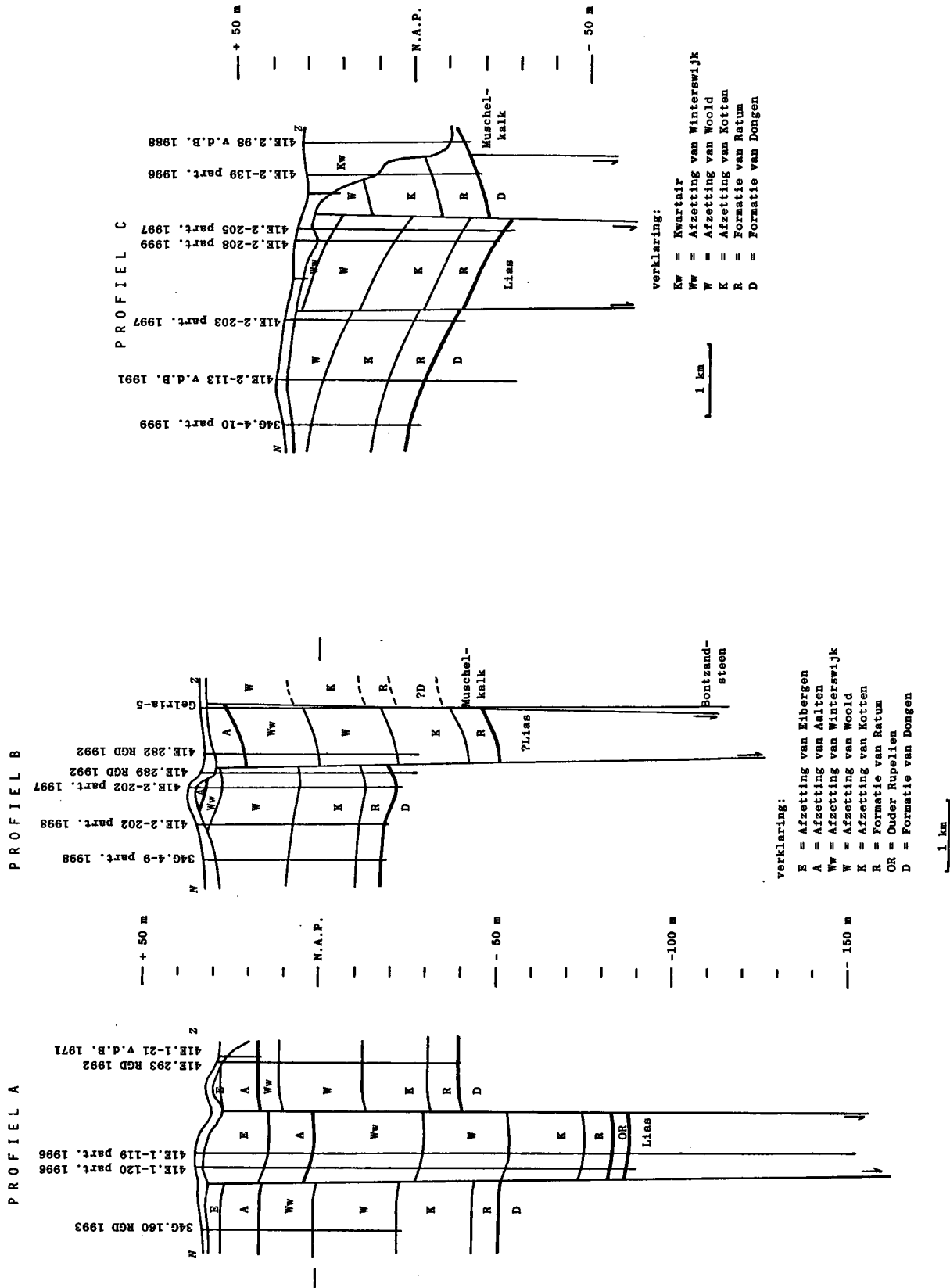


Fig. 9A-C. Profielen A, B en C (zie Fig. 2).

De positie is aangegeven in Fig. 11, maar de inpassing in de omgeving is nog onduidelijk. In de directe omgeving zijn afzettingen van Woold en Kotten waargenomen.

Basis Afzetting van Delden/top Afzettingen van Eibergen (Fig. 10)

In het westelijk deel van het onderzoeksgebied zijn veel boringen beschikbaar, die de top van de Afzetting van Eibergen of de grens hiervan met de Afzetting van Delden, hebben bereikt. Hieruit is een representatieve selectie gemaakt. In het oostelijk deel van het gebied zijn de afzettingen door erosie verdwenen, zodat hier de gevolgen van laat-tertiaire tektoniek niet bestudeerd kunnen worden.

Er zijn twee belangrijke clusters boringen beschikbaar; een op het Zwollesche Veld ten oosten van Groenlo, en één op het Vragender Veld ten oosten van Lichtenvoorde. Uit vergelijking tussen de dieptes van het grensvlak afzettingen van Eibergen/Delden blijkt dat de helling van het Tertiair in westelijke richting gehandhaafd blijft. Vanaf het onderste Rupelien tot aan de grens Mioceen/Pliocene blijft dus de hellingsrichting konstant. De helling bedraagt op het grensvlak Mioceen/Pliocene ongeveer 4 meter per kilometer. Oorspronkelijk zal dat een nagenoeg horizontaal vlak geweest zijn. In het dalingsgebied in de breukstructuur Zwolle-Meddo zijn de afzettingen enkele meters dieper weggezakt, dat als gevolg van de geringe helling direct grote gevolgen heeft voor het kaartbeeld (Fig. 11). Jammer genoeg is de basis van de Afzetting van Delden in dit gebied nergens vastgesteld. Het voorkomen van de Afzetting van Zenderen is hier echter niet erg waarschijnlijk.

