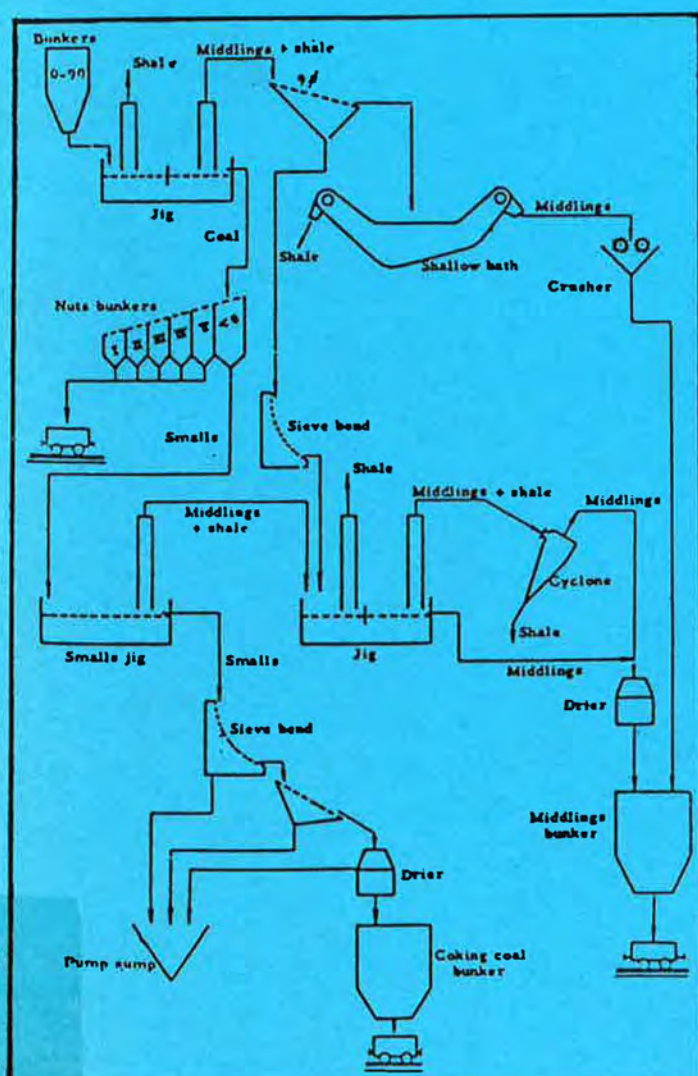


MIJNSTEEN, MIJNSLIK en MILIEU

DEEL A

Een onderzoek naar de chemische en mineralogische samenstelling van mijnsteen en mijnslik en de mogelijke gevolgen van deze stoffen voor het milieu.



Opdrachtgever: Provinciale Water-
staat in Limburg

P.W.- code : LI-001-83-2

F.C.A. Cattoir
C.J.J. Schouten

december 1985



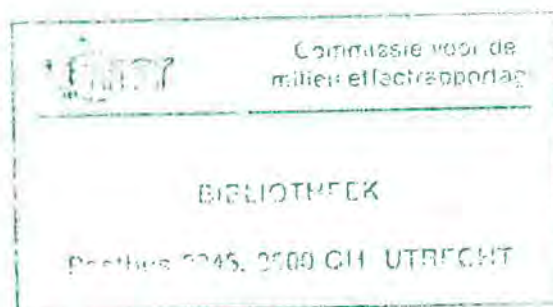
Rijksuniversiteit Utrecht

Geografisch Instituut
vakgroep fysische geografie

MIJNSTEEN, MIJNSLIK en MILIEU

DEEL A

Een onderzoek naar de chemische en mineralogische samenstelling van mijnsteen en mijnslik en de mogelijke gevolgen van deze stoffen voor het milieu.



Opdrachtgever: Provinciale Water-
staat in Limburg

P.W.- code : LI-001-83-2

F.C.A. Cattoir
C.J.J. Schouten

december 1985



Rijksuniversiteit Utrecht

Geografisch Instituut
vakgroep fysische geografie

ALGEMENE CONCLUSIES

- 1) De geschatte hoeveelheid in de oostelijke mijnstreek gedeponeerde mijnsteen en mijnslik bedraagt minimaal 150 miljoen ton.
- 2) Naast de in 1974 geïnventariseerde 11 mijnsteenbergen en 10 slikvijvercomplexen zijn tenminste 100 locaties aanwijsbaar waar mijnsteen of mijnslik gestort of toegepast is.
- 3) In mijnsteen en mijnslik zijn in een aantal gevallen PCA's (acenaften, benzo(a)pyreen en PCA-som) en zware metalen (arseen en molybdeen) aangetoond in concentraties die de B-waarde voor grond uit de Leidraad bodemsanering overschrijden. Het betreft hier stoffen die van nature in mijnsteen aanwezig zijn.
- 4) Het is onwaarschijnlijk dat de door de mijnbedrijven in de oostelijke mijnstreek toegepaste scheidingstechnieken hebben geleid tot een verontreiniging van de mijnsteen, aangezien de hierbij gebruikte stoffen, magnetiet en bariet, werden geregenereerd.
- 5) Mijnslik is mogelijk wel verontreinigd met flotatiemiddelen (gasolie en alcoholen, waaronder fenolen en xyenolen) en met flocculatiemiddelen (polyacrylamiden en polyaminen). Tot op heden is naar mijnslik echter nauwelijks onderzoek verricht.
- 6) In de nabijheid van grote mijnsteendeponieën zijn hoge gehalten aan oplosbare zouten (voornamelijk sulfaten) in het grond- en oppervlaktewater gemeten. Pyrietverwering in de mijnsteenbergen is hiervan de belangrijkste oorzaak.
- 7) Naar het voorkomen van zware metalen en organische microverontreinigingen in het grond- en oppervlaktewater in de nabijheid van mijnsteendeponieën is nagenoeg geen onderzoek verricht. Laboratoriumexperimenten doen vermoeden dat onder andere arseen, lood en nikkel in verhoogde concentraties aanwezig kunnen zijn.

SAMENVATTING

In het kader van het bodemsaneringsprogramma van de provincie Limburg wordt een onderzoek verricht naar de samenstelling van Limburgse mijnsteen en mijnslik en de mogelijke gevolgen van deze stoffen voor de bodem en het grondwater. In de periode juni - september 1985 is de eerste fase van dit onderzoek uitgevoerd. Het eerste-fase onderzoek bestaat uit 2 delen, namelijk:

- a. een onderzoek naar de chemische en mineralogische samenstelling van mijnsteen en mijnslik en de mogelijke gevolgen van deze stoffen voor het milieu,
- b. een inventarisatie van alle locaties in de oostelijke mijnstreek in Zuid-Limburg waar mijnsteen en/of mijnslik aanwezig is (geweest).

In dit rapport zijn de resultaten van deelonderzoek a weergegeven.

Het materiaal dat bij het bedrijven van kolenmijnbouw omhooggehaald wordt bestaat uit een mengsel van steenkool en ander, niet bruikbaar gesteente. De scheiding van het materiaal vindt voornamelijk plaats door middel van wasprocessen. Hierbij wordt gebruik gemaakt van het verschil in soortelijk gewicht tussen steenkool en ander gesteente. In de wasserijen van de Limburgse mijnbedrijven werden ter verbetering van de scheidende werking (chemische) middelen aan het waswater toegevoegd die, omdat ze werden geregenereerd, waarschijnlijk niet meer in mijnsteen, mijnslik en steenslik aanwezig zijn. Het scheiden van de fractie kleiner dan ca. 0,5 mm. in kolenslik en steenslik, dat bij een klein aantal mijnbedrijven plaatsvond, geschiedde niet op basis van verschil in soortelijk gewicht maar vond plaats door middel van de flotatiemethode. Er kunnen hierdoor in de afvalprodukten van die mijnbedrijven restanten van flotatiemiddelen aanwezig zijn. Bij alle mijnbedrijven was hergebruik van het waswater, gezien de grote benodigde hoeveelheden, een vereiste. Het zuiveren van het waswater geschiedde in waterklaar-installaties. Om de bezinking van in het water aanwezig slik te versnellen werden aan het water verschillende (chemische) middelen (flocculatiemiddelen) toegevoegd. In de afvalprodukten der mijnbedrijven zullen hiervan mogelijk nog restanten aanwezig zijn.

De restprodukten mijnsteen, mijnslik en steenslik zijn door de Limburgse mijnbedrijven destijds gedeponeerd op steenberggen en in slikvijvers of doorverkocht aan derden ten behoeve van verdere toepassingen (zoals funderingsmateriaal voor industrie- en woningbouwterreinen, gebruik als laagwaardige brandstof, gebruik als toeslagstof voor de fabricage van bakstenen etc.). Mijnsteen werd deels ook ondergronds gebruikt als vulsteen voor het opvullen van oude steengangen.

