

32/000 200 200

Pyriet in afzettingen bij het Pompstation Vierlingsbeek

Een micromorfologisch en geochemisch onderzoek

E.B.A. Bisdom
A. Breeuwsma

**BIBLIOTHEEK
STARINGGEBOUW**

Rapport 56

STARING CENTRUM, Wageningen, 1990

3 JULI 1990



18n 521716*

REFERAAT

Bisdom, E.B.A. en A. Breeuwsma, 1990. Pyriet in afzettingen bij het Pompstation Vierlingsbeek; een micromorfologisch en geochemisch onderzoek. Wageningen, Staring Centrum. Rapport 56. 54 blz.; 7 afb.; 4 tab.

In verband met de nitraatproblematiek bij het pompstation Vierlingsbeek (Oost-Brabant) en de denitrificerende werking van pyriet, zijn hoeveelheden, wijze van voorkomen, eventuele omzettingsprodukten en aantasting van het mineraal micromorfologisch en geochemisch onderzocht. De belangrijkste conclusies zijn: (1) pyriet is in gewichtspercentages van minder dan 1% in de afzettingen aanwezig, (2) pyriet komt samen met en zonder organisch materiaal voor, (3) het is hoofdzakelijk ter plaatse in/op plantenresten, in poriën, op het oppervlak van zandkorrels en in klei/silt gevormd, (4) pyriet lost gewoonlijk op zonder aantoonbare bijprodukten.

Trefwoorden: pyriet, geologische formaties, geochemie, micromorfologie, elektronenmicroscopie, EDXRA, beeldanalyse.

ISSN 0924-3070

Aangekondigd als STIBOKA-rapport 2038.

©1990

STARING CENTRUM Instituut voor Onderzoek van het Landelijk Gebied
Postbus 125, 6700 AC Wageningen
Tel.: 08370-19100; telefax: 08370-24812; telex: 75230 VISI-NL

Het Staring Centrum is een voortzetting van: het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding (ICW), het Instituut voor Onderzoek van Bestrijdingsmiddelen, afd. Milieu (IOB), de Afd. Landschapsbouw van het Rijksinstituut voor Onderzoek in de Bos- en Landschapsbouw "De Dorschkamp" (LB), en de Stichting voor Bodemkartering (STIBOKA).

Het Staring Centrum aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm en op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van het Staring Centrum.

Project nr. 5771

INHOUD

	blz.
SAMENVATTING	7
1 INLEIDING	9
2 MONSTERS	11
3 BEPALINGSMETHODEN	13
3.1 Geochemische bepalingen	13
3.2 Micromorfologische bepalingen	13
4 RESULTATEN	15
4.1 Geochemisch onderzoek	15
4.2 Micromorfologisch onderzoek	16
4.2.1 Lichtmicroscopie van pyriet	16
4.2.2 Lichtmicroscopie van opaak	17
4.2.3 Submicroscopie van pyriet	18
4.2.4 Submicroscopie van opaak	19
4.2.5 Beeldanalyse van pyriet en opaak	21
5 DISCUSSIE	23
5.1 Hoeveelheid pyriet	23
5.2 Vorming en afbraak van pyriet	24
5.3 Een eventueel opaak restprodukt van pyriethoudende plantenresten	24
5.4 Wijze van voorkomen van pyriet	25
5.5 Beschikbaarheid van pyriet	26
LITERATUUR	27
TABELLEN	
1 Onderzochte monsters	11
2 Chemische analysegegevens	15
3 Met de Quantimet 970 bepaalde oppervlaktepercentages van pyriet en opaak. Berekende gewichtspercentages	22
4 Vergelijking van de pyrietgehalten via chemisch en micromorfologisch onderzoek	23
FIGUREN	
1 Elektronenmicroscopische opnamen van gepyritiseerde plantenresten in de Nuenen Groep	29
2 Kleine pyrietkristalletjes in een kleilaagje van de Fijne Veghel Formatie	30
3 Gepyritiseerde plantenrest en pyriet in poriën en op zandkorrels (Formatie van Breda)	31
4 Opaken tussen zandkorrels van de Fijne Veghel Formatie	32
5 Pyriet en opaak in de Formatie van Breda	33-35
6 FeS ₂ (pyriet) en FeS in de Kiezeloëliet Formatie	36-37
7 Pyrietkristalletjes en fosfor-ceriumhoudende kristal- letjes in de Formatie van Breda	38-40

AANHANGSELS

1	Korte beschrijving van de slijpplatten (E.B.A. Bisdom)	43
2	Omrekening van oppervlakte- naar gewichtspercentages (A. Breeuwsma en O.F. Schoumans)	49

SAMENVATTING

Pyriet speelt een belangrijke rol in de nitraatproblematiek omdat het denitrificerend werkt en op verschillende plaatsen in de bodem en de diepere ondergrond voorkomt. Het wel of niet aanwezig zijn van pyriet, in afzettingen bij het pompstation Vierlingsbeek, is daarom van belang voor de Waterleidingmaatschappij Oost-Brabant. Deze maatschappij verstreekte een opdracht aan de Rijks Geologische Dienst waarvoor, als deelopdracht, geochemisch en micromorfologisch onderzoek door het Staring Centrum is uitgevoerd.

Eerst zijn 20 monsters uit boorkernen geochemisch onderzocht op hoeveelheden pyriet. Vervolgens werden 9 van deze monsters geselecteerd voor micromorfologisch onderzoek van pyriet en zijn gegevens verzameld over hoeveelheid, vorming en afbraak, wijze van voorkomen, beschikbaarheid en eventuele restprodukten van het mineraal. De onderzochte monsters zijn afkomstig uit de Nuenen Groep, Formatie van Veghel, Kiezeloëliet Formatie en Formatie van Breda. De maximale diepte van deze monsters is 26,75 m - mv. (Formatie van Breda).

In alle geologische formaties is de hoeveelheid pyriet geringer dan 1 gewichtsprocent. De chemische methode geeft een overschatting en de micromorfologische methode een onderschatting van de hoeveelheid pyriet.

De pyriet neemt met de diepte toe. In oppervlakkige en goed doorstroomde laagpakketten is pyriet soms nog in minder poreuze en beschermend werkende klei- en veenlaagjes aan te treffen. De meeste pyriet is in een continentaal milieu ontstaan en komt in/op plantenresten, in poriën, op het oppervlak van zandkorrels en in klei/silt voor.

De meeste pyriet is als kleine framboïden met diameters $< 30 \mu\text{m}$ aangetroffen. Deze framboïden bestaan weer uit een groot aantal kleine pyrietkristalletjes. Als de framboïden aaneengroeien resulteert dit in grotere vormen die gelaagd en massief kunnen zijn. Octaëdrische en kubische pyriet treedt veel minder op.

In oppervlakkige afzettingen (Nuenen Groep en Fijne Veghel Formatie) is pyriet vrijwel uitsluitend in, of op de grens van, minder doorlatende veen- en kleilaagjes aanwezig. Aangenomen wordt dat pyriet oorspronkelijk in grotere hoeveelheden en wijder verbreid in het sediment aanwezig is geweest maar onder invloed van nitraat in een reducerend milieu is afgebroken. In de Kiezeloëliet Formatie en de Formatie van Breda komt pyriet ook in poriën en op de oppervlakte van zandkorrels voor. In de laatste twee formaties is pyriet veel meer beschikbaar voor denitrificatie en komt nog veel van de oorspronkelijke pyriet voor. Ook in de oudste en diepste formatie wordt pyriet onder reducerende omstandigheden afgebroken.

Bij afbraak van pyriet lijkt het mineraal hooguit enkele gewichtsprocenten te verliezen voor het geheel oplost. Een mogelijk bijprodukt van de omzetting van pyriet, oorspronkelijk aanwezig in/op of in de omgeving van plantenresten, zijn opaken. Deze reflecteren in opvallend licht en bestaan uit plantenresten die geen of maximaal 4 gewichtsprocenten zwavel en meestal geen of heel weinig ijzer bevatten. De opaken komen vooral op goed doorlatende plaatsen voor en het meest in oppervlakkige lagen. Indien er een relatie opaak-pyriet bestaat, zou opaak kunnen aanduiden dat pyriet oorspronkelijk in een afzetting aanwezig is geweest.

1 INLEIDING

Op 7 september 1988 verstrekte de Rijks Geologische Dienst (RGD) een opdracht voor geochemisch en micromorfologisch onderzoek van monsters uit boorkernen aan de Stichting voor Bodemkartering (STIBOKA; sedert 1989 deel uitmakend van het Staring Centrum). Een aanvullende opdracht voor chemisch elektronenmicroscopisch onderzoek is op 23 november 1988 gegeven. Deze opdrachten vormen een onderdeel van een opdracht die door de RGD voor de Waterleidingmaatschappij Oost-Brabant (WOB) wordt uitgevoerd in verband met de nitraatproblematiek bij het pompstation Vierlingsbeek. In deze problematiek speelt pyriet een prominente rol omdat het nitraat omzet in stikstof en N_2O .

Tijdens vooroverleg tussen RGD, WOB, KIWA en STIBOKA is besloten om eerst 20 monsters uit boorkernen geochemisch te onderzoeken. Naast het pyrietgehalte zijn de pH en gehalten aan organische stof en $CaCO_3$ in deze monsters bepaald.

Op basis van de pyrietgegevens van bovengenoemde monsters zijn 9 ongestoorde monsters uit de tegenhelften van de boorkernen gehaald en verwerkt tot slijpplaten voor micromorfologisch onderzoek van de pyriet. Ook zijn 2 monsters, van een ouder onderzoek en van een grotere diepte (Pool et al., 1987), gebruikt.

Het micromorfologische gedeelte van dit onderzoek heeft zich geconcentreerd op de wijze van voorkomen van pyriet en haar omzettingsprodukten (lichtmicroscopie), op de bepaling van zowel geringe als grotere hoeveelheden pyriet (beeldanalyse), en op de aantasting van het mineraal (elektronenmicroscopie).

De figuren zijn bij elkaar vanaf blz. 29 opgenomen.

Aan dit rapport zijn 2 aanhangsels toegevoegd. Aanhangsel 1 geeft een korte beschrijving van de slijpplaten; aanhangsel 2 geeft een omrekening van oppervlakte- naar gewichtspercentages.

2 MONSTERS

De meeste monsters zijn afkomstig uit boringen voor nieuwe putten (NP 37 en NP 38) bij het pompstation Vierlingsbeek, Oost-Brabant. De monsters zijn samen met de RGD-WOB-KIWA, door het STARING CENTRUM verzameld uit door Grondmechanica Delft genomen grondmonsters (Van den Enden et al., 1988). 20 monsters uit deze boringen zijn gebruikt voor geochemisch en 11 voor micromorfologisch onderzoek (tabel 1). Daarnaast zijn voor laatstgenoemd onderzoek nog twee monsters (RGD 52B-262 en RGD 52B-261) uit een vroegere boring onderzocht.

Tabel 1 Onderzochte monsters.

Boring nr.	Geologische formatie	Klei- of veenbandjes in slijpplaat*	Diepte bemonsterde laag (cm)	
			Geochem. ond.	Micromorf. ond.
NP37-3	Nuenen	-	2,27- 2,43	-
-5		-	3,98- 4,03	-
-5	Veghel	n.a.	4,33- 4,51	4,40- 4,50
-6/7		Klei	5,45- 5,69	5,56- 5,66
		n.a.		7,00- 7,10
		n.a.		7,48- 7,58
-8/9		-	7,56- 7,74	-
-15		n.a.	8,63- 8,71	8,59- 8,74
-15		Veen/klei	8,80- 9,00	8,77- 8,92
-16	Kiezeloëliet	Klei	14,88-14,95	14,87-15,02
-17		-	18,45-18,55	-
-18		Klei	21,62-21,73	21,56-21,71
-19		-	24,50-24,57	-
-20	Breda	-	27,49-27,59	-
-21		-	31,18-31,25	-
-22		-	34,87-34,94	-
NP38-12	Nuenen	Veen	3,24- 3,36	3,25- 3,35
-12		-	3,45- 3,63	-
-12		-	3,84- 4,01	-
-13		-	4,48- 4,67	-
-13		-	4,85- 5,04	-
52B-262	Breda	Veen	25,20-25,40	25,20-25,40
52B-261		Klei	26,35-26,75	26,35-26,75

* - niet onderzocht

n.a. niet aanwezig

Negen van de elf micromorfologisch bestudeerde monsters van tabel 1 zijn uitgezocht op basis van geochemische pyrietbepalingen. Slechts twee micromorfologisch monsters, van 7,00-7,10 m en 7,48-7,58 m diepte, kunnen niet vergeleken worden met een geochemische bepaling omdat deze ontbreekt (tabel 3). Het grootste aantal slijpplaten (7) is afkomstig van ondiepe

gedeelten boven de 9 m - mv. (NP 37 en NP 38), terwijl 4 slijpplaten van dieper gelegen strata, onder de 14 m - mv. (NP 37 en RGD), afkomstig zijn.

De geologische beschrijving van de in tabel 1 aangegeven Nuenen Groep (jongste), Formatie van Veghel, Kiezeloöliet Formatie en Formatie van Breda (oudste), is in het RGD rapport van de boringen bij Vierlingsbeek gegeven. De micromorfologische beschrijving van in slijpplaten aanwezige pyriet is in aanhangsel 1 te vinden. Hierin zijn ook submicroscopische (elektronenmicroscopische) waarnemingen opgenomen.

3 BEPALINGSMETHODEN

3.1 Geochemische bepalingen

De pH is gemeten in een 1:5 (v/v) suspensie van grond in 1 mol/l KCl. Het organische-stofgehalte werd bepaald uit het gewichtsverlies dat optreedt bij verhitting van het stoofdrome monster bij 500 °C. Daarbij werd geen correctie toegepast voor eventuele verliezen door dehydratatie van de minerale delen (ca. 0,06% per % < 2 µm).

Het CaCO₃-gehalte is bepaald met de Scheibler methode. Hierbij wordt de hoeveelheid CO₂ die bij toevoeging van zoutzuur aan het monster ontstaat, volumetrisch gemeten.

Het pyrietgehalte is bepaald door het monster te behandelen met een mengsel van geconcentreerd waterstoffluoride en zoutzuur. Daarin lossen alle ijzerhoudende mineralen op, behalve pyriet. Het residu werd vervolgens gegloeid bij 800 °C en opgelost in zoutzuur. Het pyriet (FeS₂) -gehalte werd berekend uit het ijzergehalte van de zoutoplossing. In de monsters uit de vroegere boring werd ook het FeS gehalte bepaald uit het verschil tussen totaal-S en pyriet-S.

In verband met het belang van geringe hoeveelheden pyriet voor de denitrificatie in de ondergrond is nagegaan wat de nauwkeurigheid van de bepaling is. Met behulp van de spreidingsbreedte van duplobepalingen werd een standaardafwijking van 0,005% (50 mg per kg) berekend. In verband hiermee zijn de cijfers afgerond tot op 0,01%.

De pyrietbepaling werd ook toegepast op de boorvloeistof om na te gaan of verontreinigingen van de monsters met deze vloeistof invloed zou kunnen hebben op de resultaten. Dit bleek niet het geval te zijn.