Opvallend is het ontbreken van de Afzetting van Zenderen onder het Zwollesche Veld en het Vragender Veld. Ten opzichte van boring 41B.2-37, die als standaard voor het Laat-Tertiair goed te gebruiken is, blijkt ook dat de onderste meters van de Afzetting van Delden ontbreken (zie Fig. 8). De top van de Afzetting van Delden ligt discordant over de Afzetting van Eibergen; hoe verder oostelijk, hoe meer van deze laatste afzetting is verdwenen. De top van de Afzetting van Delden valt op door de verkitte banken met talrijke schelpafdrukken, tegen de grens met de Afzetting van Lieveelde is deze meer kleiachtig ontwikkeld. De Afzetting van Delden is ondiep marien, die van Lieveelde heeft mogelijk een meer terrestrisch karakter (van den Bosch *et al.*, 1975). De meer onder in de Afzetting van Delden gelegen goethietzanden komen slechts lokaal, als dun restant voor in het Vragender Veld. Aan de basis bevindt zich een zone met verspoelde componenten uit de Afzetting van Zenderen, voornamelijk gerolde haaiantanden, maar ook donkergekleurde grote fosforieten die nooit *in situ* zijn aangetroffen (van den Bosch, 1966; van den Bosch *et al.*, 1975). In boring 34D.4-4 is nog een restant van enkele decimeters van de Afzetting van Zenderen aanwezig. In boring 34D.237 ligt het bovenste deel van de Afzetting van Del-

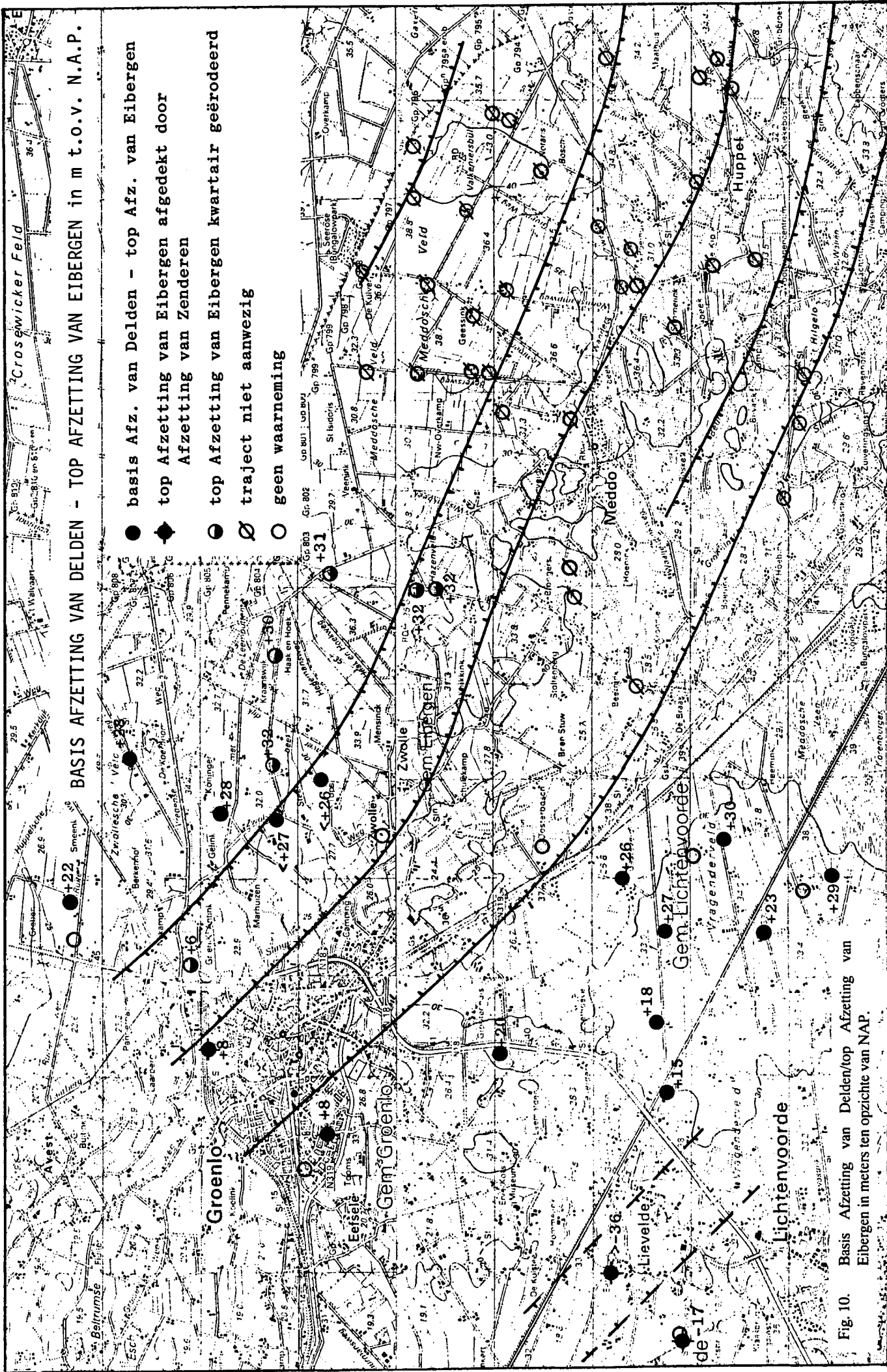
den op het onderste deel van de Afzetting van Zenderen, waarvan nog 2.5 meter aanwezig is.