De op de steenbergten der mijnbedrijven voorkomende restprodukten kunnen bodem, grondwater en oppervlaktewater belasten met voornamelijk sulfaten en zware metalen. In steenkool zijn van nature zwavel (in de vorm van pyriet) en zware metalen aanwezig die ten gevolge van oxidatieprocessen (en de mogelijk daarmee gepaard gaande pH-daling) met percolerend regenwater kunnen worden uitgeloofd. Neutraliserende componenten zoals carbonaten kunnen, indien in voldoende mate aanwezig, deze uitloging afremmen.

In het hierna volgende zijn de bevindingen uit het onderzoek puntsgewijs geformuleerd.

1. Ten gevolge van de door de mijnbedrijven in de oostelijke mijnstreek toegepaste scheidingstechnieken kunnen in de restprodukten de volgende stoffen zijn achtergebleven:
 - in mijnsteen: magnetiet, bariet,
 - in mijnslik (mengsel van steenslik en kolenslik): magnetiet, bariet, flocgel (een soort aardappelmeel), ferrosulfaat, kalk, synthetische sensibilisatoren (polyacrylamiden of polyaminen; dit zijn organische verbindingen met een hoog molecuulgewicht),
 - in steenslik: alle bij mijnslik genoemde stoffen, gasolie (of crosootolie), alcoholen (onder andere fenolen, methyl- isobutyl-carbinol, di- isobutyl- carbinol, ruwe xylenolen),
 - in kolenslik: zie steenslik (het kolenslik is door de mijnbedrijven als brandstof gebruikt).
2. Onderzoek naar het voorkomen van de bij 1 genoemde stoffen in de afvalprodukten van de steenkolenmijnen is tot op heden niet verricht. Daarnaast is tevens niet precies van alle mijnbedrijven bekend welke scheidingstechnieken zijn toegepast. Gedetailleerde informatie hieromtrent ontbreekt.
3. De mijnsteen in de oostelijke mijnstreek is pyriethoudend.
4. Pyriet (FeS_2) in mijnsteendeponieën kan onder invloed van zuurstof en water oxideren. Microbiële activiteit (de bacterie *Thiobacillus Ferrooxidans*) kan dit proces versnellen. Ten gevolge van dit proces ontstaan onder andere ijzerhydroxide, sulfaten en waterstofionen.
5. In de mijnsteen in de oostelijke mijnstreek zijn momenteel voldoende neutraliserende componenten (carbonaten) aanwezig. Deze werken remmend op de verlaging van de pH en de uitspoeling van sulfaten.
6. De pH van percolatiewater van mijnsteendeponieën in de oostelijke mijnstreek heeft een tamelijk constante waarde van circa 7.5. Bij een dergelijke pH-waarde is de mobiliteit van zware metalen gering.

7. Een deel van het ijzerhydroxide, het sulfaat en het calcium, vrijgekomen bij de verwerking van pyriet en de oplossing van kalk wordt met percolerend regenwater uitgespoeld en komt in bodem, grondwater of oppervlaktewater terecht.
8. Afhankelijk van de redoxpotentiaal en de zuurgraad zal een deel van het ijzerhydroxide in de deponie neerslaan als ferrihydriet en een deel van het calcium en het sulfaat als gips. Bij veranderende omstandigheden kan dit gips weer in oplossing gaan en het sulfaat worden uitgespoeld.
9. Onderzoek heeft aangetoond dat de uitloging van sulfaten in de eerste maanden na deponie van mijnsteen gering is. Het uitlogen van sulfaten neemt echter snel toe en bereikt na een of meerdere jaren een vrij constante hoge waarde.
10. In het grondwater nabij mijnsteendeponieën in de oostelijke mijnstreek zijn plaatselijk SO_4 -concentraties van meer dan 1000 mg/l aangetroffen.
11. Uit globale berekeningen blijkt dat, uitgaande van bepaalde aannamen, het oxidatieproces van pyriet en het daaraan gekoppelde uitlogen van sulfaten voor bijvoorbeeld de steenberg Emma-Hendrik nog ca. 450 jaar zal doorgaan. Het probleem speelt dus ook op de lange termijn.
12. Het is momenteel onbekend of de in de mijnsteen aanwezige hoeveelheden neutraliserende componenten groot genoeg zijn om het oxiderende pyriet volledig te neutraliseren. Te weinig kennis van vooral de mineralogische samenstelling van mijnsteen is hiervan de oorzaak. Indien de neutraliserende componenten in te geringe mate aanwezig zijn, zal dit op een bepaald moment leiden tot een daling van de pH en een verhoogde uitspoeling van sulfaten en metalen. Ten gevolge van een pH-daling zal, onder andere door de verhoogde activiteit van T. Ferrooxidans, het oxidatieproces nog sneller gaan verlopen. Er is dan sprake van een sneeuwbaaleffect.
13. Van de chemisch-mineralogische samenstelling van Limburgse mijnsteen in algemene zin is weinig bekend.
14. Uit verschillende onderzoeken verricht naar de chemische samenstelling van mijnsteen is een lijst samengesteld van in de mijnsteen voorkomende stoffen waarvan de aanwezige concentraties de A-waarden voor grond (zoals gesteld in de Leidraad Bodemsanering) overschrijden. Deze stoffen verdienen bij verdere onderzoeken naar de samenstelling van mijnsteen speciale aandacht. Er dient hierbij opgemerkt te worden dat niet in alle onderzochte mijnsteenmonsters de A-waarde respectievelijk de B-waarde zoals in de lijst weergegeven worden overschreden. De stoffen zijn:

		A-waarde grond(mg/kg)	B-waarde grond(mg/kg)
polycycl.arom.	naftaleen	0,1	
koolwaterstoffen:	acenafteen (1)	0,1	10
	fluoreen	0,1	
	fenanthreen	0,1	
	anthraceen	0,1	
	fluorantheen	0,1	
	pyreen	0,1	
	benzo(a)anthr.	0,1	
	chryseen	0,1	
	benzo(b)fluor	0,1	
	benzo(k)fluor	0,1	
	benzo(a)pyreen (1)	0,05	1
	dibenzo(ah)anthr.	0,1	
	benzo(ghi)pery.	0,1	
	indeno(123cd)pyr.	0,1	
	PCK-som (1)	1	20
vluchtige aromaten:	ethylbenzeen	0,05	
metalen:	molybdeen (Mo) (1)	10	40
	chrom (Cr)	100	
	nikkel (Ni)	50	
	koper (Cu)	50	
	arseen (As) (1)	20	30
	lood (Pb)	50	

(1) : tevens overschrijding B-waarde

15. In mijnsteen komen zoals uit het bovenstaande blijkt polycyclische aromatische koolwaterstoffen en vluchtige aromaten voor. Het gedrag van deze stoffen in een mijnsteendeponie is voornamelijk onduidelijk.
16. In mijnsteen komt van nature arseen voor in de vorm van Realgar (AsS₄). Gemeten arseenconcentraties in mijnsteen zijn in een aantal gevallen hoog (overschrijding B-waarde voor grond).
17. Naar het uitloggedrag van Limburgse mijnsteen is weinig onderzoek verricht. Uit de tot nu toe verrichte onderzoeken is een lijst samengesteld van de in het percolaat van mijnsteendeponieën (of mijnsteenmonsters) aangetroffen stoffen waarvan de concentraties de B-waarde uit de Leidraad bodemsanering voor grondwater of de basiswaterkwaliteitsnorm overschrijden. Deze stoffen verdienen bij nader onderzoek naar het uitloggedrag van mijnsteen speciale aandacht. De stoffen zijn:

	SO ₄	(1)	150
	NO ₃	(1)	50
	Cl	(1)	200
	NH ₄	(2)	1,2
metalen :	nikkel (Ni)	(2)	0,05
	lood (Pb)	(2)	0,05
	arseen (As)	(2)	0,03

(1) basiswaterkwaliteitsnorm (mg/l)

(2) B-waarde uit de Leidraad bodemsanering (mg/l)

18. Naar de chemisch-mineralogische samenstelling van mijnslik en de zich in een mijnslikdeponie voordoende processen is dermate weinig onderzoek verricht dat hierover geen uitspraken kunnen worden gedaan.
19. Uitloging van stoffen uit mijnslikdeponieën met percolerend regenwater zal (in vergelijking met mijnsteendeponieën) waarschijnlijk in mindere mate plaatsvinden doordat mijnslik als waterstagnerende laag kan fungeren. Naar de kwaliteit van het grond- en oppervlaktewater in de directe nabijheid van mijnslikdeponieën is geen onderzoek verricht

INHOUD

blz.