3.2 Micromorfologische bepalingen

Bij het micromorfologische onderzoek van de boormonsters zijn drie analysemethoden gebruikt: lichtmicroscopie, beeldanalyse en submicroscopie. Deze maken gebruik van verticaal georiënteerde slijpplaten van de boormonsters. De slijpplaten zijn hoofdzakelijk volgens een door Jongerius en Heintzberger (1975) geïntroduceerde procedure vervaardigd. Het monster wordt eerst gedroogd en vervolgens met plastic (polyesterhars) verhard. Hierna ondergaat de grond een bewerkingsprocedure die eindigt met een 25 µm dikke doorsnede die het licht van een microscoop door laat.

Met de lichtmicroscoop kunnen slijpplaten zowel in doornvallend als in opvallend licht bestudeerd worden. Met doornvallend licht worden gewoonlijk de meeste waarnemingen en determinaties van samenstellende componenten gedaan, maar niet van pyriet. Dit

mineraal laat geen licht door en wordt daarom in opvallend licht bestudeerd.

Met de combinatie beeldanalyse-lichtmicroscopie kan onder andere de hoeveelheid pyriet in een slijpplaat gemeten worden. Dit gebeurt in aaneengeregen meetveldjes (maximaal 64 in dit onderzoek) die een verticale baan op de slijpplaat en in het boormonster vertegenwoordigen. De beeldanalysator (Quantimet 970) meet ook aantal, oppervlak, omtrek en verschillende doorsneden van individuele of clusters mineralen bij verschillende vergrotingen. Voor grote vergrotingen, of als de vereiste beeldkwaliteit niet haalbaar is met een lichtmicroscop, wordt de elektronenmicroscop in combinatie met de beeldanalysator ingeschakeld. Dit was echter niet nodig voor het beeldanalyse gedeelte van deze studie.

De elektronenmicroscop is wel gebruikt om de morfologie van fijnere pyrietdeeltjes in de slijpplaten te bestuderen en voor de droge microchemische analyse van pyriet en haar omzettingsprodukten. Met een elektronenmicroscop (raster-) kan, beginnend met vergrotingen van 10x en tot meer dan 10.000x, de morfologie van pyriet zichtbaar gemaakt worden. Dit gebeurde in Haarlem bij de RGD en bij Philips in Eindhoven. Hierbij is ook gelet op de veranderingen in de morfologie van pyriet als deze omgezet of afgebroken wordt.

De droge microchemische analyse, van pyriet en omzettingsprodukten hiervan, is met een elektronenmicroscop bij Philips gedaan. Hiervoor is een nieuw ontwikkeld HAX-systeem gebruikt gebaseerd op EDXRA (Energy Dispersive X-Ray Analysis). Hiermee kunnen, vanaf het element natrium, zwaardere chemische elementen kwantitatief d.m.v. puntanalyses, in een slijpplaat bepaald worden. Hierbij wordt minimaal 10^{-18} g grond aan het oppervlak van een slijpplaat gemeten.

4 RESULTATEN

4.1 Geochemisch onderzoek

Uit het geochemisch onderzoek (tabel 2) blijkt dat in de Formatie van Nuenen weinig pyriet (< 0,02%) aanwezig is, behalve in een monster met vrij veel organische stof (NP 38, 3,24-3,36 m - mv.). Micromorfologisch onderzoek geeft aan dat het in hoofdzaak gepyritiseerde plantenresten in een veenlaagje zijn.

In de Formatie van Veghel (tabel 2) is het pyrietgehalte iets hoger (0,01-0,06%). Volgens het micromorfologisch onderzoek hangen de hogere gehalten (> 0,05%) samen met een weinig doorlatend kleibandje (NP 37, 5,45-5,69 m - mv.) en klei met organische stof in poriën (NP, 37, 8,80-9,00 m - mv.). Er zijn echter ook kleibandjes die geen pyriet bevatten in slijpplaten van de Formatie van Veghel.

Tabel 2 Chemische analysegegevens.

Boring nr.	Geol. formatie	Diepte (m - mv.)	Klei- of veenbandjes ¹⁾	pH-KCl	CaCO ₃	Org. stof (FeS ₂) (massaprocenten)	Pyriet
NP37-3	Nuenen	2.27 - 2.43	-	4.47	<0.3	1.0	0.01
-5		3.98 - 4.03	-	4.34	<0.3	1.1	0.02
-5	Veghel	4.33 - 4.51	n.a.	4.44	<0.3	1.1	0.01
-6/7		5.45 - 5.69	Klei	4.48	<0.3	0.5	0.05
-8/9		7.56 - 7.74	n.a.	4.76	<0.3	0.4	0.04
-15		8.63 - 8.71	n.a.	4.23	<0.3	0.4	0.03
-15		8.80 - 9.00	Veen/klei	4.25	<0.3	0.8	0.06
-16	Kiezel-oöliet	14.88 - 14.95	Klei	4.27	<0.3	0.5	0.02
-17		18.45 - 18.55	-	4.34	<0.3	0.3	0.01
-18		21.62 - 21.73	Klei	4.06	<0.3	0.2	0.07
-19		24.50 - 24.57	-	5.83	<0.3	0.4	0.02
-20	Breda	27.49 - 27.57	-	5.48	0.35	1.2	0.11
-21		31.18 - 31.25	-	5.50	0.53	0.5	0.05
-22		34.87 - 34.94	-	5.46	6.67	3.8	0.28
NP38-12	Nuenen	3.24 - 3.36	Veen	3.95	<0.3	8.8	0.15
-12		3.45 - 3.63	-	3.91	<0.3	1.7	0.01
-12		3.84 - 4.01	-	4.23	<0.3	0.6	0.01
-13		4.48 - 4.67	-	4.48	<0.3	0.1	0.0
-13		4.85 - 5.04	-	4.25	<0.3	0.2	0.0
52B-262	Breda	25.20 - 25.40	Veen			(0.9)0.7 ²⁾	
52B-261		26.35 - 26.75	Klei			(1.6)0.9 ²⁾	

1) - : micromorfologisch niet onderzocht

n.a. : niet aanwezig

2) : exclusief FeS

Het bovenste monster van de Kiezeloöliet Formatie (NP 37, 14,88-14,95 m - mv.) heeft een pyrietgehalte van 0,02%. Deze pyriet komt in een kleilaagje en in de klei van poriën voor (aanhangsel 1). Een dieper voorkomende laag van deze formatie (NP 37, 21,62-21,73 m - mv.) heeft een gehalte aan pyriet van 0,07%. Hier treedt de pyriet in de hele slijpplaat op, ook vrij in de poriën en op de oppervlakte van zandkorrels buiten een klei omgeving.

De hoogste gehalten (tot 0,28%) zijn in de Formatie van Breda gevonden. Micromorfologische informatie (aanhangsel 1) van de twee slijpplaten (52B-261-262) uit een eerder onderzoek, waarbij nog hogere pyrietgehalten werden gevonden (0,9-1,6%) geeft aan dat de pyriet overal kan optreden en dat afbraak van pyriet ook in deze formatie plaats vindt.

4.2 Micromorfologisch onderzoek

4.2.1 Lichtmicroscopie van pyriet

De slijpplaten zijn met een petrografische lichtmicroscopie zowel in doorvallend als in opvallend licht bestudeerd. Doorvallend licht wordt gewoonlijk het meest gebruikt, omdat dan doorzichtige mineralen (kwarts, veldspaat, mica's, etc.) herkend en gedetermineerd kunnen worden. Voor pyriet is echter opvallend licht nodig omdat dit mineraal geen licht door laat. Dan vertoont pyriet een karakteristieke goudkleurige reflectie die ook nog waarneembaar is bij kleine deeltjes. Voor zeer kleine pyrietdeeltjes moet een elektronenmicroscopie gebruikt worden.

In aanhangsel 1 is pyriet, zoals deze in de bestudeerde slijpplaten voorkomt, beschreven. Hieronder volgen een aantal van de belangrijkste resultaten.

De pyriet is meestal aanwezig in samengestelde eenheden of accumulaties met een variabele omvang en vorm. Vaak hebben deze eenheden, die op zichzelf meestal klein zijn met een diameter $< 30 \mu\text{m}$, de vorm van een framboos (zgn. framboïde pyriet). De morfologie van individuele pyrietkristalletjes in een framboïde is meestal pas waarneembaar met een elektronenmicroscopie. Vaak hebben deze pyrietkristalletjes een diameter $< 5 \mu\text{m}$. Framboïde pyriet komt in alle formaties voor.

Een andere vorm van pyriet is op 3,25 - 3,35 m diepte (Nuenei Formatie) aangetroffen in door pyriet ingekapselde plantenresten van een veenlaagje (boring NP 38). Dit is een gelaagde massievere pyriet zonder herkenbare individuele kristallen (Fig. 1). Ook deze pyriet is echter vaak door samengroeiing van framboïde vormen van het mineraal ontstaan. Hierbij kan de specifieke bolletjesvorm van de pyriet blijkbaar verloren gaan. Octaëdrische en kubische pyriet (Pool et al., 1987) is op diepten van 25-26 m (tabel 3) in de twee RGD monsters van de Formatie van Breda waargenomen.

Pyriet komt in de Nuenen Formatie van NP 38 en boven de negen meter diepte in boring NP 37 (Fijne Veghel Formatie) vooral in en op de grensvlakken van minder doorlatende veen- (humeuze bandjes) en kleilaagjes voor (fig. 2). Echter nauwelijks in de meer poreuze laagjes. Het meest markante voorbeeld hiervan is de overgebleven pyriet in het ondiepe (3,25-3,35 m - mv.) veenlaagje van boring NP38. In dit laagje zijn enkele plantenresten nog door pyriet ingekapseld, maar veel pyriet is waarschijnlijk reeds uit het veenlaagje verdwenen of gedeeltelijk omgezet.

In diepere monsters van NP 37, op 14-22 m - mv. in de Kiezeloöliet Formatie, is wel pyriet buiten klei- of humeuze (min of meer tegen aantasting beschermende) laagjes aanwezig. Dit op plantenresten, in poriën, en op de oppervlakte van zandkorrels. Op deze diepten neemt de hoeveelheid pyriet in het hele monster toe. Veel van de oorspronkelijke pyriet is echter al aangetast.

In RGD 52B-262 en RGD 52B-261, op diepten van 25.20-25.40 m (fig. 3) en 26,35-26,75 m (Formatie van Breda), is een groter gedeelte van de oorspronkelijke pyriet nog onaangetast. Gedeeltelijk omgezette pyriet is echter ook aanwezig. Pyriet is vooral op grotere plantenresten (RGD 52B-262) en op de oppervlakte van zandkorrels en in poriën (RGD 52B-261) afgezet. In de laatste slijpplaat vormt de pyriet soms zelfs bandjes die poriën opvullen en het oppervlak van begrenzend zandkorrels bedekken. Ook de wandjes van graafgangetjes kunnen in RGD 52B-261 met pyriet bedekt zijn.

Micromorfologische waarnemingen geven aan dat pyriet vooral ter plekke in veen-, klei- en zandlaagjes is ontstaan. Dit gebeurde in en op plantenresten, in en op de wanden van poriën, op het oppervlak van zandkorrels, en tussen en op silt- en kleideeltjes. Er is nauwelijks sprake van aangevoerde pyriet.

4.2.2 Lichtmicroscopie van opaak

Alle slijpplaten van NP37, NP 38 en de twee RGD monsters vertonen zwarte, in opvallend licht reflecterende en in doorvallend licht opake eenheden (fig. 4). In dit rapport zijn deze eenheden opaken genoemd.

Deze opaken kunnen een maximale dwarsdoorsnede van enkele millimeters hebben en uiteenlopende vormen aannemen. Opvallend is, dat vooral de plaatsen waarop opaken in ondiepere geologische lagen aangetroffen worden - in tegenstelling tot die van pyriet - poreus lijken te zijn.

De grootste hoeveelheid opaak wordt in de ondiepere geologische lagen aangetroffen, terwijl pyriet vooral in de diepere strata (tabel 3) aanwezig is. De tabel geeft aan dat 4 monsters van NP 37 alleen opaak bevatten en de andere monsters opaak en pyriet.

De grootste opaken zijn vaak met plantenresten gelieerd. In RGD 52B-262, op 25,20-25,40 m diepte in de Formatie van Breda, is te zien dat grotere plantenresten zich in opaak kunnen omzetten en dat kleine pyrietjes op en in plantenresten aangetroffen worden (fig. 5). In deze formatie zijn ook pyrietaccumulaties aanwezig waarvan alleen de randen door opaak bezet zijn. Ook komen verschillend georiënteerde fijnere bandjes opaak in dikkere bandjes pyriet voor. Eilandjes opaak zijn in pyrietaccumulaties aangetroffen en vlekjes opaak in pyriet binnenin poriën en op de oppervlakte van zandkorrels. De zwarte vlekjes kunnen aaneengeregen worden tot dunne bandjes opaak. Er wordt daarom verondersteld dat de pyriet, die wordt afgebroken, een rol kan spelen bij de overgang van plantenresten in opaken.

In ondiepere delen van de boring NP 37 (Fijne Veghel Formatie) is de relatie plantenrest-omzettende pyriet-opaak vaak moeilijk vast te stellen. Er is meestal uitsluitend opaak over en maar enkele grotere opaken tonen hier en daar een plekje waarin plantendelen herkenbaar zijn en soms wat framboide pyriet.

Het ontstaan van opaak lijkt in hoofdzaak ter plekke te gebeuren.

4.2.3 Submicroscopie van pyriet

Het elektronenmicroscopisch onderzoek kan opgesplitst worden in een morfologisch en een microchemisch gedeelte. De eerste onderzoeken, die bij de RGD plaats vonden, waren morfologisch. Hier zijn de habitus van pyrietkristallen, voor en gedurende de verwerking, in 4 slijpplaten bestudeerd: een van de Nuenen Formatie (NP 38 op 3,25-3,35 m - mv.) (fig. 1), twee van de Fijne Veghel Formatie (NP 37 op 4,40-4,50 m - mv. en 5,56-5,66 m - mv.) (fig. 2), en een van de Formatie van Breda (RGD 52B-262 op 25,20-25,40 m - mv.) (fig. 3). Later volgde bij Philips in Eindhoven, samen met microchemisch onderzoek (fig. 5), morfologisch onderzoek van pyriet in de Kiezeloëliet Formatie (NP37 op 21,56-21,71 m - mv.) en in de Formatie van Breda (RGD 52B-261 op 26,35-26,75 m - mv.).

Kleinere pyrietkristallen zijn vaak pas goed zichtbaar bij een vergroting van meer dan 500 x en soms zelfs pas bij 10.000 x of meer. Het gaat dan vaak om heel kleine pyrietkristalletjes in framboïden. Ook kunnen, bij lagere vergrotingen massief ogende pyrieten, bij hogere vergrotingen opgebouwd blijken te zijn uit kleinere kristalletjes. Octaëdrische en kubische pyrietkristalletjes zijn vooral op grotere diepte in de twee RGD monsters uit de Formatie van Breda aangetroffen. Echter, ook in deze slijpplaten komen vaak minder fraai gekristalliseerde pyrieten voor.