In boringen 41B.2-37 en 41B.107 zijn lange, continue gevormde sekties van de afzettingen van Delden en Zenderen aanwezig. In de eerste boring ligt de Afzetting van Zenderen zonder onderbreking op die van Eibergen, die aan de top een sterk siltig karakter heeft.

Er heeft dus halverwege de vorming van de Afzetting van Delden, op de grens Mioceen/Pliocene (van den Bosch, 1967) een opheffing plaatsgehadt in het gebied ten oosten van de lijn Lichtenvoorde-Groenlo. Deze beweging is te relateren aan eerdere bewegingen die samenhangen met de geosynclinale hoofdstructuur van het Noordzebekken. De opheffing is ongeveer 15 meter en wordt in oostelijke richting meer (zie Fig. 8). Deze opheffing is identiek in het dalingsgebied Zwolle-Meddo, de jongst waargenomen lokale bodemdaling als gevolg van rektektoniek is jonger dan de zojuist beschreven opheffing. Opmerkelijk is dat het stratigrafisch hiaat tussen het bovenste deel van de Afzetting van Delden en de Afzetting van Eibergen niet in Twente voorkomt. In Twente bestaan de afzettingen van Zenderen en Delden uit een ononderbroken sedimentatiereeks. De basis van de Afzetting van Zenderen ligt echter discordant over de Afzetting van Eibergen, waarvan soms alleen nog de onderste meters aanwezig zijn, zoals bij Delden. Er is geen sprake van een fout in de lithostratigrafische correlatie; deze is ruim voldoende ondersteund door paleontologisch onderzoek (van den Bosch *et al.*, 1975). Mogelijk is het in Twente een lokaal verschijnsel (zie van den Berg & Gaemers, 1993, p. 64).

Boring 41B.107 maakt deel uit van een oost-west verlopend profiel van de voormalige Rijks Geologische Dienst (nu NITG-TNO), dat is meegenomen in het Achterhoekproject NNM-RGD. In dit dwarsprofiel is te zien dat de boring is geplaatst in een smal dalingsgebied, vergelijkbaar met de breukstructuur Zwolle-Meddo. Als gevolg van de meer westelijke ligging zijn er jongere afzettingen bewaard gebleven. Te zien is dat ook het grensvlak tussen de afzettingen van Delden en Lieveelde (Vroeg-Pliocene) is ingedaald ten opzichte van de omgeving. Deze indaling bedraagt ongeveer 10 meter (van den Bosch, 1996c). Dat brengt de ouderdom van de beweging op Midden-Pliocene of jonger, mogelijk zelfs Vroeg-Pleistoceen. Het kwartaire dekterrein is ter plaatse onvoldoende onderzocht om hier een uitspraak over te doen. Ten noordoosten van Almelo is een overeenkomende tektonische beweging niet alleen zichtbaar in de afzettingen van Lieveelde en Delden, maar ook in de Formatie van Enschede, zodat de bewegingen mogelijk zelfs in het Midden-Pleistoceen plaatsvonden (van Houten & van den Berg, 1993, profiel A-A'). Hoe de breukstructuur bij boring 41B.107 te koppelen is met de omgeving van Winterswijk is op dit moment nog niet duidelijk.

Tijdens het gereedmaken van het manuscript van dit artikel is een boring beschikbaar gekomen, op 200 meter ten oosten van boring 34G.149, bij Groenlo.











BASIS AFZETTING VAN DELDEN - TOP AFZETTING VAN EIBERGEN in m t.o.v. N.A.P.

- basis Afz. van Delden - top Afz. van Eibergen
- ◆ top Afzetting van Eibergen afgedekt door Afzetting van Zenderen
- top Afzetting van Eibergen kwartaair geërodeerd
- traject niet aanwezig
- geen waarneming

Fig. 10. Basis Afzetting van Delden/top Afzetting van Eibergen in meters ten opzichte van NAP.

BOVENKANT VAN DE TERTIAIRE AFZETTINGEN

-  Kwartairbedekking meer dan 5 m dik
-  Afzetting van Lieveelde
-  Afzetting van Delden
-  Afzetting van Eibergen
-  Afzetting van Aalten
-  Afzetting van Winterswijk
-  Afzetting van Woold
-  Afzetting van Kotten