Algemene conclusies	1
Samenvatting	3
Lijst van tekstfiguren	11
Lijst van tabellen	13

1. INLEIDING

1.1.	Probleemstelling	15
1.2.	Doelstellingen	16
1.3.	Uitvoering van het onderzoek	16

2. DE WERKING VAN EEN NEDERLANDSE STEENKOLENMIJN (ALGEMEEN)

2.1.	Het ondergronds bedrijf	17
2.2.	Het bovengronds bedrijf	19
2.2.1.	Samenstelling van het opgebrachte produkt	19
2.2.2.	Scheidingstechnieken	19
2.2.2.1.	De stukkoolwasserij	19
2.2.2.2.	De grofkool- en fijnkoolwasserij	20
2.2.2.3.	De mixt-wasserij	20
2.2.2.4.	Flotatie	23
2.3.	De afvalproblematiek der kolenmijnen	23
2.3.1.	Afvalwater en mijnslik	23
2.3.1.1.	Gesensibiliseerde flocculatie	24
2.3.1.2.	Slikverwerking	25
2.3.2.	Mijnsteen	25

3. DE INVLOED VAN MIJNSTEEN OP HET MILIEU

3.1.	De samenstelling van mijnsteen in de oostelijke mijnstreek	27
3.1.1.	Soorten mijnsteen	27
3.1.2.	De petrologische samenstelling van mijnsteen	28
3.1.2.1.	Zwarte mijnsteen	28
3.1.2.2.	Rode mijnsteen	28
3.1.3.	De chemisch-mineralogische samenstelling van mijnsteen	30
3.1.3.1.	Zwarte mijnsteen	30
3.1.3.2.	Rode mijnsteen	37
3.1.4.	Additionele verontreinigingen in mijnsteen	41

vervolg INHOUD

blz.

3.2.	Gevolgen van mijnsteendeponie voor het milieu	43
3.2.1.	Het pyriet-oxidatieproces in een mijnsteen- deponie	43
3.2.2.	Het uitlooggedrag van mijnsteen	47
3.2.3.	Verontreiniging van het grondwater in de omgeving van mijnsteendeponieën	55
3.2.4.	Verontreiniging van het oppervlaktewater in de omgeving van mijnsteendeponieën	57
3.2.5.	Visuele aspecten	59
3.2.6.	Radioactiviteit	60

4. DE INVLOED VAN MIJNSLIK OP HET MILIEU

4.1.	De samenstelling van mijnslik in de oostelijke mijnstreek	61
4.1.1.	Soorten mijnslik	61
4.1.2.	De samenstelling van mijnslik	61
4.1.3.	Additionele verontreinigingen in mijnslik	64
4.2.	Gevolgen van mijnslikdeponie voor het milieu	65
4.2.1.	Verontreiniging van grond- en oppervlaktewater	65
4.2.2.	Waterstagnatie	66
4.2.3.	Visuele aspecten	66

5. DE GECONSTATEERDE INVLOED VAN MIJNSTEEN-/ MIJNSLIKDEPONIEËN
OP DE WATERKWALITEIT IN DE OOSTELIJKE MIJNSTREEK

5.1.	Constateringen	67
5.2.	Analyseresultaten	68

6. TOEPASSINGSMOGELIJKHEDEN VAN MIJNSTEEN EN MIJNSLIK EN DE
GEVOLGEN VAN TOEPASSINGEN VOOR HET MILIEU

6.1.	Mijnsteen	71
6.1.1.	Fysische eigenschappen van mijnsteen	71
6.1.2.	Toepassingen van zwarte mijnsteen en de gevolgen daarvan voor het milieu	74
6.1.3.	Toepassingen van rode mijnsteen en de gevolgen daarvan voor het milieu	75
6.2.	Mijnslik	76
	Literatuur	79

Tekstfiguren

- 2.1. Doorsnede van een Nederlandse steenkolenmijn (DSM, 1959)
- 2.2. Schema van de stukskoolwasserij (Biezenaar, 1959)
- 2.3. Schema van de grofkool-, fijnkool- en mixtwasserij (Biezenaar 1959)
- 3.1 Het in de loop der tijd vrijkomen van sulfaat uit laboratorium Lysimeters (Matthess, 1982)
- 3.2. Schematisch overzicht van de waterstromen bij de opslag van steenkool resp. mijnafval (VROM, 1983)

Tabellen

-
- 3.1. Petrologische samenstelling steenberg Laura (RGD, 1980)
 - 3.2. Globale chemische samenstelling mijnsteen steenberg Laura (Niel, 1978)
 - 3.3. Gemiddelde chemische samenstelling Engelse mijnsteen (Niel, 1978)
 - 3.4.a. Zware metalen in zwarte mijnsteen op het Laura-terrein te Eygelshoven (Ritt, 1985)
 - 3.4.b. Vluchtige aromaten in zwarte mijnsteen op het Laura-terrein te Eygelshoven (Ritt, 1985)
 - 3.4.c. Polycyclische aromatische koolwaterstoffen in zwarte mijnsteen op het Laura-terrein te Eygelshoven (Ritt, 1985)
 - 3.5. Analyseresultaten van grondmonsters, terrein Willem-Sophie te Kerkrade (Waeyen, 1985)
 - 3.6. Polycyclische aromaten, bepaald in een niet-waterig extract van gemalen bitumineuze steenkool (USA) (VROM, 1983)
 - 3.7. Globale mineralogische samenstelling van mijnsteen in Noordrijn-Westfalen (West-Duitsland) (Matthess, 1982)
 - 3.8. Gemiddelde chemische samenstelling van mijnsteen van 11 locaties in Noordrijn-Westfalen (W-Duitsland) (Matthess, 1982)
 - 3.9. Gemiddelde chemische samenstelling Engelse rode mijnsteen (Niel, 1978)
 - 3.10. Chemische analyse van mijnsteen (Niel, 1978)
 - 3.11. Pyrietgehalte, carbonaatgehalte en pH van Engelse mijnsteen (Bradshaw, 1980)
 - 3.12. Gehalte aan oplosbare bestanddelen in mijnsteen van de steenberg Oranje-Nassau I (Bindels, 1979)
 - 3.13. Gehalte aan extraheerbare zware metalen in mijnsteen van de steenberg Oranje-Nassau I (Bindels, 1979)
 - 3.14. Concentraties in Lysimeter-percolaat van mijnsteen in Noordrijn-Westfalen (Matthess, 1982)
 - 4.1. Totaal in water oplosbaar gehalte aan zouten en sulfaten en het in diethylether oplosbare gehalte aan benzeen van mijnslik uit slikvijvers in de oostelijke mijnstreek (Bindels, 1980(B))
 - 5.1. Analyseresultaten van enige grond- en oppervlaktewatermonsters in de oostelijke mijnstreek (Vakgroep Fysische Geografie, Rijks Universiteit Utrecht, 1985)

1. INLEIDING

In de mijnstreek in Zuid-Limburg die globaal gelegen is tussen Sittard en Kerkrade heeft in het verleden op zeer grote schaal kolenmijnbouw plaatsgevonden. Bij de winning van steenkool is ook mijnsteen en mijnslik vrijgekomen. De mijnsteen is destijds gedeponneerd op hopen in de omgeving van de mijnzetels, terwijl het mijnslik vaak in laagten in het terrein of in kunstmatig aangelegde vijvers is gedeponneerd. De hoeveelheden mijnsteen/mijnslik die door de kolenmijnen zijn geproduceerd zijn zeer groot. Voor de winning van steenkool in Zuid-Limburg gold dat globaal 20-40% van het materiaal dat omhooggebracht werd, onbruikbaar was. Dit betekent dat bij de winning van 1 ton steenkool 250-670 kg mijnsteen/-slik werd geproduceerd die verder onbruikbaar was. De grote steenbergen en slikvijvers, die in het landschap van de mijnstreek in Zuid-Limburg nog steeds waarneembaar zijn, getuigen van deze grote hoeveelheden afvalprodukten die het mijnbedrijf met zich meebracht.

In de jaren 1975-1985 zijn door middel van een groots opgezette saneringsoperatie enkele steenbergen afgegraven en slikvijvers gedempt. De steenbergen en slikvijvers die niet zijn opgeruimd, zijn min of meer in het landschap ingepast en hebben alternatieve (meest recreatieve) bestemmingen gekregen.

1.1. PROBLEEMSTELLING

De Carbonische gesteentelagen waaruit de steenkool in Zuid-Limburg werd gewonnen bevatten van nature pyriet. Doordat deze gesteenten aan de oppervlakte komen, waar aerobe omstandigheden heersen, is het mogelijk dat de pyriet wordt omgezet in onder andere sulfaat. Wanneer nu regenwater door mijnsteenhopen percoleert kan het sulfaat worden uitgespoeld en via het bodemwater uiteindelijk in het grondwater terechtkomen. Stijgende sulfaatgehalten in het grondwater zijn in de nabijheid van grote mijnsteen/-slik deponieën geconstateerd.

Het is ook mogelijk dat door de aanwezigheid van sulfaat in de mijnsteen/-slik de mobiliteit van zware metalen, die van nature in mijnsteen/-slik voorkomen, toeneemt.

Voorts zijn bij het scheiden van steenkool en ander gesteente door middel van wasprocessen, soms chemische stoffen in lage concentraties toegevoegd. Deze stoffen zijn misschien nog in de mijnsteen/-slik aanwezig.