Naast de morfologie van verse pyriet is ook die van zich omzettende of aangetaste pyriet bekeken. Grotere kristallen, in het veenlaagje van NP 38 (Nuenen Formatie), vertonen kleine barstjes en afbrokkeling. Droog microchemisch onderzoek van dit

type pyriet, met EDXRA bij Philips in Eindhoven, toonde aan dat slechts enkele gewichtsprocenten pyriet tijdens deze verwerking zijn opgelost. Andere pyrieten, van boring NP 37 (Kiezeloëliet Formatie) op 21,56-21,71 m - mv. en de twee RGD monsters (Formatie van Breda) op 25-27 m diepte (tabel 1), vertonen hetzelfde beeld.

Tot op dit moment zijn geen omgezette pyrieten gemeten waarvan 10 tot 90 gewichtsprocenten verloren zijn gegaan. Het enige mogelijke restprodukt zijn de opaken, waarin maximaal enkele gewichtsprocenten zwavel en vaak geen of uiterst weinig ijzer gemeten wordt (fig. 5g). Deze meetgegevens tonen aan dat pyriet waarschijnlijk direct oplost zonder de vorming van tussenprodukten.

Tenslotte moet nog melding gemaakt worden van twee op zichzelf staande droog chemische EDXRA meetresultaten. Een van het voorkomen van FeS samen met FeS_2 (pyriet) en de ander van de elementen P en Ce (cerium) in zeer kleine kristalletjes die naast eveneens uiterst kleine pyrietkristalletjes gesitueerd waren.

Tijdens het laatste EDXRA onderzoek van pyriet en in de Kiezeloëliet Formatie van NP 37 (21,56-21,71 m - mv.), is pyriet in de vaak voorkomende framboïde vorm aangetroffen. Deze had atoompercentages van 1 : 2 voor ijzer en zwavel. Aan de randen van de framboïden was echter een grijze stof aanwezig met een onduidelijkere kristallisatievorm (fig. 6). Het atoompercentage van deze grijze stof is 1 : 1 (ijzer : zwavel), overeenkomend met FeS. Deze is waarschijnlijk primair ontstaan en een voorloper van de pyriet in de framboïden.

Op dezelfde dag zijn in de Formatie van Breda, in RGD 52B-262 en op 25.20-25.40 m - mv., hele kleine kristalletjes droog chemisch gemeten (fig. 7). Deze lagen naast eveneens zeer kleine pyrietkristalletjes en waren ingebed in klei. Naast chemische elementen uit het nog fijnere omringende kleimateriaal is fosfor(P) en cerium (Ce) in de kristalletjes gemeten. Monaziet (CePO_4) is het meest bekende kristallijne ceriumfosfaat. Zowel de eventuele monazietkristalletjes als de pyriet zijn waarschijnlijk ter plaatse ontstaan.

4.2.4 Submicroscopie van opak

Met de elektronenmicroscopie van de RGD is de habitus van opaken in 4 slijpplaten bestudeerd: in de Nuenen Formatie (NP 38 op 3,25-3,35 m - mv.), in de Fijne Veghel Formatie (NP 37 op 4,40-4,50 m en 5,56-5,66 m diepte; zie fig. 4) en in de Formatie van Breda (RGD 52B-262 op 25,20-25,40 m - mv.; zie tabel 3). Later is de morfologie van opaken, aanwezig in de Kiezeloëliet Formatie (NP 37 op 21,56-21,71 m - mv.) en in de Formatie van Breda (RGD 52B-261 op 26,35- 26,75 m - mv.) nog bij Philips bekeken.

Opvallend is, dat opaken nauwelijks een signaal afgeven als deze

met een primaire elektronenbundel geëxciteerd worden en backscattered elektronen dienen voor de detectie. Dit betekent dat vooral een donker beeld ontstaat en dat de opaken hoofdzakelijk uit organische stof(fen) bestaan. Dit omdat met backscattered elektronen alleen zwaardere elementen gedetecteerd kunnen worden. Chemische EDXRA metingen hebben eveneens aangegeven dat opaken hoofdzakelijk uit organische stof(fen) bestaan.

Droog microchemisch EDXRA-onderzoek van opaak heeft in 5 slijpplaten plaats gevonden: in de Nuenen Formatie (NP 38 op 3,25-3,35 m - mv.), de Fijne Veghel Formatie (NP 37 op 4,40-4,50 m - mv.), de Kiezeloöliet Formatie (NP 37 op 21,56-21,71 m - mv.), en in de Formatie van Breda (RGD 52B- 262 op 25,20-25,40 m - mv. en RGD 52B-261 op 26,35-26,75 m - mv.) (fig. 5g).

Kwantitatieve EDXRA (HAX) toonde aan dat er maximaal ongeveer 4 gew.% S, tot geen S, in opaken aanwezig is. Fe is meestal afwezig, of in zeer geringe hoeveelheden aangetoond. Van resterende primaire FeS of FeS₂ verbindingen kan dan ook geen sprake zijn in opaken. Er zijn dus geen verborgen, lichtmicroscopisch niet waarneembare, pyrietreserves in de droog chemisch gemeten opaken van slijpplaten opgeslagen.

Ook geringe hoeveelheden andere elementen, zoals Al, Si, K, Ca en Ti kunnen in opaken aanwezig zijn. Als de gemeten hoeveelheden van deze elementen aanzienlijk oplopen is het waarschijnlijk dat de opaak erg dun is. Dan wordt, door de organische stof heen, ook het microchemische signaal van onderliggend zand, silt of klei gemeten. Een serie EDXRA metingen brengt in deze gevallen aan het licht met welke situatie men te maken heeft.

Op basis van de kwantitatieve EDXRA gegevens van opaak, waarbij zowel de mogelijke samenstellende verbindingen (van in opaak aanwezige zwaardere elementen) als de hoeveelheid opgeloste stof (uit verwerende pyriet) bepaald zijn, kan gesteld worden dat opaak geen onderdeel van de reactiereeks van oplossende pyriet vormt. Wel wordt aangenomen dat verbindingen van primaire omzettende pyriet, aanwezig op en in plantenresten, hiermee een reactie kunnen aangaan. Uit de plantenresten zou dan opaak gevormd kunnen worden. Hoe deze reactie verloopt en in hoeverre omzettende pyriet hierbij een rol speelt, is niet bekend. Andere ontstaansmogelijkheden van opaken zijn daarom zeer wel mogelijk.

De in de lichtmicroscop reflecterende opaken zijn tot nu toe uitsluitend in slijpplaten van de boringen bij Vierlingsbeek waargenomen. Opaak is geen houtskool en is tot nu toe niet in bodems aangetroffen. Omdat pyriet door meststoffen wordt omgezet, en deze omzetting waarschijnlijk weer van enige invloed is op het ontstaan van opaak uit plantenresten, hebben deze stoffen indirect een mogelijke invloed op het ontstaan van opaken.

4.2.5 Beeldanalyse van pyriet en opaak

Met beeldanalyse-apparatuur (Quantimet 970) zijn de oppervlaktepercentages van pyriet en opaak in alle slijpplaten gemeten. Dit gebeurde via een lichtmicroscopie waarin opvallend licht, of een combinatie van opvallend en doorvallend licht, gebruikt werd. De resultaten van 9 monsters (NP 37 en NP 38) en twee oudere RGD monsters (52 B) zijn in tabel 3 gegeven.

De gemeten oppervlaktepercentages (tabel 3) van pyriet zijn vervolgens gebruikt voor het berekenen van gewichtspercentages. Hiervoor zijn een aantal stappen nodig die ook enkele aannamen inhouden. Een rekenvoorbeeld:

Met de beeldanalysator is bepaald dat het oppervlakpercentage pyriet, in het gemeten gedeelte van de slijpplaat, 0,533% is en het totale gemeten oppervlak 1,425 mm².

$$\text{opp. \% pyr.} \times \text{totale gem. opp.} \times 1/100 = \text{opp. pyr.} = 0,0076 \text{ mm}^2 \quad (1)$$

Dan wordt 0,0076 mm² van dit oppervlak ingenomen door pyriet. Dit oppervlak wordt gelijk gesteld aan dat van een cirkel (2): A

$$0,0076 \text{ mm}^2 = \pi r^2 \quad (2)$$

De waarde van de straal van de cirkel wordt dan 0,049 mm. Deze is van belang omdat de pyriet in werkelijkheid meestal de bolvorm (framboide) aanneemt en veel minder de andere, ook in aanhangsel 1 beschreven, vormen. Het volume van deze bol is:

$$4/3\pi r^3 = 4/3 \times 3,14 \times 0,049^3 = 0,00049 \text{ mm}^3 \quad (3)$$

Om voor dit pyrietvolume een gewichtswaarde te verkrijgen, moet de pyriet een aangenomen soortelijk gewicht toegekend worden. Dit soortelijk gewicht is lager dan van massieve pyriet omdat de framboïden microporeus zijn. Dit soortelijk gewicht is op 4 g/cm³ of 4 mg/mm³ gesteld. Het gewicht van de pyriet wordt dan:

$$0,00049 \times 4 = 0,00198 \text{ mg} \quad (4)$$

Vervolgens wordt het gewicht van het bodemmateriaal, in het totale op de slijpplaat gemeten oppervlak van 1,425 mm² bepaald. Hierbij is de porositeit op 30% van het gemeten oppervlak gesteld. Dan is het door bodemmateriaal ingenomen oppervlak $70 \times 1,425 \times 1/100 = 0,9975 \text{ mm}^2$ (5).

$$\text{opp. \% grond} \times \text{totale gem. opp.} \times 1/100 = \text{opp. grond} \quad (5)$$

Dit oppervlak wordt gelijk gesteld aan een equivalent cirkeloppervlak.

$$0,9975 \text{ mm}^2 = \pi r^2 \quad (6)$$

De straal van de cirkel wordt dan 0,564 mm. Deze straal kan weer gebruikt worden voor de berekening van het volume van de grond (7). Hierbij is geen rekening gehouden met onregelmatige vormen van de zandkorrels.

$$4/3\pi r^3 = 4/3 \times 3,14 \times 0,564 = 0,7496 \text{ mm}^3 \quad (7)$$

Tabel 3 Met de Quantimet 970 bepaalde oppervlaktepercentages van pyriet en opaak. Berekende gewichtspercentages.

Boring nr.	Geol. Formatie	Diepte (m - mv.)	Pyriet (opp.%)	Pyriet (gew.%)	Opaak (opp.%)	Opaak (gew.%)
NP 37	Veghel	4,40-4,50	-	-	3,690	0,97
NP 37	Veghel	5,56-5,66	0,005	0,00010	2,180	0,44
NP 37	Veghel	7,00-7,10	-	-	0,607	0,06
NP 37	Veghel	7,48-7,58	-	-	0,253	0,02
NP 37	Veghel	8,77-8,92	0,004	0,00008	4,410	1,26
NP 37	Kiezel-oöliet	14,87-15,02	0,024	0,00100	0,219	0,01
NP 37	Kiezel-oöliet	21,56-21,71	0,037	0,00200	0,330	0,03
NP 38	Nuenen	3,25-3,35	0,186	0,02200	1,550	0,26
RGD						
52B-262	Breda	25,20-25,40	0,149	0,01571	0,730	0,09
RGD						
52B-261	Breda	26,35-26,75	0,600	0,12795	0,788	0,10

Het soortelijk gewicht van het overwegend zandige materiaal is op $2,5 \text{ mg/mm}^3$ gesteld. Het gewicht van het bodemmateriaal wordt dan (8):

$$0,7496 \times 2,5 = 1,8739 \text{ mg} \quad (8)$$

Het gewichtspercentage van de pyriet (9) is:

$$\text{gew. pyriet} : \text{gew. zandgrond} \times 100 =$$

$$0,00198/1,8739 \times 100 =$$

$$0,106 \text{ gew.} \% \text{ pyriet} \quad (9)$$

5 DISCUSSIE

5.1 Hoeveelheid pyriet

Er is een aanzienlijk verschil tussen het pyrietgehalte volgens de chemische (tabel 2) en de micromorfologische (tabel 3) methode die in tabel 4 is samengevat. Volgens de chemische methode worden veel hogere getallen gevonden (meestal faktor 10-60 hoger). Dit grote verschil kan verschillende oorzaken hebben:

- 1 De chemische methode geeft een overschatting. Dit zou bijvoorbeeld op kunnen treden door de aanwezigheid van FeS dat als FeS₂ wordt meebepaald. Dit mineraal komt bijvoorbeeld in de Kiezeloöliet Formatie voor (fig. 6). In de jongere formaties is dit echter minder waarschijnlijk omdat FeS in een geaëreerd milieu niet erg stabiel is. Een ander mogelijkheid zou zijn dat Fe-houdende mineralen anders dan pyriet worden ontsloten. Het feit dat in de meeste monsters wat "pyriet" (0,01%) wordt gevonden wijst hier ook op. In één monster werd met de chemische methode zelfs 0,03% pyriet gevonden terwijl in de slijpplaat géén pyriet werd aangetroffen. Waarschijnlijk speelt ook de heterogeniteit van de monsters nog een rol omdat voor het chemisch onderzoek de meest pyrietrijke delen zijn bemonsterd.
- 2 De micromorfologische methode geeft een onderschatting. In aanhangsel 2 is berekend dat dit inderdaad mogelijk is wanneer de pyrietdeeltjes veel kleiner zijn dan de zandkorrels en de gehalten laag. De onderschatting die in aanhangsel 2 is berekend is van dezelfde orde van grootte als het verschil tussen de chemische en de micromorfologische methode.

In verband met de discrepantie tussen de methoden is duidelijk meer onderzoek nodig naar de betrouwbaarheid van beide methoden. In het vervolgonderzoek moeten de volgende aspecten worden betrokken: heterogeniteit van het monster, bemonsteringswijze, bepalingmethode en berekeningswijze.

Tabel 4 Vergelijking van de pyrietgehalten via chemisch en micromorfologisch onderzoek.

Boring- nummer	Geologische Formatie	Diepte (m - mv.)	Pyrietgehalte (gew.%)	
			Chemisch	Micromorfologisch
NP 37-6/7	Veghel	5,5-5,7	0,05	0,0001
NP 37-15	Veghel	8,8-9,0	0,06	0,00008
NP 37-16	Kiezeloöliet	14,9-15,0	0,02	0,0010
NP 73-18	Kiezeloöliet	21,6-21,7	0,07	0,0020
NP 38-12	Nuenen	3,2-3,5	0,15	0,022
RGD 52B-262	Breda	25,2-25,4	0,7(0,9)	0,016
RGD 52B-261	Breda	26,3-26,7	0,9(1,6)	0,13

5.2 Vorming en afbraak van pyriet

De gegevens van tabel 3 maken, in het algemeen gesproken, duidelijk dat de pyriet in de ondergrond toeneemt en dat de hoeveelheid opaak afneemt. In detail komt de pyriet, in oppervlakkige of goed doorstroomde laagpakketten, alleen nog voor op plaatsen die minder poreus zijn en beschermend werken; in klei- en veenlaagjes (NP 37 5,56-5,66 - mv. en 8,77-8,92 m - mv.; NP 38 3,25-3,35 m - mv.).