— breuk
 schaal 1: 50.000
 Bijgewerkt tot 21 juni 1999

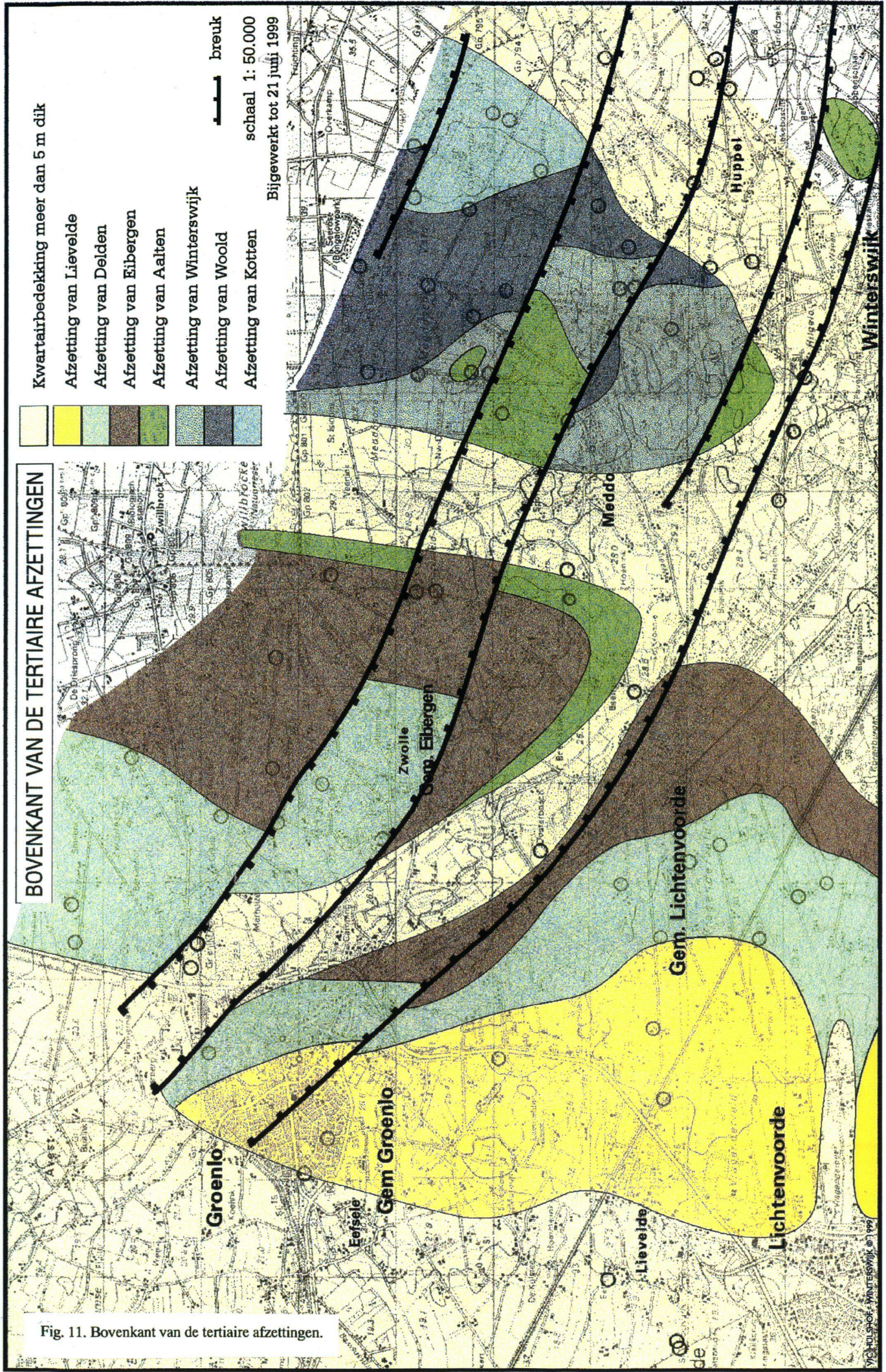


Fig. 11. Bovenkant van de tertiaire afzettingen.

Onder keileem werd hier nog een pakket van 16 meter preglaciale afzettingen aangetroffen, waaronder de uiterste top van de Afzetting van Eibergen. Op enkele tientallen meters ten oosten hiervan ontbreekt dit pakket volledig en wordt onder keileem een lager deel van de Afzetting van Eibergen aangetroffen. Dit wijst op werking van de breukstructuur ter plaatse gedurende het Pleistoceen. Ook in dit geval betreft het rektektoniek. Gezien de opbouw van het pleistocene pakket zou de bodemdaling in twee fasen gedurende het Pleistoceen kunnen zijn ontstaan, waarvan de laatste na de vorming van de Formatie van Sterksel. Het dalingsgebied is in het landschap zichtbaar. Op basis van deze boring werd Fig. 11 op 21 juli 1999 aangepast. De ligging van de breuken is beter bepaald; ze hebben een iets meer westelijke richting gekregen. Het Kwartair ter plaatse is langs deze breukvlakken ca. 16 meter ingedaald. In dit dalingsgebied is tijdens het Laat-Pleistoceen het dal van de Groenlosche Slinge ontstaan.

De beschrijving van de breukstructuur Zwolle-Meddo in dit artikel is aanleiding de eerder gepubliceerde opvatting over de strekking van de structuren te wijzigen. Het verloop is minder naar het noorden gericht dan werd aangenomen (van de Meene, 1996). Hier komt nog bij dat tijdens een gedetailleerde kartering door het Staring Centrum/DLO in 1995-1996 de opvattingen ten oosten van Winterswijk zijn gewijzigd. De kaart 1:10 000 die uit dit onderzoek voortkomt (van den Bosch, in voorber.) laat zien dat de structuren meer westwaarts georiënteerd zijn dan uit eerdere versies bleek. Ook blijken er talrijke kleine noordzuid-gerichte breuken te bestaan in het Mesozoïcum, mogelijk een gevolg van een draaiende beweging tijdens het ontstaan van de opschuivingsstructuren. Het later indalende Tertiair volgt deze structuren. De meer westwaarts gerichte strekking van de breukstructuren komt beter overeen met de resultaten verkregen in de delfstofgeologie, zoals seismisch onderzoek, gepresenteerd in de geologische atlas van de diepe ondergrond van Nederland, Kaartblad X (NITG-TNO, 1998).

CONCLUSIES

De hier gepresenteerde analyse van bodembewegingen gedurende het Tertiair is een experiment op basis van grote aantallen boringen die werden opgehangen aan een gedetailleerd lithostratigrafisch raamwerk. Uit de samenstelling van deze boorgegevens kan worden opgemaakt dat het hier gepubliceerde onderzoek in hoofdzaak drijft op boringen voor particulieren.