1.2. DOELSTELLINGEN

Aan het onderzoek liggen de volgende doelstellingen ten grondslag:

- 1.- Het verkrijgen van inzicht in de chemische en mineralogische samenstelling van mijnsteen en mijnslik,
- 2.- het verkrijgen van inzicht in de mogelijk nadelige effecten van mijnsteen/-slik voor het milieu, alsmede van de lacunes in de kennis hieromtrent (literatuurstudie),
- 3.- het verkrijgen van een overzicht van plaatsen waar mijnsteen en/of mijnslik in de oostelijke mijnstreek voorkomt, of in het verleden voorkwam,
- 4.- het verkrijgen van een overzicht van het huidige landgebruik op deze locaties.

1.3. UITVOERING VAN HET ONDERZOEK

Het onderzoek is verricht door de Vakgroep Fysische Geografie van de Rijks Universiteit Utrecht, in opdracht van bureau bodem en water van de afdeling Milieuhygiene van Provinciale Waterstaat in Limburg. Het onderzoek, dat staat in het kader van het bodemsaneringsprogramma van de Provincie Limburg, omvatte een literatuurstudie en veldonderzoek. De resultaten van het onderzoek, waaraan de doelstellingen 1 en 2 ten grondslag liggen, zijn in dit deel van het rapport (deel A) weergegeven. Het tweede deel van het rapport (deel B) bevat de resultaten van het onderzoek waaraan de doelstellingen 3 en 4 ten grondslag liggen.

2. DE WERKING VAN EEN NEDERLANDSE STEENKOLENMIJN (ALGEMEEN)

2.1. HET ONDERGRONDS BEDRIJF

Bij de aanleg van een kolenmijn werd in eerste instantie gestart met het aanleggen van een (of meer) schacht(en). In vele gevallen zijn de schachten van de kolenmijnen in de oostelijke mijnstreek als beviesschacht aangelegd. Hierdoor was het mogelijk om veilig in het sterk waterhoudende dekterrein boven het Carboon te kunnen werken. De dikte van het dekterrein, dat moet worden doorboord om aan het Carboon te komen neemt in de mijnstreek in Zuid-Limburg van het zuidoosten (Kerkrade) naar het noordwesten (Sittard) toe van enige tientallen meters tot ongeveer 350 meter. Dit verschil in dikte van het dekterrein verklaart waarom de kolenmijnbouw in Zuid-Limburg in eerste instantie in de omgeving van Kerkrade tot ontwikkeling kwam.

Nadat de schacht op voldoende diepte was gebracht werd ondergronds in de onmiddellijke omgeving van de schacht begonnen met het bouwen van de zogenaamde laadplaats, waarbij onder andere aansloten de locomotievenloods, het materiaalmagazijn en de transformatorruimte.

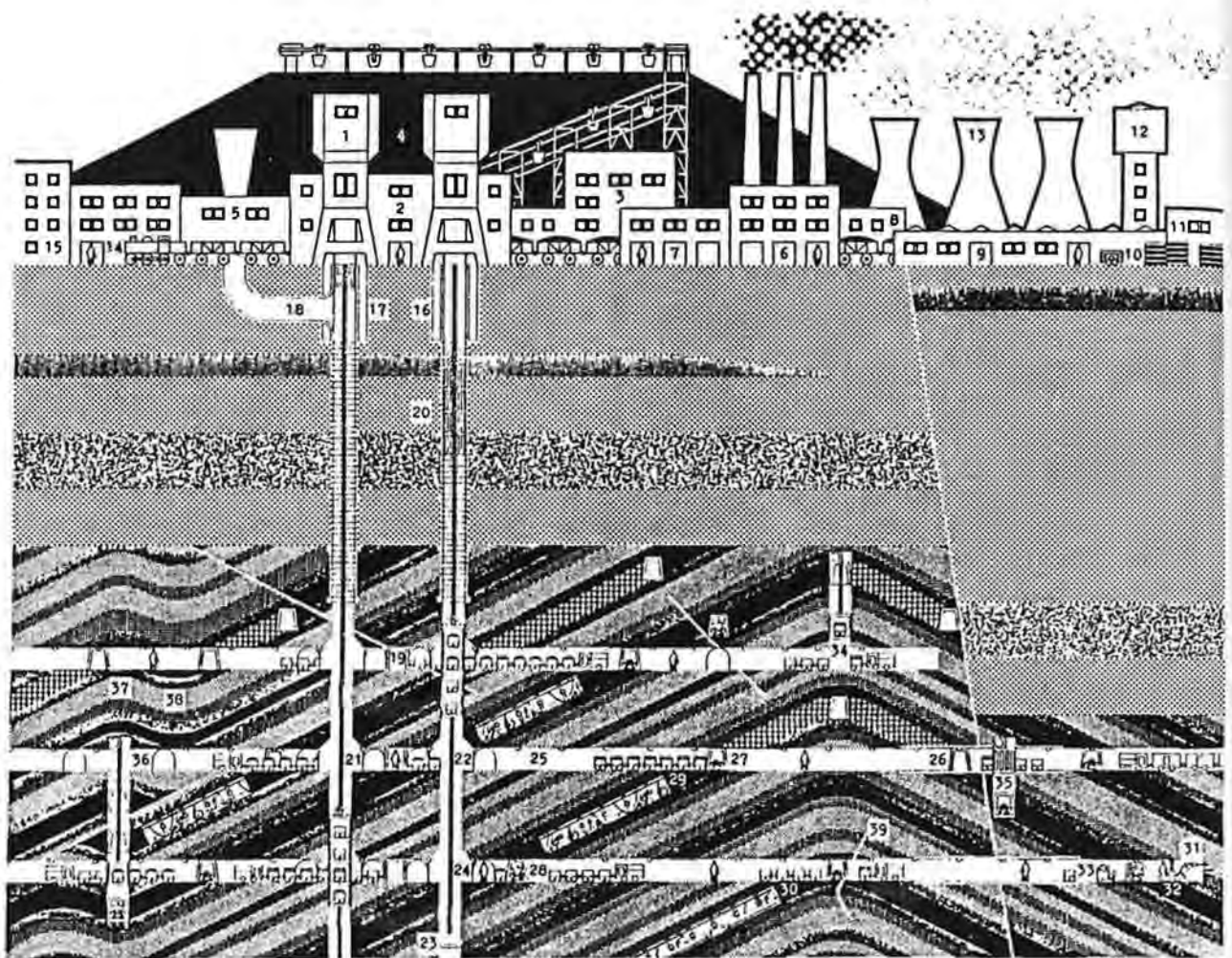
De ontsluiting van de steenkoollagen geschiedde op verschillende niveau's ondergronds door de aanleg van steengangen (zie fig 2.1). Dit zijn gangen die van de schacht af horizontaal het veld worden ingedreven en die de min of meer hellende steenkoollagen snijden. Bij de aanleg van de gangen werd vaak dynamiet gebruikt. Helemaal horizontaal waren de gangen echter niet, zij liepen namelijk iets omhoog naarmate zij verder het veld ingingen. Dit vergemakkelijkte het transport der geladen kolenwagens naar de schacht.

Het mijnwater dat op sommige plaatsen bij de mijnbouw optrad, stroomde ook in de richting van de schacht. Bij de schacht werd het water naar boven gepompt en op de begane grond verder afgevoerd. Bij sommige kolenmijnen (onder andere de Staatsmijnen) was de hoeveelheid water die dagelijks werd opgepompt groter dan de hoeveelheid geproduceerde steenkool.

Nadat de steengangen waren aangelegd werden zijgangen naar de te ontginnen kolenlaag gegraven. Vanuit deze zijgangen, de zogenaamde galerijen, vond de kolenwinning plaats.

Het wagentransport ondergronds geschiedde meestal met behulp van perslucht-locomotieven. In enkele gevallen werd gebruik gemaakt van diesel-locomotieven. De locomotieven trokken de volle wagens door de vele steengangen op verschillende verdiepingen naar de schacht. Daar werden de kolenwagens in de liftkooi geplaatst en naar een losvloer in het bovengronds bedrijf omhoog getrokken.

figuur 2.1. Doorsnede van een Nederlandse steenkolenmijn



DOORSNEDEN VAN EEN NEDERLANDSE STEENKOLENMIJN

BOVENGRONDS BEDRIJF

- 1 wachttok
- 2 losvloer
- 3 wasseij en seveij
- 4 steenberg
- 5 ventilatiegebouw
- 6 ketelhuis
- 7 elektrische centrale
- 8 badgebouw
- 9 werkplaatsen en magazijn
- 10 mijnhoutterrein

11 opleidingsgebouw

- 12 watertoren
- 13 kneltoren
- 14 laboratorium
- 15 administratiegebouw

ONDERGRONDS BEDRIJF

- 16 intrekende schacht
- 17 uittrekkende schacht
- 18 luchtkanaal
- 19 luchtsluis

20 liftkabel

- 21 bovenkabel
- 22 onderkabel
- 23 veiligheidsvloer
- 24 landplaats
- 25 steengang
- 26 galerij
- 27 aanvoerband
- 28 afvoerband
- 29 handpijler
- 30 mechanische pijler
- 31 steenpost