De pyriet lijkt in hoofdzaak ter plaatse in continentaal milieu ontstaan te zijn. Veel van de pyriet is afgezet op, tussen, of in plantenresten. Dit betreft framboïde en meer massieve-gelaagde vormen van pyriet. De framboïde vormen komen in alle doorboorde lagen met organische stof voor terwijl de massievere pyriet alleen in het ondiepe veenlaagje van NP 38 is aangetroffen. Deze gelaagde pyriet is nu massief en kapselt enkele grotere plantenresten in. Het massieve-gelaagde stadium van de pyriet is waarschijnlijk via het aaneengroeien van oorspronkelijk aparte pyrietframboïden tot stand gekomen. Dit overgangsstadium is in de slijpplaat van NP 38 waarneembaar.

Niet alle pyriet komt in zichtbare of meetbare vorm samen met organische stof voor. Het is dan niet bekend of organische stoffen wel of geen rol hebben gespeeld bij de vorming van pyriet. Weer is het vooral de framboïde pyriet - in poriën, op de oppervlakte van zandkorrels en in kleilaagjes - die het meest zonder organische stof optreedt.

Mooi gekristalliseerde octaëdrische en kubische vormen van pyriet zijn vooral op de oppervlakte van zandkorrels en in de poriën van de Formatie van Breda aangetroffen. Het framboïde type pyriet treedt echter in alle formaties op in poriën, op zandkorrels en in klei- en veenlaagjes.

De afbraak van pyriet lijkt door oplossing van het mineraal, zonder nieuwvormingen, te gebeuren. In de massieve en gelaagde pyriet, van het ondiepe veenlaagje in boring NP 38, gaat de verwerking gepaard met breukjes en erosieve vormen. Kwantitatieve EDXRA metingen toonden aan dat hooguit enkele gewichtsprocenten van het mineraal verloren gaan voordat de pyriet geheel oplost. De framboïde pyriet, die vooral in de silt fractie maar ook in de klei fractie voorkomt, lijken - zodra aangetast - geheel op te lossen. Dit heeft te maken met de uiterst kleine pyrietkristalletjes waaruit de framboïden opgebouwd zijn. Ook de mooi gekristalliseerde octaëdrische en kubische pyrietkristalletjes lijken zonder vorming van vaste verweringsproducten af te breken.

5.3 Een eventueel opaak restproduct van pyriethoudende plantenresten

Opaken komen in alle slijpplaten voor (tabel 3), maar het meest

in oppervlakkige lagen. De indruk bestaat dat grotere opaken resistenter zijn dan de fijnere. Dit omdat vooral de wat grovere opaken als restprodukt in de oppervlakkige lagen aangetroffen worden. Op grotere diepten (25-27 m - mv.) zijn ook de fijnere opaken, die hier ontstaan, beter vertegenwoordigd.

Het enige restprodukt van verwerende pyriet zouden de in opvallend licht reflecterende opaken kunnen zijn. Pyriet komt in de diepere ondergrond, in de Formatie van Breda, op grotere plantenresten voor. Deze plantenresten kunnen ook opake delen tonen. De indruk bestaat, dat er een relatie zou kunnen bestaan tussen het ontstaan van opaken in een plantenrest en de omzetting van op dezelfde plantenrest, of in de omgeving hiervan, aanwezige pyriet. Hoe dit precies gebeurt en of denitrificatie door pyriet inderdaad een rol speelt bij het ontstaan van opaak is echter niet bekend.

De hoeveelheid opaak neemt naar de oppervlakte gaande toe. De oppervlakkige opaken bestaan voor het grootste gedeelte, of geheel, uit het reflecterende zwarte materiaal waarin plantenresten meestal niet meer, of uitsluitend in hele kleine gebiedjes, herkenbaar zijn.

De met EDXRA gemeten opaken, zonder met de licht- of elektronenmicroscopie herkenbare pyrietkristalletjes, kunnen geheel uit organische stof bestaan of bevatten maximaal 4 gew. % S en geen tot heel weinig Fe. Dit zwavel zou een restprodukt van oorspronkelijk aanwezige pyriet kunnen zijn of is op een andere manier gevormd.

Indien er wel een relatie bestaat tussen oorspronkelijk aanwezige pyriet en het ontstaan van opaak, kunnen opaken dienen als gidsmineraal voor het aantonen van deze pyriet. Hoeveel pyriet er oorspronkelijk in opaken aanwezig was blijft echter onbekend.

Opaken komen vooral op goed doorlatende plaatsen voor, maar ook in veen- en kleilaagjes. Zoals pyriet is opaak in hoofdzaak ter plaatse ontstaan.

5.4 Wijze van voorkomen van pyriet

Pyriet komt in de Nuenen Groep (jongste), Formatie van Veghel, Kiezeloëliet Formatie en de Formatie van Breda (oudste) voor (aanhangsel 1). Echter, niet in alle slijpplaten (tabel 3). De meeste pyriet is fijnkorrelig en behoort tot de silt fractie. Zeer fijnkorrelige, tot de klei of lutum fractie behorende pyriet, kan ook vrij veel aanwezig zijn.

Grovere pyriet, behorend tot de zandfractie, is relatief weinig aanwezig. De framboïden zijn dan vaak vergroeid tot grotere pyrieteenheden, waarin zij meestal niet langer als individuele onderdelen herkenbaar zijn, of vormden zich direct zonder een framboïde tussen stadium. Voorbeelden zijn gepyritiseerde

gelaagde plantenresten in het veenlaagje van NP 38 (Nuenen Formatie) en grotere massieve pyrieteenheden in NP 37 (Formatie van Breda). Mooi gekristalliseerde octaëdrische en kubische pyriet is meestal niet in de pyrietframboïden aanwezig. Echter wel als afzonderlijke kristalletjes in de Formatie van Breda op diepten tussen de 25 m en 27 m.

5.5 Beschikbaarheid van pyriet

Pyriet is in de bovenste negen meter van boring NP 37 (Fijne Veghel Formatie) en in NP 38 (Nuenen Formatie) nog vrijwel uitsluitend in, of op de grens van, minder doorlatende veen- en kleilaagjes aanwezig. Het mineraal is dan minder goed beschikbaar. Ook is de pyriet niet in ieder van de onderzochte laagjes aanwezig.

In de twee diepste monsters van NP 37, op 14-22 m - mv. in de Kiezeloöliet Formatie, komt wel pyriet buiten veen- en kleilaagjes voor. Dan is het mineraal ook in beter doorlatende lagen, op de oppervlakte van zandkorrels en in poriën, aanwezig. Hetzelfde geldt voor de twee RGD monsters van de Formatie van Breda op een diepte van 25-27 m. De pyriet kan dan eveneens als huidjes of in bandjes optreden en de wanden van graafgangetjes bedekken. Dit type pyriet is over het algemeen beter beschikbaar dan dat van de klei- en veenlaagjes.

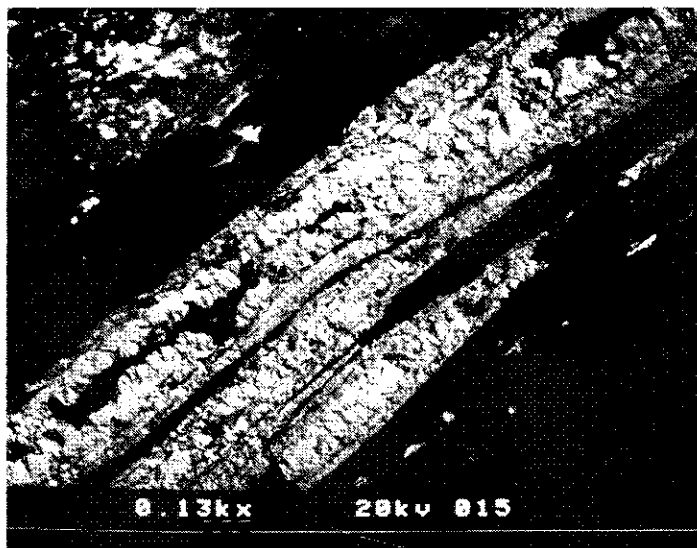
LITERATUUR

Jongerius, A. and G. Heintzberger, 1975. Methods in soil micromorphology; a technique for the preparation of large thin sections. Wageningen, Neth. Soil Surv. Inst. Soil Surv. Pap., 10: 48 pp.

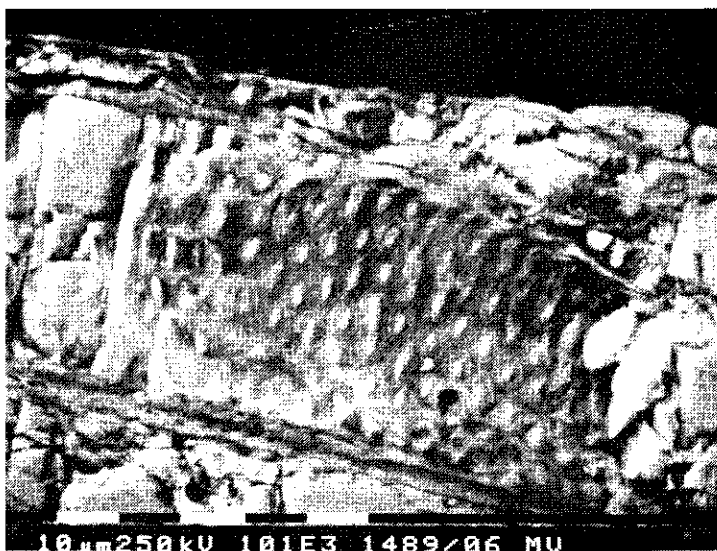
Pool, M.A., F. Schokking, J.P. Broertjes, E.B.A. Bisdorn and H. Boukes, 1987. Denitrification and sulphate formation, in relation to nitrate accumulation within the geohydrological profile of the pumping station area of Vierlingsbeek. In: Duijvenbooden, W. van, and H.G. van Waegeningh. Vulnerability of Soil and Groundwater to Pollutants. Intern. Conf. Noordwijk aan Zee, The Netherlands, 1987. Proc. and Inform./TNO Committee on Hydrological Research, No. 38, 1143 pp. (p. 655-659).

Pool, M.A., 1986. Onderzoek naar FeS en FeS₂ voorkomens in het (1e) watervoerend pakket van het onttrekkingsgebied bij het pompstation Vierlingsbeek. Haarlem, RGD. Rapport Nr. BP 10559, 10 pp.

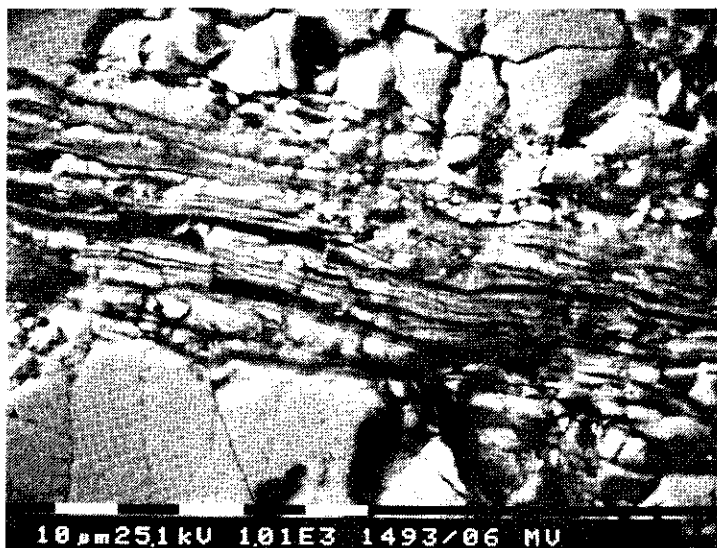
Enden, J.G. van den, C.C.D.F. van Ree en M. Loxham, 1988. Geo-chemisch onderzoek in het waterwingebied Vierlingsbeek. Delft, Grondmechanica Delft. 4 pp.



a



b



c

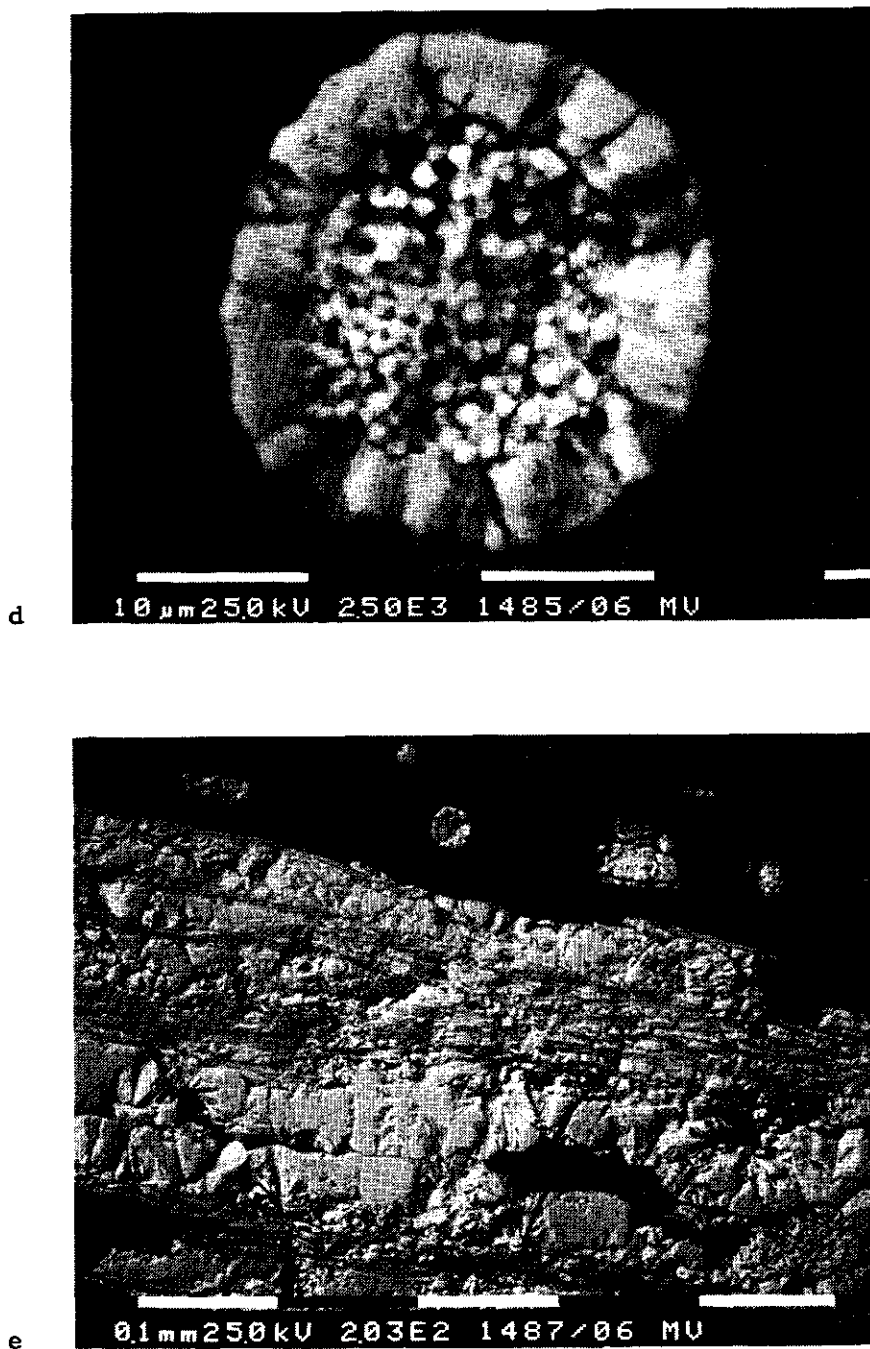


Fig. 1 "Backscattered electron scanning images" (BESI), gemaakt met een elektronenmicroscop, van gepyritiseerde plantenresten (a)-(d) en een pyriteenheid (e) in een veenlaagje van de Nuene Groep (Boring NP 38; 3,25-3,35 m - mv.). (a) Grotendeels pyriet met aan de randen herkenbare, bij plantenresten behorende, structuren (Vergroting 130 x). (b) Gepyritiseerde plantenrest (1010 x). (c) Gelaagd opgebouwde pyriet (203 x) en (d) een detailopname van de gelaagde verwerende pyriet (1010 x). (e) Detailopname van een bovenin foto (d) aanwezige ronde pyriteenheid met een massieve eroderende rand en zeer kleine kristalletjes in het centrum (2500 x).