De specifiek voor geologisch onderzoek uitgevoerde boringen door de RGD (= NITG/TNO) en RGM (NNM/Naturalis) zijn te gering in aantal om tot aanvaardbare conclusies te komen. In een sterk gestoord gebied als het onderhavige zijn kennelijk grote aantallen boringen noodzakelijk. Hiervoor ontbreken echter de onderzoeksbudgetten. In Tabel 2 zijn alle vastgestelde

bewegingen ten opzichte van de lithostratigrafie weergegeven. Dit is tot stand gekomen door van ieder discordantievlak de dieptes ten opzichte van NAP op een kaart uit te zetten (Figs 3-6, 10) en deze onderling te vergelijken.

In Fig. 11 is een beeld geschetst van de oppervlakte van het Tertiair in het gebied. Opvallend is de oostwaartse uitstrekking van de afzettingen van Delden en Aalten. Binnen de boorlokaties zou deze structuur als flexuur te interpreteren zijn. Als echter wordt gekeken naar de top van de Formatie van Brinkheurne (Afzetting van Woold), dan worden spronghoogtes van 30 meter zichtbaar, op zeer korte afstanden. Dit is uitsluitend te verklaren door breuken. De vondst van Lias binnen een gebied met Formatie van Dongen onder het Rupelien versterkt dit beeld. Duidelijk is hierdoor dat, om uit te maken of de structuur een flexuur of een breukzone is, het kaartbeeld alléén onvoldoende uitgangspunten biedt. Boringen tot de top van de Afzetting van Woold geven uitsluitsel (zie profielen A, B en C, waarvan de lokaties in Fig. 2 zijn aangegeven).

De strekking van deze structuur is van zuidoost naar noordwest, en vertoont een flauwe naar het zuidwesten gerichte boog. Tot voor kort werd een strekking in meer noordelijke richting aangenomen, waardoor het breukpatroon in het verleden onjuist is geïnterpreteerd. Dit heeft ook gevolgen voor de interpretatie van het breukenpatroon in de wijdere omgeving.

De breedte van het ingedaalde gebied boven de breukstructuur varieert van 850 tot 1.100 meter. De indaling is in het noordwesten het sterkst. Direct ten zuiden van de genoemde structuur komt nog een dalingsstructuur voor, smaller maar mogelijk met meer reliëf in het Laat-Tertiair. Hier is echter minder van bekend en kan dus niet volledig op de kaart worden weergegeven. De basis van de Afzetting van Winterswijk is in boring 41E.2-127 te diep gelegen; de oorzaak hiervan blijft nog onbekend.

In de profielen A, B en C (Fig. 9A-C) is te zien dat, zodra voldoende boringen beschikbaar zijn, de lithostratigrafische grenzen niet vlak liggen. Ze vormen een zwakke synclinale structuur, die in het midden is doorbroken. Ook in het Mesozoïcum moet deze synclinale structuur aanwezig geweest zijn, maar met een sterker reliëf. De van noordwest naar zuidoost verlopende strook met Lias van aanzienlijke dikte, ingeklemd tussen afzettingen uit het Trias, is er het gevolg van. Vanaf de grens Krijt-Tertiair zijn er verschillende bewegingen zichtbaar (zie Tabel 2). Ze beginnen met de gevolgen van compressie ergens aan het eind van het Krijt en/of tijdens het Vroeg-Tertiair (subhercynisch). Dat is te zien aan groot-schalige plooistrukturen in het jongere Mesozoïcum bij Winterswijk, zelfs met aanzienlijke opschuivingen. Ten westen van Winterswijk is zelfs een afzetting van de grens Paleoceen/Eoceen 10° scheefgesteld.

Gedurende het Eoceen vinden ten minste drie belangrijke opheffingen plaats, waardoor de eerder gevormde

afzettingen grotendeels worden geërodeerd. Dat is gebeurd direct voorafgaand aan de vorming van het 'Ieper', waardoor het Paleoceen en het 'basal Dongen Tuffite Member' verdwenen. Vervolgens ergens op de helft van de vorming van het 'Brussel' en onderin het 'Asse'. Mogelijk hangen die opheffingen samen met de eerder genoemde compressiebewegingen, die met zekerheid aanhouden tot de grens Eoceen/Oligoceen. Mogelijk speelt de geosynclinale structuur van het Münsterlandbekken nog een rol, waardoor aan de randen opheffingen plaatsvinden.

Voor de aanvang van het Rupelien (Midden-Oligoceen), vindt in de breukstructuur bij Zwolle-Meddo een belangrijke inversiebeweging plaats, als gevolg van compressie. Het tientallen meters dikke Eoceen (inkluisief 'Asse') wordt dan opgeruimd en de afzettingen van het Rupelien komen direct op de Lias te liggen. Als gevolg van een geringe opheffing van het gehele gebied rond Winterswijk, maar plaatselijk ook in Twente, worden de afzettingen van het vroegere Rupelien vrijwel geheel opgeruimd. Eocene afzettingen zijn ten zuiden van het onderzoeksgebied geheel door erosie verdwenen, evenals het late Mesozoïcum.

Bij Winterswijk vindt nog een inversiebeweging plaats voorafgaand aan de vorming van de Afzetting van Winterswijk. De basis van deze eenheid ligt bij boerderij Stemerding in Brinkheurne op het onderste deel van de Afzetting van Kotten. De opheffing bedraagt 35 tot 40 meter. Mogelijk is het een zeer geïsoleerd geval als gevolg van zouttektoniek, maar dat sluit compressie niet geheel uit.