32 boormachine

- 33 losmachine
- 34 opbraak
- 35 neerbraak
- 36 tuwenschicht
- 37 aardl
- 38 kom
- 39 storting

DIKTERREIN

- 32 sand
 - 33 klei
 - 34 mergel
 - 35 bruinkool
- CARHOON
- 36 sandsteen
 - 37 zandige leisteen
 - 38 leisteen
 - 39 steenkool
 - afgebouwde koollaag

Bij sommige mijnen waren skipschachten in bedrijf. In dat geval werden de aangevoerde kolenwagens ondergronds in een bunker geledigd. Uit deze bunker werd dan telkens een grote bak, de zogenaamde skip, gevuld met een inhoud van ongeveer 10 ton, en omhoog gebracht (DSM-Limburg, 1959). (1)

2.2. HET BOVENGRONDS BEDRIJF

2.2.1. Samenstelling van het opgebrachte produkt

Bij de winning van steenkool kwam eveneens een hoeveelheid onbruikbaar gesteente mee naar boven. Algemeen wordt aangenomen dat iedere ton produkt die van het koolfront naar de oppervlakte werd gebracht ongeveer 600-800 kg. steenkool en ongeveer 200-400 kg. onbruikbaar gesteente bevatte. Hierbij dient opgemerkt te worden dat het percentage onbruikbaar gesteente toenam met het aantal bedrijfsjaren van de kolenmijn, omdat in de loop der jaren koollagen van steeds slechtere kwaliteit werden ontgonnen. Dit effect werd voor een gering gedeelte verminderd door de verbetering van de scheidingstechnieken. Het percentage onbruikbaar gesteente lag bij de jongere mijnen (bijvoorbeeld Staatsmijnen Emma en Hendrik) tevens hoger dan bij de oudere mijnen (bijvoorbeeld Willem-Sophie en Oranje-Nassau) (Bakels, 1949; DSM-Limburg, 1959; Anonymus 1, 1954). Het mengsel van steenkool en stenen werd in het bovengronds bedrijf gescheiden. Deze scheiding werd grotendeels door middel van wasprocessen gerealiseerd.

2.2.2. Scheidingstechnieken

De technieken die in kolenmijnen in de oostelijke mijnstreek zijn toegepast bij de scheiding van steenkool en ander gesteente zijn in grote lijnen hetzelfde. In het hierna volgende wordt een globaal overzicht gegeven van de manier, waarop deze technieken in zijn werk gaan.

2.2.2.1. De stukskoolwasserij (fractie ca. 90-200 mm)

Alle opgevoerde schachtkool wordt in eerste instantie afgezeefd op een 90 mm zeef. Het materiaal dat op de zeef achterblijft, de zogenaamde overloop, wordt vervolgens nogmaals gezeefd op een 200 mm zeef. De overloop hiervan wordt met de hand gelezen op steen, hout en ijzer en daarna gebroken tot kleiner dan 200 mm. Het produkt 90-200 mm wordt in een deinwasmachine gescheiden in stukskool en steen + mixt (een mengsel van kool en steen) met

(1) zie literatuurlijst

behulp van een steensliksuspensie met een soortelijk gewicht van 1,65 (methode Staatsmijnen). In sommige gevallen werd als zware vloeistof een barietsuspensie gebruikt (methode de Vooy's) (DSM-Limburg, 1959).

De steen+mixt passeert een breker, waarna wordt afgezeefd op 40 mm. Het mixt-produkt kleiner dan 40 mm wordt later in de wasserij nagewassen. Het materiaal groter dan 40 mm is onbruikbaar en wordt gedeponeerd op de steenberg of als vulsteen ondergronds gebruikt. De werking van de stukoolwasserij is schematisch weergegeven in figuur 2.2 (DSM-Limburg, 1959; Meerman, 1959; Biezenaar, 1959).

2.2.2.2. De grofkool- en fijnkoolwasserij (fracties 0-90 mm en 0-8 mm)

Het produkt 0-90 mm wordt allereerst behandeld in een deinwasmachine. Hierdoor ontstaat een scheiding van steen, een mixt-produkt, dat later in de mixt-wasserij wordt nagewassen, en kool, die wordt afgezeefd op de diverse noten-soorten. De fractie kleiner dan 8 mm wordt ter verdere behandeling naar fijnkoolputten afgevoerd (zie ook fig.2.3).

Deze fijnkool (0-8 mm) wordt nagewassen in een fijnkool-deinwasmachine. Hierbij ontstaat een scheiding van fijnkool en mixt-produkt. De nagewassen fijnkool wordt met behulp van zeefbochten en centrifugaaldrogers ontwaterd. Het mixtprodukt uit de fijnkool-deinwasmachine wordt verder behandeld in de mixt-wasserij (Biezenaar, 1959).

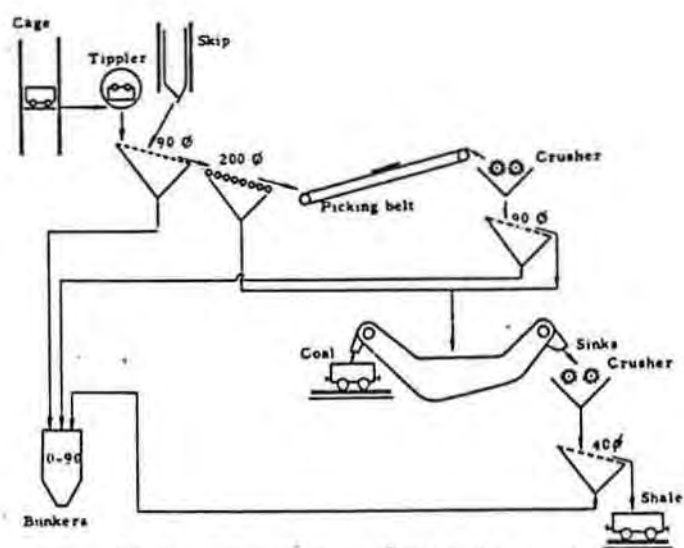
2.2.2.3. De mixt-wasserij

In het voorgaande is beschreven dat bij het wassen van stukool, grofkool en fijnkool steeds een hoeveelheid mixt als restprodukt overblijft. Uit deze mixt wil men het bruikbare materiaal (tot een bepaald asgehalte) terugwinnen. Hiertoe wordt de mixt in een trogwasmachine, waarin zich een vloeistof met een soortelijk gewicht van ongeveer 1,90 bevindt, nagewassen. Het soortelijk gewicht van de vloeistof is bepalend voor het asgehalte van het terug te winnen produkt. Als zware vloeistof wordt een magnetietsuspensie gebruikt. Het soortelijk gewicht van de vloeistof wordt bepaald door de hoeveelheid magnetiet in de suspensie.

Als eindprodukten van de mixt-wasserijen houdt men over een mixt-produkt met een asgehalte van ongeveer 37%, dat geschikt is als brandstof, en een steenprodukt, dat verder onbruikbaar is (zie fig.2.3).

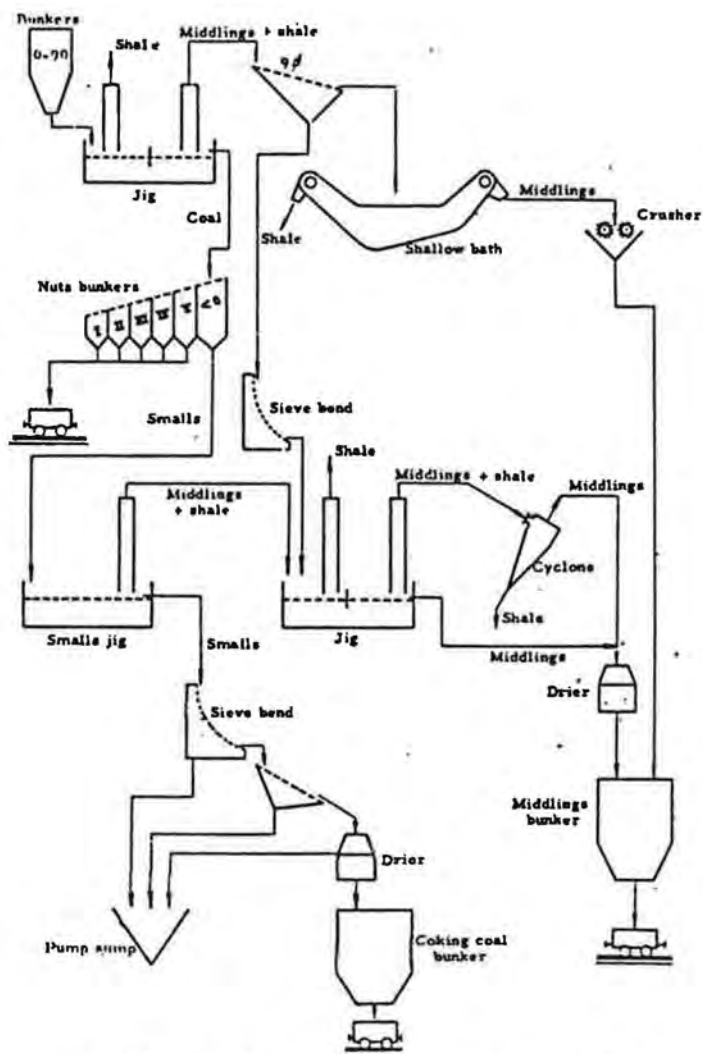
Aangezien de magnetietsuspensie die voor het maken van een zware vloeistof wordt gebruikt waardevol magnetiet bevat, wordt deze suspensie met behulp van een magneetseparator en een indikker zoveel mogelijk geregenereerd (Biezenaar, 1959; Meerman, 1959).