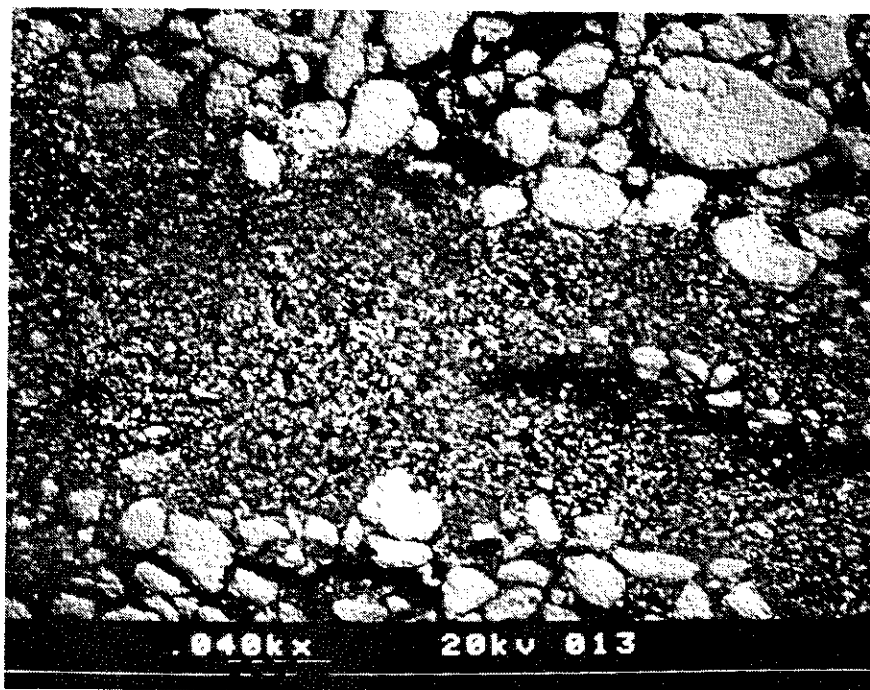


Fig. 2 Kleilaagje van de Fijne Veghel Formatie met kleine witte pyrietkristalletjes. Deze zijn vooral op de overgang klei-zand, bovenin de foto, afgezet (40 x) (BESI). Boring NP 37 op 5,56-5,66 m - mv.

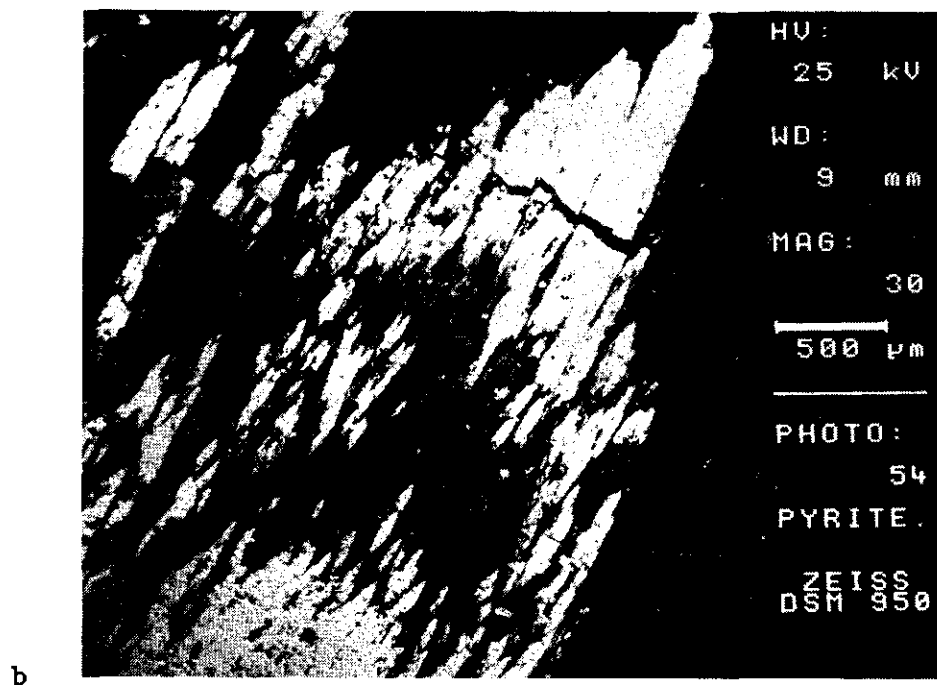
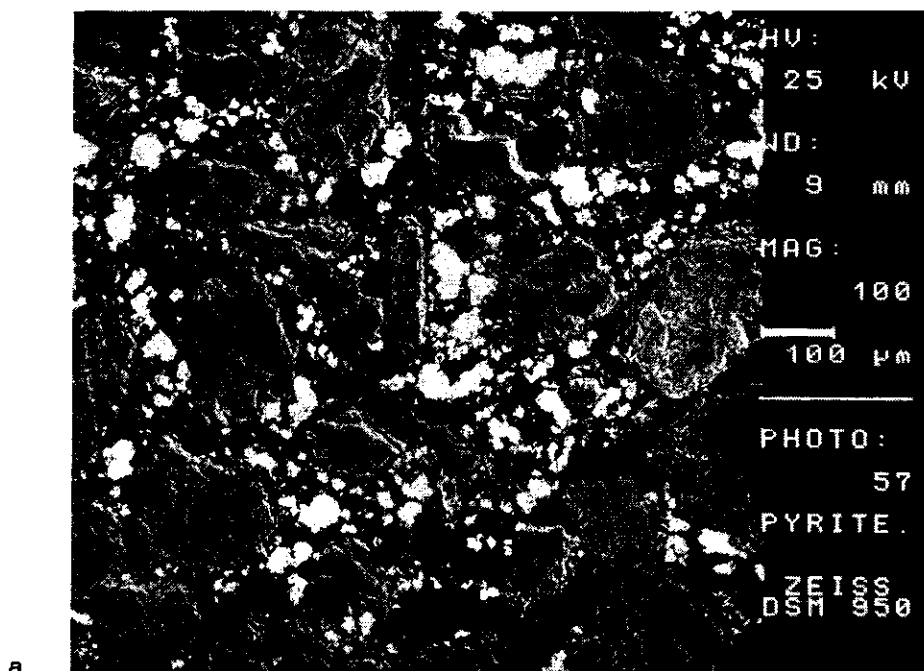


Fig. 3 (a) Gepytiseerde (wit) plantenrest in RGD 52B-262 op 25,20-25,40 m - mv. (30x). (b) Pyriet (wit) in poriën en op de oppervlakte van zandkorrels (100 x). Dit beeld is minder aanwezig dan op 26,35-26,75 m - mv. in RGD 52B-261. BESI's, Formatie van Breda.

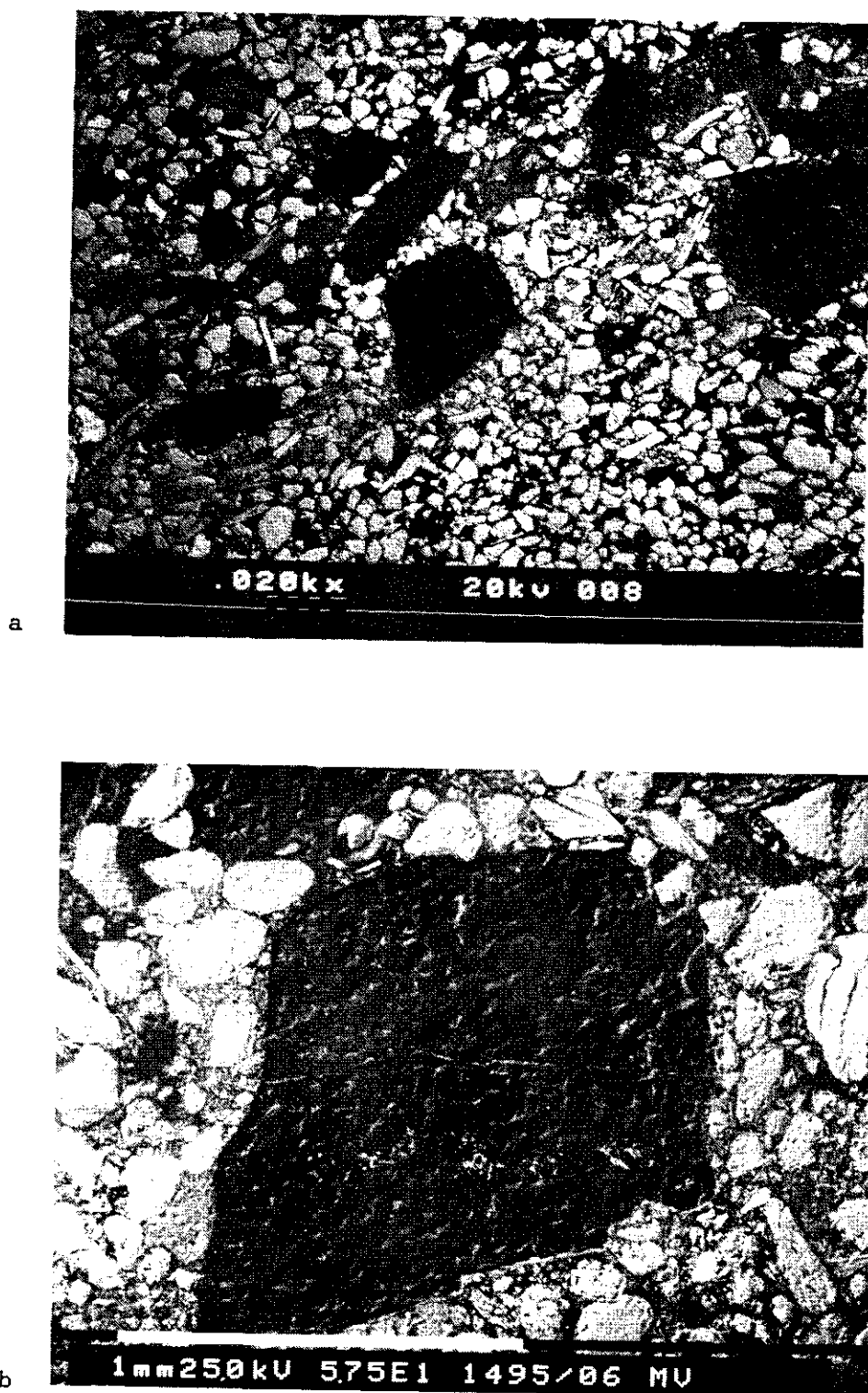
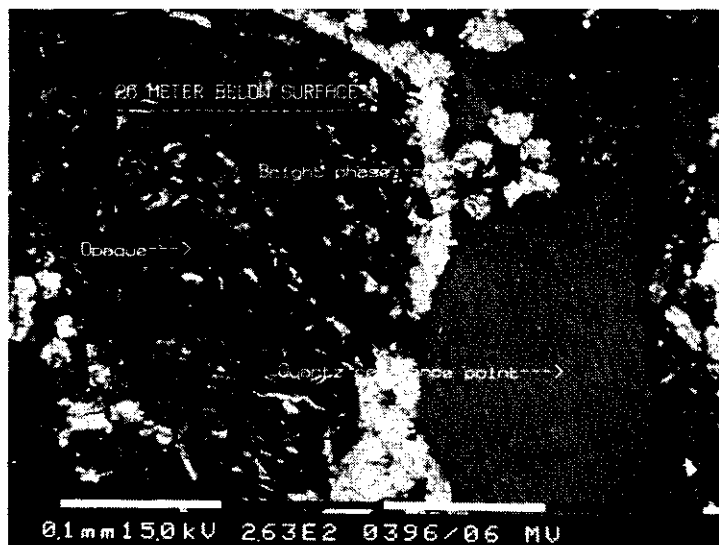
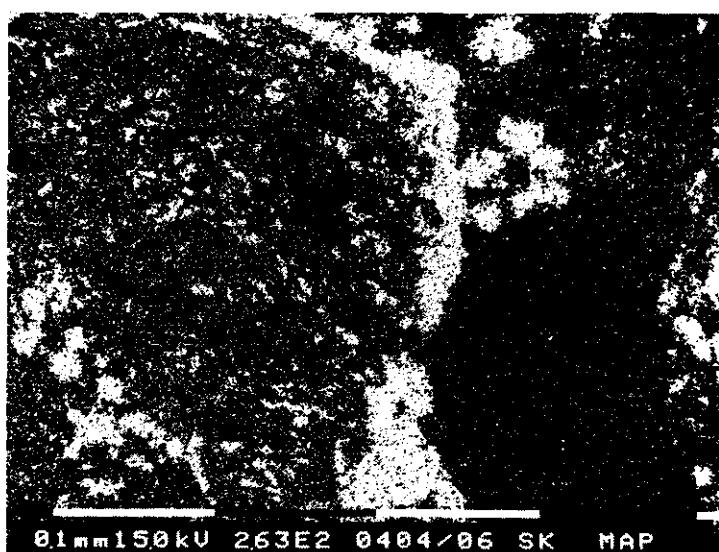


Fig. 4 (a) Opaken (zwart) tussen zandkorrels van de Fijne Veghel Formatie (20 x); boring NP 37 op 4,40-4,50 m - mv. (b) Uitvergroting (57,5 x) van de middelste opaak in foto (a); BESI's. Plastic in de poriën is relatief egaal zwart en glad, bijvoorbeeld in de poriën tussen de zandkorrels rechtsonder in foto (a). Opaken hebben een onregelmatige interne structuur (b).