Opvallend is dat in het oosten van de breukstructuur, ter plaatse van de boringen 41E.2-205 en 41E.2-208 opvallend veel (ruim 10 meter) van de top van de Afzetting van Woold is verdwenen. In profiel C is te zien dat de noordelijke breuk hier plotseling minder belangrijk is geworden. Is hier sprake van opheffing, inversie, zoals juist genoemd, of van de eerder genoemde kantelbewegingen? De as van de kantelbeweging zou zich dan tussen profielen B en C moeten bevinden. Een feit is dat de dalingsstructuur hier een einde vindt en van karakter verandert. Omdat aan de einden van profiel C de grens tussen de afzettingen van Woold en Winterswijk niet meer aanwezig is, valt hier geen afdoende verklaring te geven.

Een andere vorm van bodembeweging wordt veroorzaakt door de geosynclinale hoofdstructuur van het Noordzeebekken. In het centrale gedeelte daalt de bodem; aan de randen vindt als gevolg hiervan opheffing plaats. Deze opheffing is niet geleidelijk, maar gebonden aan relatief korte perioden. De eerste duidelijke beweging is in dit verband waarneembaar op de grens tussen de afzettingen van Woold en Winterswijk, en wordt direct gevolgd door een snellere bodemdaling in het bekken. In het Laat-Oligoceen zal het zich meerdere malen herhaald hebben.

Ook halverwege de vorming van de Afzetting van Delden vindt een dergelijke beweging plaats, op de grens Mioceen/Plioceen, met kantelbewegingen in westelijke

richting.

De mioceene afzettingen zijn relatief dun, hoewel de stratigrafie nagenoeg compleet schijnt te zijn. Dat kan wijzen op een minder snelle daling van het gebied ten opzichte van bijvoorbeeld het Peelgebied. Ook al bij Winterswijk en Aalten is met name de Afzetting van Aalten dikker ontwikkeld. Vanaf het Plioceen is de opheffing in het gebied sneller en vormen zich geen marieene afzettingen meer.

Onafhankelijk van de bewegingen rond de geosynclinale hoofdstructuur vindt in het latere Tertiair rektektoniek plaats (Savisch), waardoor in bestaande breukstructuren indalingen plaatsvinden. De belangrijkste beweging wordt gezien voorafgaand aan de vorming van de Afzetting van Aalten (Midden-Mioceen), waardoor de afzettingen van het eronderliggende Rupelien worden doorbroken (zie Fig. 11). Een tweede, minder heftige indaling als gevolg van rektektoniek, vindt plaats na het Vroeg-Plioceen en is wellicht van Pleistocene ouderdom (slenk bij Groenlo). Deze twee waargenomen korte perioden van rektektoniek (decompressie) zijn niet te relateren aan de opheffings- en kantelbewegingen aan de randen van de geosynclinale hoofdstructuur; ze verlopen althans niet synchron.

De twee perioden van duidelijke rektektoniek liggen in tijd ca. 20 miljoen jaar uiteen. Men kan zich afvragen of beide bewegingen wel als Savisch kunnen worden beschouwd.

Met het huidige onderzoek wordt het belang van een zeer gedetailleerde lithostratigrafie onderkend. Zonder dit raamwerk was het uitgesloten geweest conclusies te trekken. Toepassing van de kleinschalige lithostratigrafie in de kartering maakt het mogelijk breukstructuren in het Tertiair eerder op te sporen. Aan de andere kant bewijst het onderzoek dat lithostratigrafische standaardkolommen moeten worden samengesteld uit ruim voldoende waarneming. Ook de discordanties en kleinere hiaten moeten worden opgespoord en bewezen. Het verschaft inzicht in **wat er weg is**. Dat is in het verleden onvoldoende gebeurd. Er waren te weinig boringen beschikbaar om bijvoorbeeld de problemen aan de onderkant van het Rupelien te onderkennen. Ook de tweedeling in de Afzetting van Eibergen is onvoldoende beschreven, waardoor verwarring is ontstaan rond de interpretatie van bijvoorbeeld de Afzetting van Zenderen. Ter verduidelijking: in Figs 7-8 zijn naast de lithostratigrafische benamingen, het theoretisch raamwerk, de feitelijke afzettingsspakketten per boring aangegeven waardoor een beeld ontstaat van de gedeelten die ontbreken.

DANKWOORD

Allereerst gaat mijn waardering uit naar mijn vrouw Marjan voor haar steun gedurende de zware ambtelijke crisis waaronder deze publicatie tot stand is gekomen. De heer Vic Hulshof, kunstwerker te Winterswijk, nam de computerverwerking van Figuur 11 op zich, wat ik bij-

		(Pleistoceen)		
Vroeg Pliocene	MIOCEEN	Formatie van Scheemda	Afzetting van Lievelede	- lokale bodemdaling in breukstructuren als gevolg van rektektoniek
			Afzetting van Delden	- opheffing en erosie, kantelbewegingen in westelijke richting
			Afzetting van Zenderen	- in Twente lokaal opheffing en erosie
			Afzetting van Eibergen	
Midden	Formatie van Breda	Afzetting van Aalten	- lokale bodemdaling in breukstructuren als gevolg van rektektoniek	
			- sterke opheffing en erosie, kantelbewegingen in westelijke richting mogelijk meerdere bewegingen gedurende een langere periode	
Vroeg	Formatie van Veldhoven	"Jong oligocene afzettingen"	- opheffing en erosie	
		Afzetting van Winterswijk	- opheffing en erosie, <i>snellere bodemdaling</i> opheffing en erosie, lichte scheefstelling in westelijke richting	
		Afzetting van Woold	[bij Winterswijk lokaal inversiebewegingen als gevolg van zouttektoniek	
		Afzetting van Kotten		
Midden	Formatie van Rupel	Formatie van Brinkheurne		
		Formatie van Ratum	- opheffing en erosie	
		"Onder-Rupelien, groene afzetting"	- opheffing en erosie, sterke inversiebewegingen als gevolg van compressie	
		?		
Vroeg	Formatie van Dongen	"Asse"	- opheffing en erosie	
		"Brussel"	- opheffing en erosie	
		"Ieper"		
			- opheffing en erosie, mogelijk nog plooibewegingen als gevolg van compressie	