figuur 2.2. Schema van de stukkoolwasserij



— Schema van de stukkoolwasserij. *Sketch of lump coal washery*

figuur 2.3. Schema van de grofkool-, fijnkool- en mixtwasserij



— Schema van de grofkool-, fijnkool- en mixtwasserij. Sketch of medium-size coal, smalls and rewash plants

2.2.2.4. Flotatie

In de fracties kleiner dan 0,5-1 mm is het wassen op grond van de massa, zoals hierboven beschreven, niet aantrekkelijk meer. De deeltjes zinken en drijven nog wel in het medium, maar dit gebeurt zo langzaam, dat men er economisch gezien niet op kan wachten. In de meeste gevallen verdween het ongescheiden materiaal in deze fractie na ontwatering rechtstreeks naar de slikvijvers (Wark, 1959).

Bij de Staatsmijnen is in de vijftiger jaren de zogenaamde flotatie-techniek ontwikkeld om steenkooldeeltjes en steendeeltjes in de fractie kleiner dan 0,5-1 mm te kunnen scheiden. Deze scheiding vond plaats naar de oppervlakte-gesteldheid van het materiaal. Zij berust op het feit dat een kooldeeltje, als het de keuze heeft tussen water en lucht aan zijn grensvlak, lucht prefereert en een steendeeltje niet, en op het feit dat men het verschil in gedrag in dit opzicht kan versterken met behulp van chemicaliën.

Chemicaliën die werden toegepast, zijn onder andere gasolie (of crosoot-olie) en een aantal alcoholen (methyl-isobutyl-carbinol, di-isobutyl-carbinol, ruwe xylenolen en fenolen) (Meerman, 1959; Adema, 1962).

Bij Staatsmijn Emma werd het materiaal kleiner dan 0,5-1 mm in schuimmachines (systeem Kleinbentink) gescheiden onder toevoeging van 0,5 kg ruwe xylenolen en 0,5 kg gasolie per ton droog edelslik (Biezenaar, 1959).

Als restprodukten blijven over kolenslik en steenslik.

Het kolenslik dat in het schuim geconcentreerd is wordt afgefilterd op grote vacuumtrommels. Daarna is het nog te nat om verder te kunnen worden verwerkt; het wordt in ovens nagedroogd. Het steenslik is te fijn om op deze manier ontwaterd te worden. De concentratie van steendeeltjes in het steenslikwater (ca.3%) is ook veel lager dan die van kooldeeltjes in het schuim (ca.35%). Het zuiveren van het steenslikwater geschiedt door middel van gesensibiliseerde flocculatie (Meerman, 1962).

2.3. DE AFVALPROBLEMATIEK DER KOLENMIJNEN

2.3.1. Afvalwater en mijnslik

In het waswater is mijnslik in de fractie kleiner dan 0,5-1 mm aanwezig. Het waswater dient hiervan gezuiverd te worden om opnieuw in de wasserij gebruikt te kunnen worden. Hergebruik is noodzakelijk, omdat de hoeveelheden water die voor de wasserij nodig zijn gigantisch zijn. De scheiding van water en slik vindt onder andere plaats met behulp van cyclonen en door middel van decantatie (bezinking) en gesensibiliseerde flocculatie (uitvloeking) (Wark, 1959).

De eerste zuivering vindt plaats in een water-klaarinstallatie. Deze bestaat uit ronde klaarbassins waarin het vuile water centraal wordt aangevoerd. In het bassin treedt bezinking op, waarna het geklaarde water over de rand wegstroomt. De bezonken vaste stof wordt langs de conische bodem naar het midden geschraapt en verlaat als een geconcentreerde suspensie door een midden-aftap de tank. Zonder verdere hulpmiddelen bezinkt het slijk vrijwel niet.

2.3.1.1. Gesensibiliseerde flocculatie (waterzuivering)

Van de drie hierboven genoemde scheidingsmethoden van water en slijk worden de beste resultaten bereikt met gesensibiliseerde flocculatie. Omstreeks 1930 is deze methode ontwikkeld, waarbij chemische hulpstoffen een snelle uitzakking teweegbrengen. De methode berust op elektrische ladingverschijnselen.

De deeltjes vertonen aan hun oppervlak een negatieve elektrische lading en stoten elkaar dus af (Coulomb-Kracht). Ze worden echter ook tot elkaar aangetrokken (Van der Waals-Kracht). Het ligt er nu maar aan welke kracht de sterkste is, de Coulomb afstoting of de Van der Waals aantrekking. Met ionen en in het bijzonder met meerwaardige ionen van tegengesteld ladingsteken als dat van de deeltjes kan men nu de afstoting verkleinen, feitelijk door afscherming van de eigen oppervlaktelading; de nu overheersende aantrekking maakt dat de deeltjes aan elkaar plakken tot vlokken. Frappant bleek ook de werking van toevoegsels in de vorm van opgeloste grote organische moleculen, die dipolen of ladingen bevatten. En niet alleen wanneer zij zich als "positief" voordeden, maar ook bij "negatief" gedrag. Het negatieve aardappelmeel bijvoorbeeld bleek het slijk veel gevoeliger voor uitvloeking door electrolyt (ferrosulfaat) te maken.

Om een 30.000 mg/l (=3%) slijk bevattende suspensie uit te laten vlokken is een concentratie van 30 mg/l aardappelmeel en 100 mg/l ferrosulfaat nodig. Hiermee wordt een bezinkingssnelheid van 2 tot 4 meter per uur bereikt. Het overloopwater bevat dan ongeveer 100 mg/l vaste stof en is dus voor meer dan 99,5% geklaard (Meerman, 1962).

Naast het gebruik van gewoon (gekookt) aardappelmeel, het langs chemische weg in koud water oplosbaar gemaakte aardappelmeel ("flocgel") en ferrosulfaat, werd het uitvloekingsproces in sommige gevallen teweeggebracht met behulp van kalk (coagulatie). In later jaren werden door vooral Amerikaanse en West-Duitse firma's ook synthetische sensibilisatoren op de markt gebracht. Voorbeelden van deze sensibilisatoren zijn: Praestol, Sedipur P.K.3, Separan 2610 en Aero-floc (Biezenaar, 1959; Wark, 1959; Meerman, 1959, 1962). Chemisch gezien bestaan

deze middelen vaak uit polyacrylamiden of polyaminen; dit zijn organische verbindingen met een hoog molecuulgewicht (zeer lange ketens in de orde van grootte van 1000 atomen lang) (Anonymus 3, 1979).

In kolenwasserijen werd veelal mijnwater gebruikt dat zouten bevat. De sterk calciumhoudende waters (tweewaardig positief ion) laten zich in het algemeen gemakkelijk klaren, waters met veel natrium, in de vorm van natriumbicarbonaat moeilijk. Voor laatstgenoemde waters zijn in het algemeen de synthetische klarmiddelen economisch aantrekkelijk, voor calciumwaters is het aloude aardappelmeel soms nog het voordeligste (Meerman, 1962).

2.3.1.2. Slikverwerking

De restprodukten na het flocculatieproces zijn gezuiverd water, dat opnieuw in de waterijen kan worden gebruikt, en mijnslik. Dit mijnslik is door zijn hoge vochtgehalte niet stapelbaar. Wanneer men alleen maar over een steenberg bij de mijn beschikte, diende het slik eerst verder ontwaterd te worden door cycloneren of filtreren. De kosten hieraan verbonden zijn zeer hoog. Bij de kolenmijnen in de oostelijke mijnstreek heeft men echter in de meeste gevallen gebruik gemaakt van natuurlijke laagten in het terrein en van oude groeves. Het slik werd daar dan met behulp van pijpleidingen naartoe gepompt.

Een deel van het steenslik werd (en wordt nu nog steeds) na verdere drainage in steenfabrieken verwerkt tot baksteen. Het betreft hier het door middel van flotatie ontkoolde slik der Staatsmijnen. De hierin nog aanwezige hoeveelheid kool (ca. 20%) levert de thermische energie voor het bakken van de zogenaamde "Porisosteek" (Meerman, 1962).

Een ander deel van het slik dat niet door middel van flotatie ontkoold was, zoals bijvoorbeeld bij de Oranje-Nassau mijnen het geval was, werd na drainage in vele gevallen als brandstof in de ketelhuizen gebruikt (asgehalte ca. 45%) (Wark, 1959).