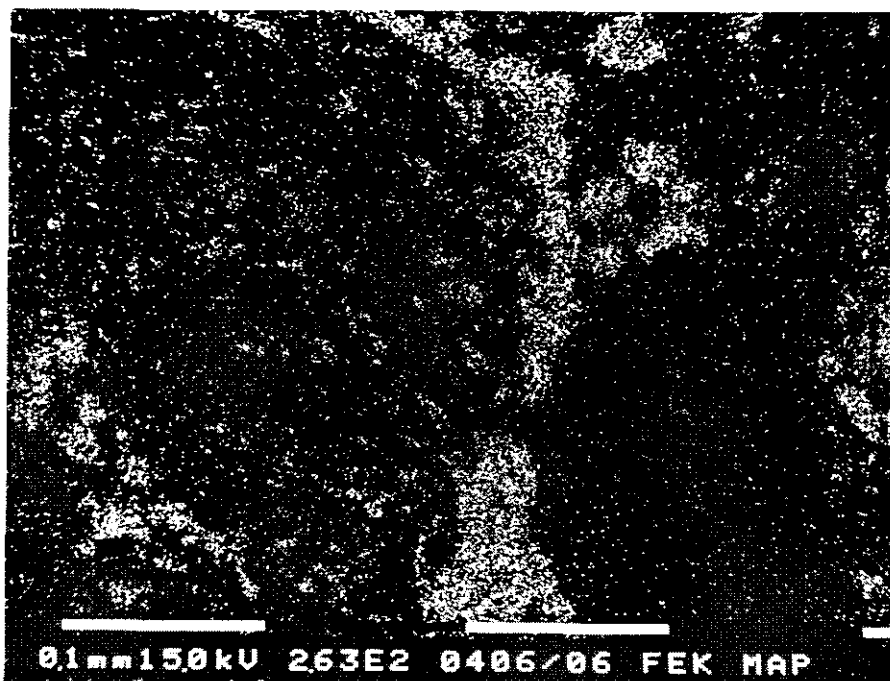
a



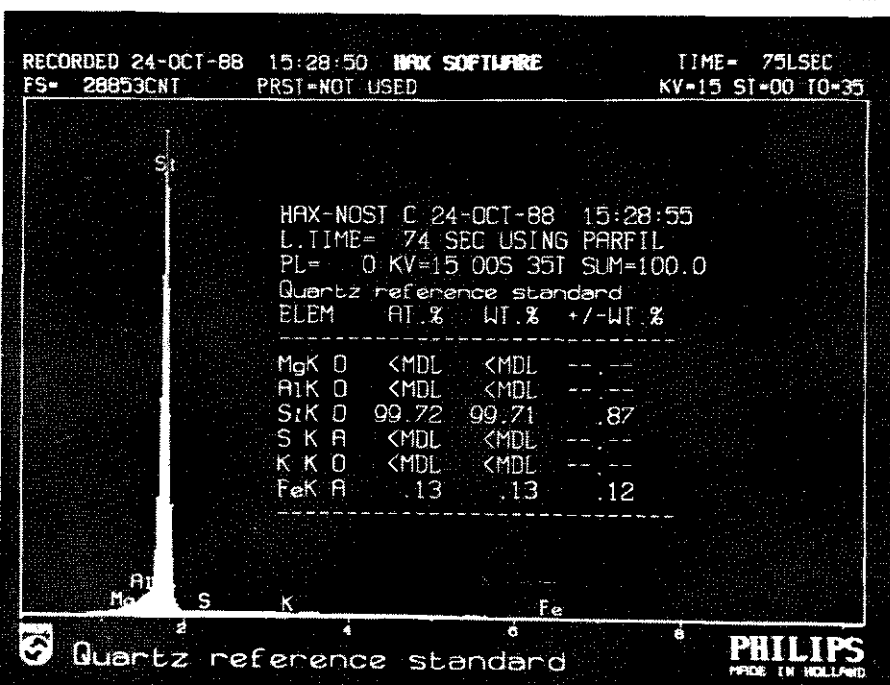
b



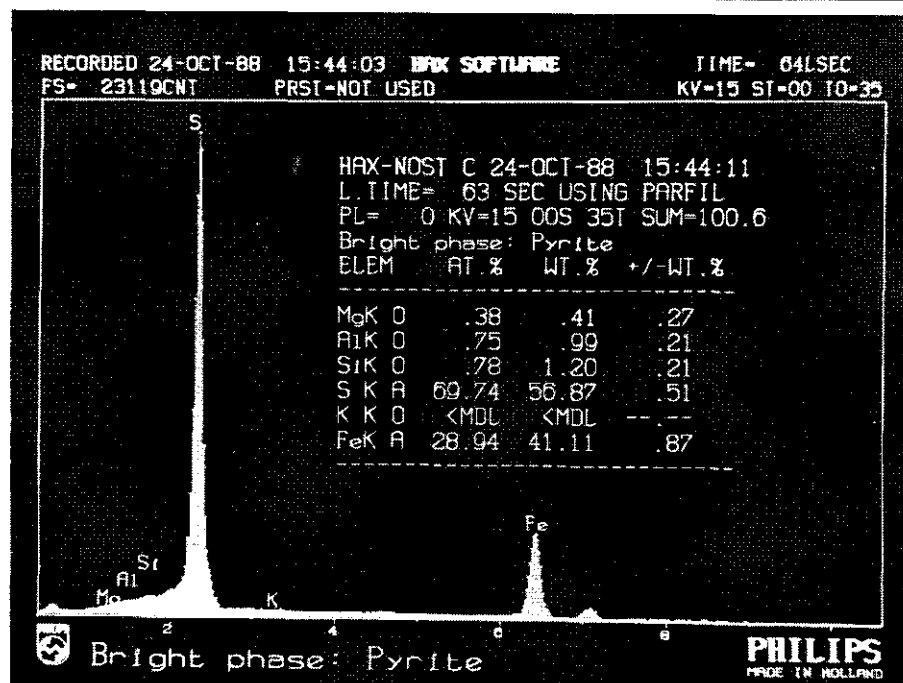
c



d



e



f

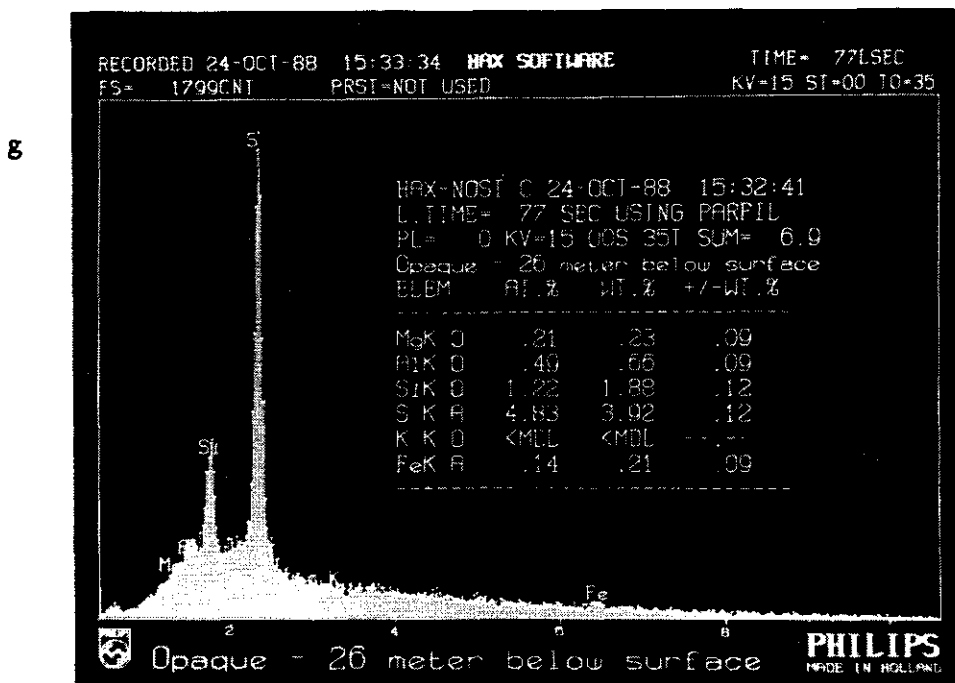
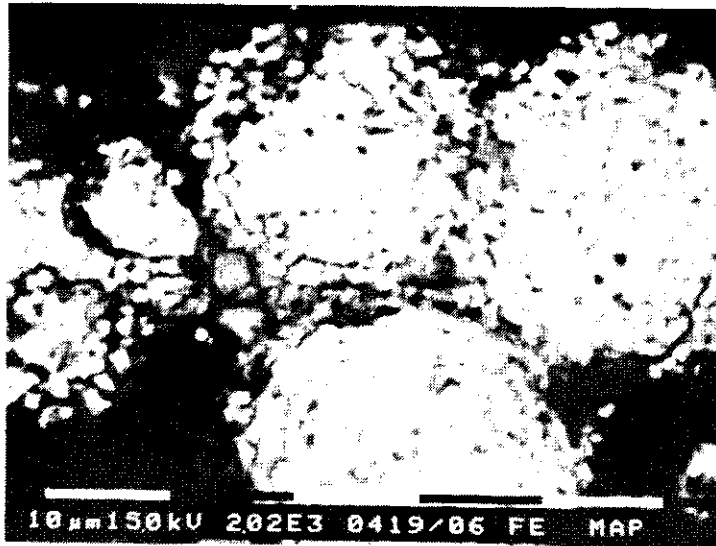
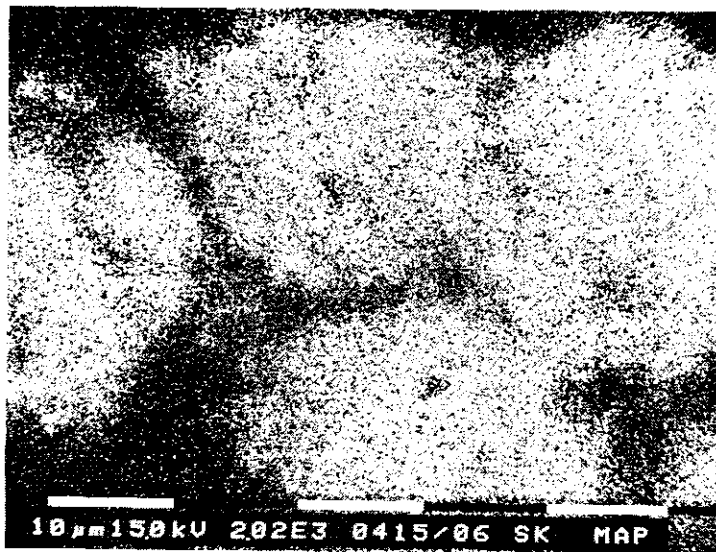


Fig. 5 Pyriet en het restprodukt opaak in de Formatie van Breda (RGD 52B-261; 26,35-26,75 m - mv.). (a) Overzichtopname van kwarts (op de foto met "quartz" aangegeven), opaak ("opaque") en pyriet ("bright phase"); BESI. (b) "X-ray image" die aangeeft waar Si in opname (a) voorkomt; de massieve witte eenheden (rechts op de foto) vertegenwoordigen kwartskorrels. (c) "X-ray image" van S. (d) "X-ray image" van Fe. De combinatie van S en Fe geeft aan dat pyriet aan de randen van en fijn verdeeld in het opake deeltje voorkomt. De op de opnamen (a)-(d) opgegeven vergroting is 263 x. Kwantitatieve EDXRA (HAX) metingen van atoom- en gewichtspercentages op de in (a) met pijlen aangegeven plaatsen: in kwarts (e), pyriet (f) en opaak (g). De atoompercentages van Fe en S verhouden zich in pyriet ongeveer als 1:2 (f). In opaak is de hoeveelheid Fe nihil en is iets minder dan 4 gewichtsprocenten S aangetroffen (g).



a



b



c

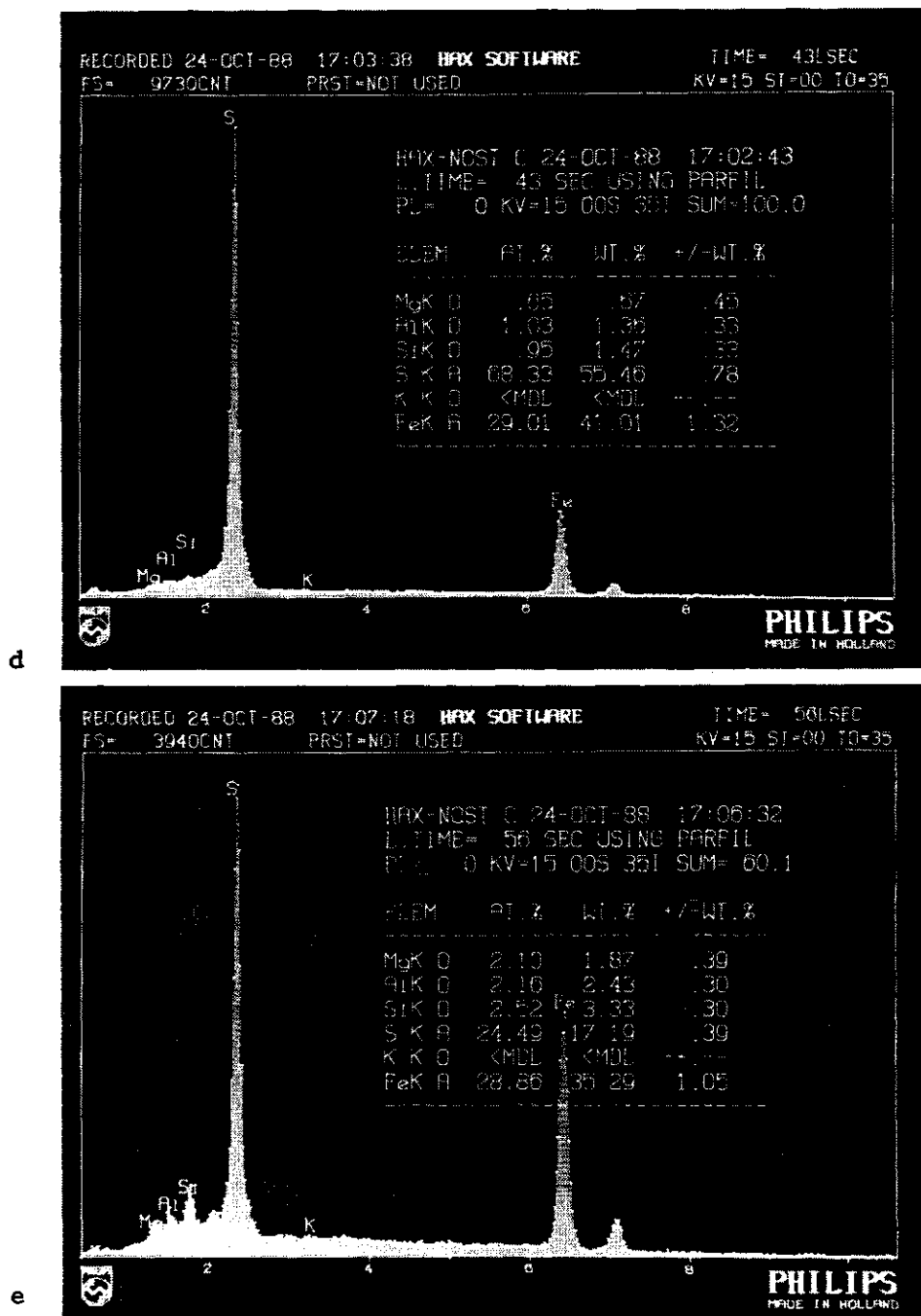
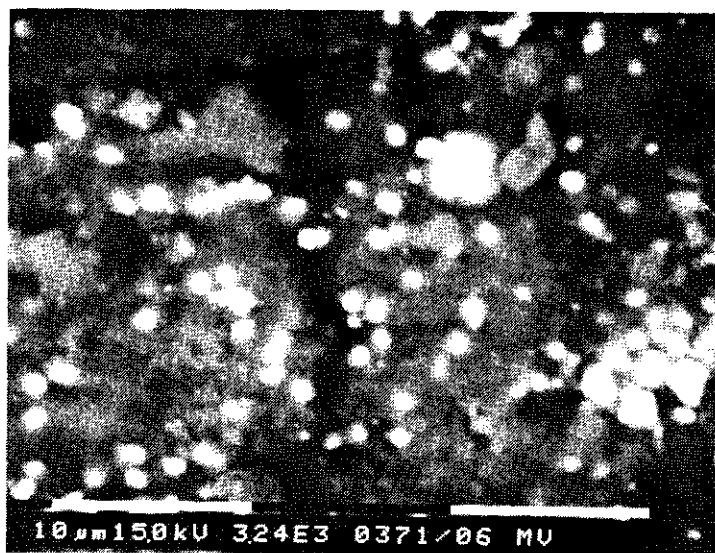


Fig. 6 Naast elkaar voorkomen van FeS_2 (pyriet) en FeS in de Kiezeloöliet Formatie op 21,56-21,71 m - mv. in boring NP 37. (a) Overzichtsoptname van framboïden bestaande uit witte pyrietkristalletjes met aan de randen, tussen de framboïden, grijs gekleurde minder goed gekristalliseerde FeS ; BESI. (b) X-ray image die aangeeft waar S in (a) voorkomt. (c) X-ray image van Fe. De op de opnamen (a)-(c) opgegeven vergroting is 2020 x. Kwantitatieve EDXRA (HAX) metingen van atoom- en gewichtspercentages Fe en S in een framboïde en in de grijze stof. In de framboïde (d) verhouden de atoompercentages van Fe en S zich als ongeveer 1:2 (pyriet) en in de grijze stof (e) als ongeveer 1:1 (FeS).