- op + grens Krijt-Tertiair sterke plooivorming en opschuiving als gevolg van compressie

Tabel 2. Overzicht van de tektonische activiteit tijdens het Tertiair ten noorden van Winterswijk.

zonder plezierig vond. Tevens gaat mijn dank uit naar de heer Herman van Elburg van het gelijknamige grondboorbedrijf te Veeningen (Zuidwolde) voor de prettige samenwerking. Het bestuur van de WTKG maakte het mogelijk deze publicatie uit te brengen wat, gezien de armoede aan Nederlandstalige publicaties in dit vak, door mij zeer wordt gewaardeerd.

LITERATUUR

Berg, M.W. van den & P.A.M. Gaemers, 1993. Toelichtingen bij de geologische kaart van Nederland 1:50 000, blad Almeloo Oost/Denkamp, 4. Tertiair. Haarlem (Rijks Geol. Dienst): 35-86.

Bosch, M. van den, 1966. Een nieuwe ontsluiting in jong Tertiair in Aalten bij Winterswijk. — Meded. Werkgr. Tert. Kwart. Geol., 3(3-4): 49-53.

Bosch, M. van den, 1967. Het Deurnien van Borgerhout en enkele opmerkingen over de stratigrafie van het Mioceen in het Noordzeebekken. — Meded. Werkgr. Tert. Kwart. Geol., 4(2): 45-48.

Bosch, M. van den, 1981a. Geologische schetskaart van Winterswijk, 1:50 000/Beknopte toelichting bij de geologische schetskaart van Winterswijk. — Bijlage Wet. Meded. KNNV, 147.

Bosch, M. van den, 1981b. Verslag van het onderzoek van het onderste deel van de Boom Klei Formatie, Rupelien, in de kleigroeven bij Sint-Niklaas, België. — Ann. Kon. Oudh.

Kring Land van Waas, 84(2): 41-46.

Bosch, M. van den, 1984. Lithostratigraphy of the Brinkheurne Formation (Oligocene, Rupelian) in the eastern part of the Netherlands. — Meded. Werkgr. Tert. Kwart. Geol., 21(2): 93-113.

Bosch, M. van den, 1993. De voortgang van het lithostratigrafisch onderzoek van het Rupelien in de Gelderse Achterhoek. — Rapport Nationaal Natuurhist. Mus. Leiden/Geol. Veldlab. Winterswijk: 15 pp. (ongepubl.).

Bosch, M. van den, 1994a. Bovenkant Tertiair en Mesozoïcum, breukenpatroon, kaartblad 41E, 41F en 41G, 1: 25 000. — Rapport Nationaal Natuurhist. Mus. Leiden/Geol. Veldlab. Winterswijk: kaartblad, handgekleurd, met randschrift (ongepubl.).

Bosch, M. van den, 1994b. Lithostratigrafische interpretatie van boring 34E.234 aan het Twentekanaal ten westen van Hengelo (O.). — Rapport Nationaal Natuurhist. Mus. Leiden/Geol. Veldlab. Winterswijk: 15 pp. (ongepubl.).

Bosch, M. van den, 1996a. De voortgang van het lithostratigrafisch onderzoek van het Rupelien in Oost-Nederland, II. — Rapport Nationaal Natuurhist. Mus. Leiden/Geol. Veldlab. Winterswijk: 7 pp. (ongepubl.).

Bosch, M. van den, 1996b. De voortgang van het lithostratigrafisch onderzoek van het Rupelien in Oost-Nederland, III. Lithostratigrafie van de boringen Pelkwijk en Eelink Es te Winterswijk. — Rapport Nationaal Natuurhist. Mus. Leiden/Geol. Veldlab. Winterswijk: 11 pp. (ongepubl.).

Bosch, M. van den, 1996c. Achterhoekproject NNM-RGD - kaartblad 41E, 41F, 41G; Boorlocatiekaarten en overzichtsprofielen. — Rapport Nationaal Natuurhist. Mus. Leiden/Geol. Veldlab. Winterswijk: 11 pp. (ongepubl.).