2.3.2. Mijnsteen

Uit de waterijen van de mijnen kwamen grote hoeveelheden mijnsteen die verder niet bruikbaar waren. In de loop der jaren is op zeer veel manieren getracht voor de mijnsteen een nuttige toepassing te vinden.

Zo is in het geval van Laura en Vereeniging bekend dat heden ten dage de mijnsteen op verschillende fracties wordt afgezeefd en dat de fractie 0-12 mm door de steenfabriek "Nivelsteen" gebruikt wordt voor het vervaardigen van bakstenen. Bij dit proces levert, evenals bij de fabricage van poriso-steek, de in het gesteente aanwezige steenkool voor een deel de thermische energie.

Mijnsteen werd en wordt vaak als "vulmiddel" gebruikt voor onder andere oude groeves, het egaliseren van industrieterreinen, het funderen van wegen etc. In het verleden is mijnsteen van de Staatsmijn Emma uit de lopende produktie gebruikt voor de Deltawerken. Algemeen kan worden gesteld dat mijnsteen in vrij grote hoeveelheden door de mijnbedrijven aan derden is verkocht. Om welke hoeveelheden het hierbij ging is meestal niet meer te achterhalen. Momenteel wordt nog steeds verder gezocht naar toepassingsmogelijkheden. Hoofdstuk 6 gaat hier dieper op in. Een gedeelte van de destijds door de mijnen geproduceerde mijnsteen is gebruikt als vulsteen in de afgewerkte mijngangen om mijnzakkingen te voorkomen. Om welke hoeveelheden het hierbij gaat is niet meer te achterhalen. De mijnsteen waarvoor geen toepassing werd gevonden belandde op de steenbergen. De hierop gedeponeerde hoeveelheden mijnsteen vormen dus slechts een deel van de totaal geproduceerde hoeveelheden mijnsteen.

3. DE INVLOED VAN MIJNSTEEN OP HET MILIEU

3.1. DE SAMENSTELLING VAN MIJNSTEEN IN DE OOSTELIJKE MIJNSTREEK

3.1.1. Soorten mijnsteen

De mijnsteen die bij de ontginning van kolenlagen in de oostelijke mijnstreek is vrijgekomen kan worden onderverdeeld in:

- schachtsteen

Mijnsteen die vrijkwam bij het maken van schachten en steengangen. Hierbij kwam kwalitatief goede zandsteen en kleisteen vrij. De grofheid van het materiaal varieert van gruis tot blokken van meer dan een ton.

- wassteen

Mijnsteen die vrijkwam door de scheiding van steenkool en steen via een nat proces. Het grootste gedeelte van de door de mijnen geproduceerde hoeveelheid mijnsteen is wassteen. De stukgrootte van de wasserijprodukten is in de regel kleiner dan 80 - 100 mm. Het materiaal bestaat voornamelijk uit kleisteen. Omdat de sortering van het materiaal beter is dan bij schachtsteen, komt wassteen eerder in aanmerking voor gebruik in de civiele techniek.

- gebrande mijnsteen

Indien in een mijnsteendeponie brand optreedt blijft als restprodukt rode, gebrande mijnsteen over. Deze mijnsteen is bestendiger en sterker dan de hiervoor genoemde soorten en kan voor vele doeleinden worden gebruikt.

Schachtsteen en wassteen zijn destijds door de mijnbedrijven door elkaar heen gestort op de steenstorten. Een aparte beschouwing van deze produkten is hierdoor niet meer mogelijk, aangezien mijnsteen altijd als een mengsel van deze twee produkten voorkomt. Alleen het onderscheid tussen gebrande (rode) en ongebrande (zwarte) mijnsteen is te handhaven. In de rest van dit hoofdstuk wordt dan ook alleen met dit onderscheid rekening gehouden.

3.1.2. De petrologische samenstelling van mijnsteen

3.1.2.1. Zwarte mijnsteen

De samenstelling van de mijnsteen in de oostelijke mijnstreek is niet in alle gevallen hetzelfde. Kleine variaties zijn mogelijk voornamelijk betreffende het koolgehalte. Globaal is de samenstelling van mijnsteen in petrologisch opzicht echter hetzelfde. Tabel 3.1 (RGD, 1980) geeft de petrologische samenstelling weer van mijnsteen van de steenberg Laura. Deze mijnsteen bevat relatief veel kool. Voor de meeste andere steenberg in de oostelijke mijnstreek zal het koolpercentage wellicht iets lager liggen. Voor wat betreft de andere gesteenten kan gesteld worden dat de gegevens in tabel 3.1 representatief zijn voor de petrologische samenstelling van mijnsteen in de oostelijke mijnstreek. Mijnsteen bestaat globaal voor 70% uit schalie (ook wel kleisteen genoemd), 20% uit zandsteen en 10% uit kool.

De schalie of kleisteen bezit een licht-grijze kleur in gedroogde vorm en bestaat voor een groot deel uit zeer fijne schubvormige deeltjes. Door de grote druk zijn de waterhuidjes van de kleideeltjes verdwenen en daarmee heeft de klei zijn specifieke eigenschappen, zoals bijvoorbeeld plasticiteit en het krimp- en zwelvermogen verloren. In de stenen zelf zijn soms dunne koollagen (dikte enkele microns tot meerdere mm's) opgesloten.

De zandsteen vormt in het mijnsteen materiaal de kleinste fractie. De zandsteen is zeer hard en goed bestand tegen mechanische invloeden. In de zandsteen komt ook kwarts voor.

De kool die in de mijnsteen is achtergebleven is voor een gedeelte terug te winnen en te gebruiken als brandstof. Door Laura en Vereniging wordt dit onder andere gedaan. In sommige gevallen kan de kool in een mijnsteen een vuurhaard onderhouden. Ten gevolge van het brandproces ontstaat dan de zogenaamde rode mijnsteen.

3.1.2.2. Rode mijnsteen

Er zijn geen onderzoeken bekend naar de petrologische samenstelling van rode, gebrande mijnsteen. Algemeen kan worden gesteld dat ten gevolge van het branden het percentage kool zal afnemen en de zandsteen- en schaliepercentages relatief zullen stijgen. Sulfides zullen deels omgezet worden in sulfaten en ijzer zal voor een deel in de vorm van het rode oxide haematiet voorkomen.

Tabel 3.1 Petrologische samenstelling steenberg Laura

gesteente benaming	oude mijnbenaming	%
1.kool	kool	1
2.kool met schalie	koollei en koolleistrepen	3
3.schalie met koolbandjes	leikool en leikoolstrepen	7
4.bitumineuze schalie	bitumineuze lei	10
5.bioturbate schalie en siltsteen met fossiele plantenwortels	stigmara lei	4
6.zwarte deels siltige schalie	lei	20
7.grijze siltsteen	weinig zandige lei	30
8.afwisseling fijne- en zandige siltsteenbandjes	zandige lei	10
9.fijnkorrelige zandsteen, soms kwartsietisch	sterk zandige lei en zandsteen	6
10.grofkorrelige zandsteen (inclusief kwartsiet, arkose, grauwacke	zandsteen, kwartsietische zandsteen	4
11.siltige schalie en siltsteen met siderietbandjes	siderietbandjes in lei	5
12.siderietconcentraties	siderietknollen	acc.

Vereenvoudigde samenstelling:

schalie.....69%
 zandige schalie en zandsteen...20%
 kolige schalie en kool.....11%

3.1.3. De chemisch-mineralogische samenstelling van mijnsteen

Van de chemisch-mineralogische samenstelling van mijnsteen is, zeker in Nederland, weinig bekend. In deze paragraaf is een overzicht gegeven van enige in de literatuur aangetroffen gegevens uit onderzoeken naar de chemisch-mineralogische samenstelling van mijnsteen.

3.1.3.1. Zwarte mijnsteen

Het rapport "Oriënterend onderzoek naar de materiaaleigenschappen van mijnsteen" (Niel, 1978) geeft een tabel waarin de globale chemische samenstelling van mijnsteen van de steenberg Laura is weergegeven. Deze tabel is overgenomen als tabel 3.2. De methode volgens welke de mijnsteen is geanalyseerd is niet in het rapport vermeld. Ter vergelijking is in het zelfde rapport een tabel opgenomen die de gemiddelde chemische samenstelling van Engelse mijnsteen weergeeft. Deze tabel is als tabel 3.3 overgenomen. De methode van analyseren van deze mijnsteen is eveneens niet vermeld. Uit de tabellen 3.2 en 3.3 blijkt dat de samenstelling van zwarte mijnsteen van de steenberg Laura en de gemiddelde samenstelling van Engelse zwarte mijnsteen vergelijkbaar is.

In het rapport is vermeld dat in de mijnsteen van de steenberg Laura de volgende mineralen aangetroffen zijn:

- kwarts,
- glimmer (verzamelnaam van kleimineralen waartoe ook illiet behoort),
- kaoliniet,
- veldspaat,
- chloriet,
- sideriet,
- pyriet,
- dolomiet,
- calcië,
- koolstof.