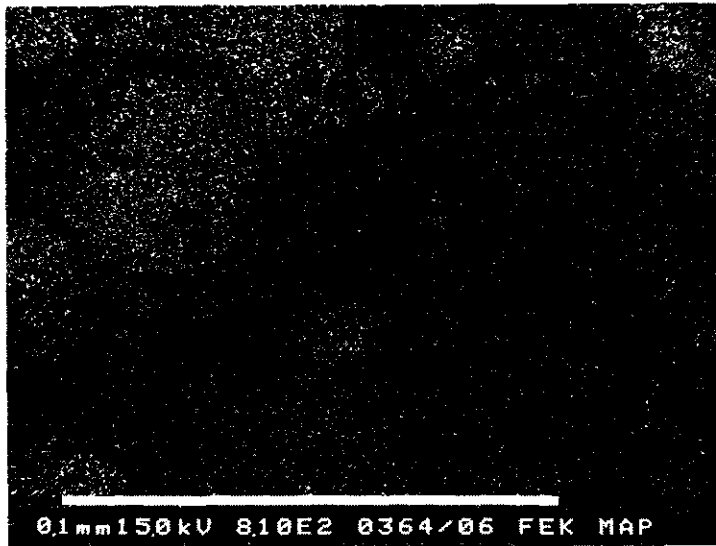
a



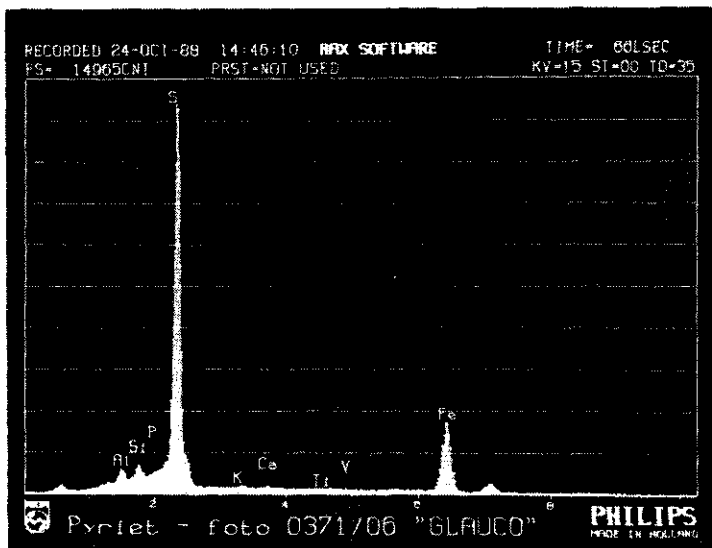
b



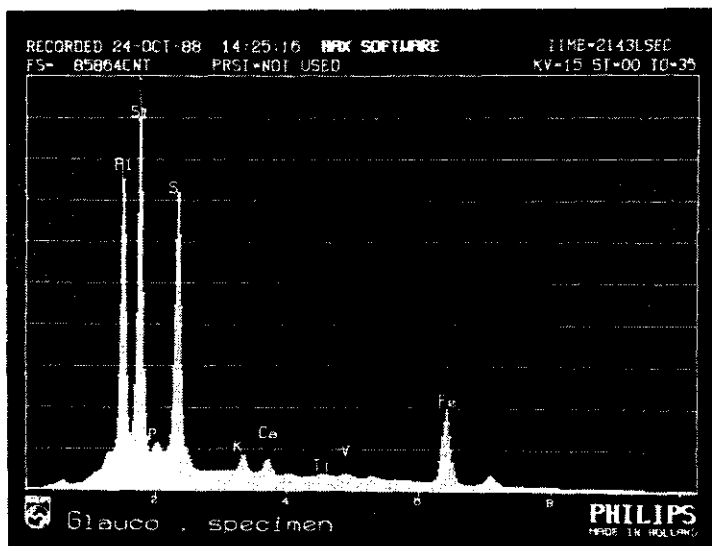
c



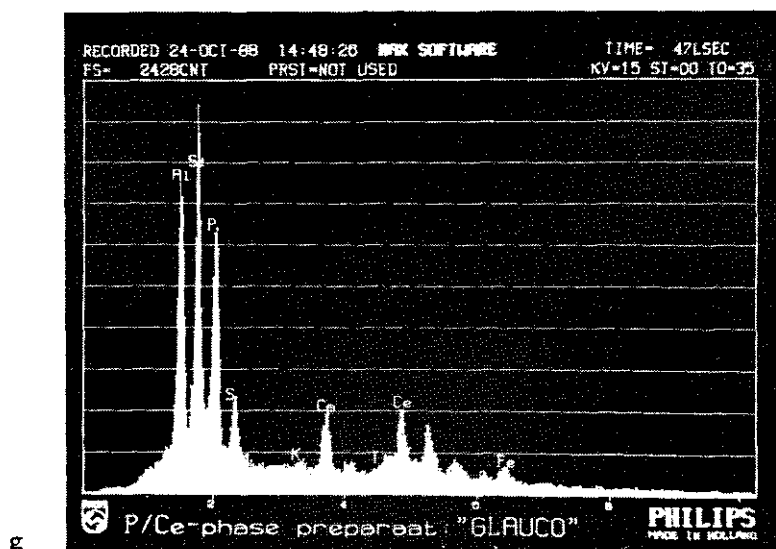
d



e



f



g

Fig. 7 Naast elkaar voorkomen van pyriet en fosfor-cerium houdende kristalletjes in de Formatie van Breda (RGD 52B-262; 25,20-25,40 m - mv.). (a) De pyriet (wit) wordt vooral linksboven op de foto in opeenhopingen aangetroffen (810 x); BESI. (b) Uitvergroting (3240 x) van een gedeelte van (a); rechts op de foto en even onder het midden. De pyrietkristalletjes vormen een framboïde en een opeenhoping rechts op foto (b). (c) X-ray image van zwavel (S) en (d) van Fe in foto (a). Deze geven aan waar pyriet in de foto's (a) en (b) voorkomt. De andere witte korreltjes, op de twee foto's, bevatten hoofdzakelijk fosfor (P) en cerium (Ce). Een EDXRA analyse, van opeenhopingen van pyriet in foto (a), is in (e) gegeven. Deze analyse, van een grotere en dikkere concentratie pyriet, toont vooral S en Fe en wat Al en Si; de andere in (e) aangegeven elementen zijn niet aanwezig. Zodra de hele kleine pyrietkorreltjes apart aanwezig zijn, wordt ook iets van het omringende en onderliggende materiaal gemeten (f); in dit geval Al en Si en een geringe hoeveelheid P, K en Ca van klei materiaal. In (g) dezelfde situatie maar nu voor een korreltje dat P en Ce bevat. Ook hier weer extra Al, Si, K en Ca met nog wat S en Fe; mogelijk van een geringe hoeveelheid pyriet die in het klei materiaal aanwezig is.

AANHANGSELS

- 1 Korte beschrijving van de slijpplaten
- 2 Omrekening van oppervlakte- naar gewichtspercentages

Aanhangsel 1

KORTE BESCHRIJVING VAN DE SLIJPPLATEN

E.B.A. Bisdom

De beschrijving van de slijpplaten begint met de naam van de formatie of groep waartoe het monster behoort, gevolgd door het nummer van de boring en de diepte waarvan het monster afkomstig is. De lithologie wordt hierna aangegeven. Omdat vooral pyriet en in mindere mate opaak de componenten zijn waar het in deze opdracht om gaat, worden deze in detail beschreven. Er is hierbij gelet op: korrelgrootte, morfologie en afzettingsmilieu van pyriet en opaak. Ook is de aantasting van pyriet bestudeerd.

xx Slijpplaten waarop submicroscopisch onderzoek is uitgevoerd.

Nuene Groep.Slijpplaat van boring NP 38: 3.25-3.35m - mv.

Lithologie: Ongeveer 1/10 deel van de slijpplaat bestaat uit veen met wat zandkorrels. Hierop is een combinatie van organische stof met mineralen afgezet (2/10 deel), gevolgd door hoofdzakelijk zandkorrels met organisch materiaal (7/10 deel).

Pyriet: Grote langgerekte pyrietkristallen, met een maximale lengte van 1,2 mm en een dikte van 0,4 mm, zijn op enkele plaatsen in de lengterichting van plantenresten afgezet. De evenwijdig aan de gelaagdheid gerichte plantenresten bevinden zich hoofdzakelijk in het veengedeelte van de slijpplaat. De langgerekte kristallen zijn gelaagd opgebouwd. Elektronenmicroscopische opnamen (fig. 1) tonen aan dat de langgerekte pyrietkristallen verweren. Naast de weinig voorkomende grotere pyrietkristallen worden veel framboïden in de plantenresten aangetroffen. Dit zijn framboosachtige, ruwweg cirkelvormige, samengestelde pyrieten met een diameter van maximaal 25 μm . Ook deze zijn vaak in de lengterichting van plantenresten gericht en kunnen vergroeien tot grotere eenheden van gewoonlijk enkele framboïden. Om de individuele kristalletjes in framboïden te zien is een sterke vergroting nodig (fig. 1e en fig. 6a). De framboïden komen veel voor in 2/10 gedeelte van de slijpplaat. De oorspronkelijke hoeveelheid pyriet is waarschijnlijk groter geweest dan de huidige. De beelden in de slijpplaat duiden niet op groei maar op verwerking van de pyriet.

- Opaak: Deze is in de hele slijpplaat aanwezig (fig. 4). De meeste opaken zijn minder dan 100 μm lang en 60 μm breed. Grotere opaken, tot 160 μm lang en 100 μm breed komen ook voor. Veel van de plantenresten tonen donkere tot zwarte kleuren en in het omzettende organische materiaal is hier en daar pyriet aanwezig. Er is geen pyriet in opaken aangetroffen.
- xx: Pyriet en opaak.

Formatie van Veghel (fijner gedeelte)

Slijpplaat van boring NP 37: 4,40-4,50 m - mv.

Lithologie: Zand, zeer fijn (M63: 140 μm), zwak humeus, enkele humeuze bandjes die hoofdzakelijk een dikte tot 1 mm hebben (in 1 bandje tot 3 mm).

Pyriet: Niet aanwezig.

Opaak: In de hele slijpplaat aanwezig, maar vooral in de humeuze bandjes (fig. 4). Maximale lengte 1,7 mm en breedte 1,2 mm. De bruine kleur van organische stof is in een aantal grotere opaken, in de poriën, op dunne plekjes en langs breukjes waar te nemen. Er is geen pyriet in de opaken aanwezig.

xx: Opaak en pyriet.

Slijpplaat van boring NP 37: 5,56-5,66 m - mv.

Lithologie: Zand, matig grof (M63: 230 μm), zwak siltig, kleilaagje (bandje) met een dikte tot 1 mm en een lengte van 3 cm.

Pyriet: De pyriet is alleen in het enige kleilaagje van de slijpplaat waargenomen. Het zijn kleine framboïden met een diameter die meestal kleiner dan 12 μm is en maximaal 20 μm (fig. 2). De framboïden zitten vooral in de klei en niet in de plantenresten die naast vrij veel silt in het kleibandje voorkomen.

Opaak: Komt in de hele slijpplaat voor. Maximale lengte 300 μ en breedte 150 μm . De opaken bevatten geen pyriet.

xx: Pyriet en opaak.

Slijpplaat van boring NP 37: 7.00-7.10 m - mv.

Lithologie: Zand, zeer grof (M63: 320 μm), zwak siltig, lokaal laminatie van siltige laagjes.

Pyriet: Niet aanwezig.

Opaak: Opaak in de hele slijpplaat aangetroffen. Maximale lengte 160 μm en breedte 80 μm . De opaken bevatten geen pyriet.

Slijpplaat van boring NP 37: 7.48-7.58 m - mv.

Lithologie: Zand, zeer grof (M63: 320 μm), zwak siltig, lokaal laminatie van siltige laagjes

Pyriet: Niet aanwezig.

Opaak: Opaak in de hele slijpplaat aanwezig. Maximale lengte 150 μm en breedte 80 μm . De opaken bevatten geen pyriet.

Slijpplaat van boring NP 37: 8.59-8.74 m - mv.

Lithologie: Zand, matig grof (M63: 290 μm), zwak grindig, zwak humeus. Een kleilaagje met een dikte tot 0,6 mm.

Pyriet: Niet aanwezig.

Opaak: Opaak in de hele slijpplaat. Maximale lengte 0,2 mm en breedte 1 mm. De meeste opaken zijn minder dan 60 μ lang en 30 μm breed. De opaken bevatten geen pyriet.

Slijpplaat van boring NP 37: 8.77-8.92 m - mv.

Lithologie: Zand, matig grof (M63: 290 μm), zwak grindig, zwak humeus met humeuze bandjes.

Pyriet: In poriën, samen met klei en organische stof. Vooral kleine framboïden met een diameter van 12-24 μm . De beelden in de slijpplaat duiden uitsluitend op verwerende pyriet, dus op de afbraak van pyriet.