- den/Geol. Veldlab. Winterswijk: 14 pp. (ongepubl.).
- Bosch, M. van den, 1998. Bodembewegingen gedurende het Tertiair ten noorden van Winterswijk. — Rapport. Geol. Veldlab. Winterswijk: 37 pp. (ongepubl.).
- Bosch, M. van den, in voorber. Bovenkant Tertiair en Mesozoïcum, breukenpatroon van Winterswijk Oost, schaal 1:10000.
- Bosch, M. van den, M.C. Cadée & A.W. Janssen, 1975. Lithostratigraphical subdivision of Tertiary deposits (Oligocene-Pliocene) in the Winterswijk-Almelo region (eastern part of the Netherlands). — *Scripta Geol.*, 29: 1-167, 23 pls.
- Bosch, M. van den & H. Hager, 1984. Lithostratigraphic correlation of Rupelian deposits (Oligocene) in the Boom area (Belgium), the Winterswijk area (the Netherlands) and the Lower Rhine district (F.R.G.). — *Meded. Werkgr. Tert. Kwart. Geol.*, 21(3): 123-138.
- Breda, J.G.S. van, 1834. Tertiaire formatie in de Provincie Gelderland. — *Algemeene Konst- en Letterbode*, 1834: 117-124.
- Drozdowski, G., 1987. Erläuterungen geologische Karte von Nordrhein-Westfalen, 1:100 000, C 4306 Recklinghausen, 3. Gebirgsbau. Krefeld (Geol. Landesamt Nordrhein-Westfalen): 17-22.
- Geluk, M.C., 1993. Toelichtingen bij de geologische kaart van Nederland, 1:50 000, Almelo Oost en Denekamp, 2. Geologie van de diepe ondergrond (Pre-Tertiair). Haarlem (Rijks Geol. Dienst): 15-31.
- Hager, H., N. Vandenberghe, M. van den Bosch, M. Abraham, F. von der Hocht, K. Rescher, P. Laga, E. Nickel, A. Verstraelen, S. Leroi & R.J.W. van Leeuwen, 1998. The geometry of the Rupelian and Chattian depositional bodies in the Lower Rhine area and its border area: a constraint for lithostratigraphy. — *Reg. Comm. northern Paleog. Stratigr.* — *Bulletin of the Geol. Society of Denmark*, Vol. 45, pp. 53-62, 1998.
- Harsveldt, H.M., 1963. Older conceptions and present views regarding the Mesozoic of the Achterhoek with special mention of the Triassic limestones. — *Verh. Kon. Nederl. geol.-mijnbouw. Gen.*, 21(2): 109-130.
- Herngreen, G.F.W., 1997. Palynologische datering van tertiaire afzettingen in de boringen NNM 41E.3-318, 41E.3-319 en 41E.2-139, de Achterhoek. — *TNO Rapport NITG 97-164-B*: 5 pp. (ongepubl.).
- Herngreen, G.F.W., 1999. Palynologisch onderzoek van verschillende boringen (1997-1998) blad 41E en F, de Achterhoek. — *TNO Rapport NITG 99-91-B*: 5 pp. (ongepubl.).
- Houten, C.J. & M.W. van den Berg, 1993. Geologische kaart van Nederland 1:50 000, Almelo Oost/Denekamp, bijl. profiel A. Haarlem (Rijks Geol. Dienst).
- Janssen, A.W., 1981. Molluskenfauna's en de stratigrafie van Oligocene afzettingen in een tweetal kleigroeven te Sint-Niklaas, provincie Oost-Vlaanderen, België. — *Ann. Kon. Oudh. Kring Land van Waas*, 84(2): 9-39.
- Janssen, A.W., 1984. Mollusken uit het Mioceen van Winterswijk-Miste. Een inventarisatie, met beschrijvingen en afbeeldingen van alle aangetroffen soorten. Amsterdam (KNNV, NGV, RGM), 451, 82 pls.
- Leroi, S., 1995. Stratigrafische correlaties in de Rupel Groep tussen België en het Nederrijn gebied in Duitsland, Leuven (Kath. Univ. Leuven). Deel I en II, 42 pp, div. bijlagen, 8 profielen (ongepubl.).
- Lissenberg, T., 1997. Biostratigrafische interpretatie van 20 kernmonsters afkomstig uit 6 boringen uit de omgeving van Winterswijk (kaartblad 41E). — *TNO Rapport NITG 97-166-B*: 6 pp. (ongepubl.).
- Meene, E.A. van de, 1996. Geologische kaart van Oost-Gelderland en Twente, top Tertiair, schaal 1:100 000. Haarlem (Rijks Geol. Dienst).
- NITG-TNO, 1998. Geologische atlas van de diepe ondergrond van Nederland, kaartblad X, Almelo-Winterswijk. Toelichting. Haarlem (TNO-NITG), 145 pp., 20 bijlagen.
- Schooten, S. van, 1995. Benthische assemblages (mollusken, foraminiferen) in boring 41E.3-219 't Klooster (Afzetting van Aalten, Mioceen van Oost-Nederland) met opmerkingen over de vroeg Neogene stratigrafie van het Noordzeebekken. Amsterdam (Vrije Univ.), 20 pp. (ongepubl.).
- Vandenberghe, N., 1978. Sedimentology of the Boom Clay (Rupelian) in Belgium. — *Verh. Kon. Acad. Wet. Lett. Sch. Kunst. België*, 40: (147), pp. 1-137.
- Vogel, E.F. de, 1970-1971. A study of marine Miocene faunas in the "Achterhoek" (Netherlands, province of Gelderland). — *Meded. Werkgr. Tert. Kwart. Geol.*, 7(2): 53-78; 7(4): 106-127 + 1-26.
- Witte, L., T. Lissenberg & H. Schuurman, 1992. Ostracods from the Albian/Cenomanian boundary in the Achterhoek area (eastern part of the Netherlands). — *Scripta Geol.*, 102: 33-84, 7 pls.
- Geologische Karte von Nordrhein-Westfalen, 1:100 000, Blatt C 4306 Recklinghausen, 1987. Krefeld (Geol. Landesamt Nordrhein-Westfalen).

De meeste ongepubliceerde artikelen en rapportages zijn aanwezig in de bibliotheek van het Nationaal Natuurhistorisch Museum/Naturalis te Leiden, NL.

Manuscript received 14 September 1998, revised version accepted 16 August 1999.