Opaak: Opaken zijn in de hele slijpplaat aanwezig maar het meest in de humeuze bandjes. Vaak grote eenheden, maximaal 3 mm lang en 2 mm breed. Geen pyriet in opaak. De opaken tonen hier en daar, op dunne plekken, organische stof.

Kiezeloöliet Formatie

Slijpplaat van boring NP 37: 14,87-15,02 m - mv.

Lithologie: Zand, zeer grof (M63: 300 μm), zwak siltig, bruingrijs met kleilensje, maximale dikte 3 mm, lengte 6 cm. Dit kleilensje is onderin een grotere lens gelegen. Deze bestaat uit zandkorrels en poriën die hoofdzakelijk zijn opgevuld met klei. De dikte van de zand/klei-lens is maximaal 1,7 cm. De totale dikte van het lens-systeem is daarom maximaal 2 cm.

Pyriet: Vooral in het kleilaagje van het lens-systeem maar ook in de klei tussen de zandkorrels. Vooral kleinere framboïden met een diameter van 12 μm of minder, maar ook framboïden met maximaal 30 μm diameter. Enkele framboïden zijn met elkaar vergroeid. Hier en daar liggen framboïden achter elkaar en vormen het begin van een bandje. De beelden in de slijpplaat duiden op pyrietafbraak; ook in het lens-systeem.

Opaak: Opaak wordt in de hele slijpplaat aangetroffen. Maximale lengte 70 μm , breedte 40 μm . Veel kleine opaken aanwezig.

Slijpplaat van boring NP 37: 21,56-21,71 m - mv.

Lithologie: Zand, zeer grof, zwak grindig, licht grijs met kleibandje. Dikte van het kleibandje maximaal 0,5 cm, lengte 8 cm. In de slijpplaat is het kleibandje maar gedeeltelijk opgebouwd uit klei en komen veel zandkorrels in dit bandje voor.

Pyriet: De pyriet komt in de hele slijpplaat voor, dus niet meer alleen in het kleibandje maar ook in de poriën en op de oppervlakte van zandkorrels. De meeste pyriet bestaat uit framboïden die meestal een diameter van minder dan 15 μm hebben. Grotere framboïden, met een maximale diameter van 30 μm , komen ook voor. Omdat een aantal framboïden geheel of gedeeltelijk omringd wordt door een dunne zwarte ring, is deze met EDXRA geanalyseerd (fig. 6). De ring bleek uit FeS te bestaan, een verbinding waaruit pyriet gevormd kan worden. Iets grotere pyrieteenheden, van aaneengesloten framboïden of continue fijnkorrelige pyriet, zijn weinig aanwezig. De lengte van de eenheden gaat tot ongeveer 70 μm en de breedte tot 40 μm . De aaneengesloten en individuele framboïden kunnen als eilandjes in donker tot zwart materiaal voorkomen. De pyriet van deze slijpplaat verweert.

Opaak: Opaak is in de hele slijpplaat aanwezig. De opaken zijn merendeels minder dan 80 μm lang en 50 μm breed. Pyriet is hier en daar in opaken aanwezig.

xx: Pyriet en opaak.

Formatie van Breda

Slijpplaat van boring RGD 52B-262: 25,20-25,40 m - mv.

Lithologie: Zand met plaatselijk humeus materiaal. Enkele grotere plantenresten met een lengte van maximaal 1,5 cm en een breedte van 0,5 cm.

Pyriet: De pyriet komt in de hele slijpplaat voor. Verschillende typen pyriet zijn aanwezig. Het framboïde-type komt vooral in poriën en op de oppervlakte van zandkorrels voor. Dit in poreuzere delen van de slijpplaat zonder grote plantenresten (fig. 3B). De framboïden hebben gewoonlijk een diameter die kleiner is dan 20 μm en tot 30 μm kan oplopen. Vergroeide vormen van framboïden komen veel voor. In deze slijpplaat is in de grotere vergroeiingen al gauw geen individuele framboïde meer te herkennen en de pyriet komt dan in continue fijnkorrelige eenheden voor. Deze kunnen het grootste gedeelte van plantenresten bezetten (fig. 3A) of gedeelten van een grotere plantenrest en de aangrenzende poriën. Het grootste gedeelte van de pyriet komt in de slijpplaat op of in de buurt van grotere plantenresten voor. Octaëdrische en kubische pyriet is het minst aanwezig, maar toch vrij algemeen. Zij komt vooral voor in poriën, vaak samen met klei. Ondanks een in de slijpplaat aanwezige grotere hoeveelheid pyriet vormt dit mineraal zich niet meer en groeit de reserve niet aan. De pyriet wordt aangetast en vertoont verweringspatronen. Grotere eenheden pyriet worden op onregelmatige wijze doorsneden door donkere bandjes en donker gekleurd materiaal. Veel fijnkorrelige pyrietaccumulaties vertonen donkere vlekjes of hebben donkere randen. Pyriet komt ook in opaken voor. Deze hebben een betere reflectie dan het donkere materiaal. Overgangen van donker naar opaak materiaal zijn ook aanwezig.

Opaak: Opaak komt in de hele slijpplaat voor. De meeste opaken zijn minder dan 100 μm lang en 80 μm breed. De grotere opaken zijn alleen samen met grotere plantenresten in kleine aantallen te vinden. Zij kunnen een diameter van 0.5 mm hebben. In de grote plantenresten komt hier en daar een opake eenheid voor, maar het meeste materiaal is donker tot zwart

zonder hoogglans. Vorming van opaken is hier en daar waar te nemen. Donker en zwart materiaal wordt veel in de grote plantenresten gevormd. Enkele opaken bevatten pyriet, de meeste echter niet.

xx: Pyriet en opaak.

Slijpplaat van boring RGD 52B-261: 26.35-26.75 m - mv.

Lithologie: Glauconiethoudende zanden. Het bovenste gedeelte, iets minder dan de helft van de slijpplaat, bevat meer klei en is olijf-bruin gekleurd.

Pyriet: De pyriet komt in de hele slijpplaat voor, maar vooral in minder dan de helft van het oppervlak. Dit wordt hoofdzakelijk ingenomen door kwarts, glauconiet en klei. Overgangen van glauconiet naar deze klei zijn vaak aanwezig en daarom wordt aangenomen dat een gedeelte van de klei tijdens de verwerking van glauconiet ontstaan is. Veel pyriet is afgezet op de klei en in mindere mate op glauconiet. Pyriet is ook in poriën en op de oppervlakte van zandkorrels aanwezig. Enkele grotere pyrieteenheden, bestaande uit fijnere pyriet, kunnen tussen de 1,5 en 2 mm lang en tussen de 0,5 en 0,8 mm breed zijn. Deze grotere pyrieteenheden zijn meestal band- of lensvormig. De meeste pyriet bestaat uit framboïden met een diameter tot 30 μm of uit aaneengesloten framboïden. Octaëdrische en kubische pyriet is het minst aanwezig en komt hier en daar vooral in poriën zonder en met klei voor. Een van de meest opvallende kenmerken van deze slijpplaat zijn zandkorrels die in pyriet ingebed kunnen zijn. Een ander, de bekleding van de wanden van graafgangetjes met pyriet. De pyriet wordt ook op deze diepte reeds aangetast. Donkere bandjes doorkruisen grotere eenheden pyriet die ook donkere vlekken en opaken in zich kunnen bergen. De rand van een grotere eenheid pyriet bestaat uit donker materiaal. Pyriet is ook in opaken aanwezig (fig. 5).

Opaak: Opaken komen in de hele slijpplaat voor. De hoogglanzende opaken zijn over het algemeen maximaal 120 μm lang en 100 μm breed. Zij treden afzonderlijk in de hele slijpplaat op. Verschillende opaken bevatten nog pyriet maar de meeste niet. Opaken kunnen allerlei vormen aannemen waaronder de elliptische van glauconiet. In deze slijpplaat worden duidelijk opaken gevormd, ook samen met donker materiaal dat dof is in opvallend licht. EDXRA (fig. 5) toonde aan dat het donkere materiaal vooral uit organische stof bestaat en dat opaak enkele tot geen gewichtsprocenten zwavel bevat. IJzer komt nauwelijks in opaak voor.

xx: Pyriet en opaak.

Aanhangsel 2

OMREKENING VAN OPPERVLAKTE- NAAR GEWICHTSPERCENTAGES

A. Breeuwsma en O.F. Schoumans

De omrekening van oppervlakte- naar gewichtspercentages zoals de micromorfologie-RGD die heeft voorgesteld, berust impliciet op de veronderstelling dat de omrekening niet afhankelijk is van de deeltjesgrootte- (verdeling). Tot welke fouten dit kan leiden was niet bekend. Daarom is aan de hand van een eenvoudig voorbeeld een schatting gemaakt van de mogelijke onnauwkeurigheid. Daartoe wordt de "methode micromorfologie-RGD", waarbij geen rekening wordt gehouden met het aantal en de afmeting van de deeltjes, vergeleken met methoden waarbij het aantal of de straal van de deeltjes wel als een variabele wordt meegenomen.

Gehanteerde symbolen:

TO : totale oppervlak (gemeten met Quantimet)
 PP : procentuele oppervlak pyriet
 OP : oppervlakte pyriet , OG : oppervlak grond (niet-pyriet)
 VP : volume pyriet , VG : volume grond (idem)
 GP : gewicht pyriet , GG : gewicht grond (idem)
 G : gewichtspercentage pyriet volgens methode 1 (G_1), 2 (G_2)
 of 3 (G_3)
 r : straal pyriet (r_p)- of gronddeeltjes (r_g)
 n : aantal pyriet (n^p)- of gronddeeltjes (n^g)
 d : dichtheid pyriet (d^p)- of gronddeeltjes (d^g)
 F : relatieve fout in het gewichtspercentage pyriet

Methode 1 (methode micromorfologie-RGD)

Aanname: alle deeltjes geaggregeerd tot 1 deeltje (bol)

$$OP = PP \times TO \times \frac{1}{100} = \pi r^2 \quad (1)$$

$$r = \frac{OP}{\pi} \quad (2)$$

$$VP = \frac{4}{3} \pi r^3 = \frac{4}{3} \pi \frac{OP^3}{\pi^3} \quad \frac{OP^3}{\pi^3} = \frac{4}{3} OP \quad \frac{OP}{\pi} \quad (3)$$

$$GP = d_p \frac{4}{3} OP \quad \frac{OP}{\pi} \quad (4)$$

Evenzo voor gronddeeltjes:

$$GG = d_p \frac{4}{3} OG \quad \frac{OG}{\pi} \quad (5)$$

$$G_1 = \frac{GP}{GG} \times 100\% = \frac{d_p}{d_g} \left(\frac{OP}{OG} \right)^3 \times 100\% \quad (6)$$

N.B. Invullen van de meetwaarden op blz. 9-11 van het concept-rapport leidt tot hetzelfde resultaat (OP = 0,0076 mm², OG = 0,9975 mm², d_p = 4 g cm⁻³, d_g = 2,5 g cm⁻³ geeft G = 0,106%).

Methode 2

Aanname: alle pyrietdeeltjes dezelfde straal (r_p), evenals alle overige gronddeeltjes (r_g)

$$OP = n_p \pi r_p^2 \quad (7)$$

$$r_p = \frac{OP}{n_p \pi} \quad (8)$$

$$VP = n_p \frac{4}{3} \pi r_p^3 = n_p \frac{4}{3} \pi \frac{OP}{n_p \pi} \quad \frac{OP}{n_p \pi} = \frac{4}{3} OP \quad \frac{OP}{n_p \pi} \quad (9)$$

$$GP = d_p \frac{4}{3} OP \quad \frac{OP}{n_p \pi} \quad (10)$$

Op dezelfde wijze geldt voor het gewicht van de gronddeeltjes:

$$GG = d_g \frac{4}{3} OG \quad \frac{OG}{n_g \pi}$$

$$G_2 = \frac{GP}{GG} \times 100\% = \frac{d_p}{d_g} \left(\frac{OP}{OG} \right)^3 \frac{n_g}{n_p} \times 100\% \quad (11)$$

G_2 kan uit G_1 worden berekend via de correctiefactor (CF):

$$CF = \frac{G_2}{G_1} = \frac{n_g}{n_p} \quad (12)$$

De relatieve fout (F) in het gewichtspercentage die ontstaat door met 1 deeltje te werken in plaats van afzonderlijke deeltjes (met eenzelfde straal) bedraagt:

$$F = \frac{G_1 - G_2}{G_2} \times 100\% = \frac{1 - \frac{G_2}{G_1}}{\frac{G_2}{G_1}} \times 100 \quad (13)$$

invullen van (6) en (11) geeft:

$$F = \frac{1 - \frac{n_g}{n_p}}{\frac{n_g}{n_p}} \times 100 = \left(\frac{n_p}{n_g} - 1 \right) \times 100\% \quad (14)$$

De tabel geeft een indruk van de orde van grootte van de relatieve fout en de correctiefactor.

Tabel Relatieve fout in de schatting van G_1 en de correctiefactor voor de omrekening naar G_2 als functie van n_p/n_g

$\frac{n_p}{n_g}$	Relatieve fout in G_1 (%) (F)	Correctiefactor (CF)
0,001	-96,8	31,6
0,01	-90,0	10,0
0,1	-68,4	3,16
1,0	0,0	1,0
100,0	+9,0	0,1
1000,0	+30,6	0,03

Uit de tabel blijkt dat de relatieve fout zeer groot kan zijn, vooral in het geval dat er relatief weinig pyrietdeeltjes zijn. Afhankelijk van de verhouding tussen het aantal pyriet- en overige deeltjes kan de fout theoretisch zowel positief als negatief zijn. In werkelijkheid is de fout meestal negatief. Dit komt doordat de pyrietdeeltjes veel kleiner zijn dan de kwartskorrels die in zandgronden de hoofdmoot vormen. Uit onderstaand rekenvoorbeeld blijkt dat n_p/n_g dan bij lage pyrietgehalten kleiner is dan 1. Het gewichtspercentage pyriet kan dan volgens een derde methode worden berekend uit

$$G_3 = \frac{GP}{\bar{G}_P + \bar{G}_G} \approx \frac{GP}{\bar{G}_G} \times 100\% \quad (15)$$

$$G_3 = \frac{d_p}{d_g} \frac{n_p}{n_g} \frac{\frac{4}{3} \pi r_p^3}{\frac{4}{3} \pi r_g^3} = \frac{d_p}{d_g} \frac{n_p}{n_g} \left(\frac{r_p}{r_g}\right)^3 \times 100\% \quad (16)$$

Bij een diameter van 25 resp. 250 μm voor pyriet - resp. kwartskorrels is $r_p/r_g=0,1$. Invullen van dit getal en $d_p=4,0$ en $d_g=2,5$ geeft

$$G_3 = \frac{4}{2,5} \left(\frac{1}{10}\right)^3 \frac{n_p}{n_g} \times 100\% = 0,16 \frac{n_p}{n_g} (\%) \quad (17)$$

Volgens de micromorfologische-RGD pyrietbepaling liggen de

gewichtpercentages tussen 0,13% en 0,0001% zodat n_p/n_g varieert tussen 0,8 en 0,0006. Dat betekent volgens de tabel dat de gehalten die met de methode micromorfologie-RGD zijn berekend ruwweg een factor 1-40 te laag zouden zijn.