N.B. Vochtgehalte van mijnsteen

In de deponie bevat mijnsteen een gemiddeld vochtgehalte van ca. 7%. Dit water is van groot belang bij de chemische en biologische reacties die plaats kunnen vinden in een mijnsteenstort. Het vocht is voor een belangrijk deel geconcentreerd in de schalies.

Tabel 3.2 Globale chemische samenstelling mijnsteen steenberg Laura

bestanddelen	% (gewicht)
gloeiverlies	13 - 32
SiO ₂	36 - 55
Al ₂ O ₃	14 - 23
Fe ₂ O ₃	3 - 7
CaO	5 - 1,5
MgO	1 - 2
S	0,1 - 1
K ₂ O	3 - 6

tabel 3.3 Gemiddelde chemische samenstelling Engelse mijnsteen

elementaire bestanddelen	% (gewicht)
gloeiverlies	16
SiO ₂	52
Al ₂ O ₃	19
Fe ₂ O ₃	6
TiO ₂	1
CaO	0,7
MgO	1,2
Na ₂ O	0,4
K ₂ O	3
SO ₃	0,4
S	-

In het rapport "De toepasbaarheid van mijnsteen in de waterbouw" (Laan, 1983) wordt enige globale informatie gegeven betreffende mineralogische analyses van enkele monsters mijnsteen uit Zuid-Limburg. Hieruit blijkt dat de kleisteen (ca. 70% van de mijnsteen) voornamelijk bestaat uit illiet en een geringe hoeveelheid kaoliniet. Montmorilloniet komt hierin bijna niet voor. Dit betekent dat de chemische verwerking van de kleisteen gering is. Indien de kleisteen grotendeels uit montmorilloniet zou bestaan zou de mijnsteen snel uiteenvallen en chemisch verwerken onder invloed van (zuur) water.

In het rapport "Onderzoek naar bodemverontreiniging op het Laura-terrein te Eygelshoven" (Ritt, 1985) zijn een aantal analyseresultaten van grondmonsters opgenomen. Zwarte mijnsteen ligt in een laag van enkele meters dikte over het Laura-terrein verspreid. Alle grondmonsters zijn tussen 0,0 en 0,5 meter diepte genomen en bestaan dus volledig uit zwarte mijnsteen. Er zijn 3 mengmonsters samengesteld en geanalyseerd op de aanwezigheid van zware metalen, vluchtige aromaten en polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's). De analysemethoden zijn niet in het rapport vermeld. Voor een toelichting op het onderzoek en de locatieaanduiding van de monsterplaatsen zij verwezen naar het rapport.

De analyseresultaten zijn in 3 tabellen weergegeven die hier als de tabellen 3.4 a t/m c zijn overgenomen. In de tabellen zijn tevens de A- en B-waarde voor grond (Leidraad Bodemsanering) van verschillende stoffen aangegeven. Uit de tabellen is af te leiden dat:

- in de zwarte mijnsteen van mengmonster 1 een gehalte aan molybdeen aanwezig is dat de A-waarde voor grond overschrijdt,
- in de zwarte mijnsteen van mengmonster 3 een overschrijding van de B-waarde voor grond optreedt voor wat betreft het molybdeengehalte,
- de gehalten aan ethylbenzeen in de mengmonsters 1 en 2 de A-waarde voor grond overschrijden,
- alle overige concentratieniveaus beneden de gestelde A-waarden voor grond liggen.

In het rapport "Oriënterend bodemonderzoek op de steenberg te Kerkrade" (Waeyen, 1985) zijn de analyseresultaten weergegeven van een aantal bodemonsters afkomstig van het Willem-Sophie terrein. Uit de bodemonsters zijn een aantal mengmonsters samengesteld die zijn geanalyseerd op polycyclische aromatische koolwaterstoffen, extraheerbare organische halogeniden, Cr, Ni, Cu, Zn, As, Cd, Sn en Pb. De analyse op metalen, cyanides en

Tabel 3.4 a Zware metalen in zwarte mijnsteen op het Laura-terrein te Eygelshoven (concentraties in mg/kg op droge stof)

component	mengmonster			A- waarde grond	B- waarde grond
	1	2	3		
chrom (Cr)	15	16	20	100	250
cobalt (Co)	5	4	9	20	50
nikkel (Ni)	20	28	23	50	100
koper (Cu)	24	27	24	50	100
zink (Zn)	42	41	39	200	500
arseen (As)					
molybdeen (Mo)	18	6	70	10	40
cadmium (Cd)	0,09	0,19	0,09	1	5
tin (Sn)	<7	<7	<7	20	50
barium (Ba)	86	185	79	200	400
kwik (Hg)	<0,2	<0,2	<0,2	0,5	2
lood (Pb)	24	27	31	50	150

Tabel 3.4 b Vluchtige aromaten in zwarte mijnsteen op het Laura-terrein te Eygelshoven (concentraties in mg/kg droge stof)

	mengmonster			A- waarde grond	B- waarde grond
	1	2	3		
benzeen	<0,1	<0,1	<0,1	0,01	0,5
tolueen	<0,05	<0,05	<0,05	0,05	3
ethylbenzeen	0,41	0,37	<0,05	0,05	5
ortho xyleen	<0,05	<0,05	<0,05		
meta xyleen	0,06	<0,05	<0,05		
para xyleen	<0,05	<0,05	<0,05		
propyl benzeen	<0,05	<0,05	<0,05		

Tabel 3.4 c Polycyclische aromatische koolwaterstoffen in zwarte
mijnsteen op het Laura-terrein te Eysgelshoven
(concentraties in mg/kg droge stof)

	mengmonster			A- waarde grond	B- waarde grond
	1	2	3		
naftaleen	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	5
acenaftyleen	<0,1	<0,1	<0,1		
acenaftheen	<0,1	<0,1	<0,1		
fluoreen	<0,05	<0,05	<0,05		
fenantreen	0,05	<0,05	0,06	0,1	10
anthraceen	0,01	<0,01	0,01	0,1	10
fluorantheen	0,08	<0,05	<0,05	0,1	10
pyreen	<0,01	<0,01	<0,01	0,1	10
benzo(a)anthraceen	<0,01	<0,01	<0,01		
chryseen	0,01	0,01	0,02		
benzo(b)fluorantheen	<0,01	<0,01	<0,01		
benzo(k)fluorantheen	<0,01	<0,01	<0,01		
benzo(a)pyreen	<0,01	<0,01	<0,01	0,05	1
dibenzo(ah)anthr.	<0,05	<0,01	<0,01		
benzo(ghi)peryleen	<0,01	<0,01	<0,01		
indeno(123cd)pyreen	<0,01	<0,01	<0,01		
totaal	<0,1	<0,1	<0,1	1	20

sulfide heeft plaatsgevonden in het laboratorium van Provinciale Waterstaat in Limburg. De analysemethode is in het rapport niet vermeld. De analyse van PCK's en EOX geschiedde in het laboratorium van Bergschot Centrum voor Onderzoek (B.C.O.) te Breda. De analysemethodieken van B.C.O. zijn:

- EOX : extractie volgens RIJM met aceton/petr.ether
- PCK's : extractie via soxhlet met dichloorethaan. detectie met fluorescentie detectie na HPLC- scheiding analoog
NEN 6524

Door bestudering van de terreinomstandigheden is vastgesteld dat het mengmonster CM5-1 grotendeels bestaat uit zwarte mijnsteen. Er is mogelijk sprake van bijmenging met enige leem van de onderliggende bodem. Aangezien de exacte hoeveelheid bijgemengde leem niet bekend is hebben de analyse cijfers geen directe kwantitatieve waarde. De resultaten hebben echter wel een kwalitatieve waarde; ze geven weer welke stoffen in de zwarte mijnsteen aanwezig zijn. Voor een verdere toelichting op het onderzoek en de locatieaanduiding van de monsterplaatsen zij verwezen naar het rapport.

De resultaten zijn in het rapport in een tabel weergegeven die hier is overgenomen als tabel 3.5. Bij deze tabel zijn de A- en B-waarden voor grond (Leidraad Bodemsanering) van verschillende stoffen aangegeven. In deze tabel zijn ook opgenomen de mengmonsters CM1-1, CM2-1, CM3-1 en CM4-1. De analyseresultaten van de mengmonsters CM1-1, CM2-1 en CM3-1 die allen grotendeels bestaan uit rode mijnsteen zijn in deze paragraaf onder "rode mijnsteen" beschreven. Het mengmonster CM4-1 bestaat grotendeels uit mijnslik ("Diederik"). De analyseresultaten van dit mengmonster zijn beschreven in par.4.1.2.

Uit de analyseresultaten van mengmonster CM5-1 blijkt dat:

- de concentraties van de geanalyseerde polycyclische aromatische koolwaterstoffen in alle gevallen de A-waarde voor grond en in sommige gevallen de B-waarde voor grond overschrijden,
- de PCK som boven de gestelde B-waarde voor grond ligt,
- de concentraties van Ni en Cu de A-waarde voor grond overschrijden.

Het analyseren van mijnsteenmonsters op polycyclische aromatische koolwaterstoffen heeft tot nu toe in Nederland vrijwel niet plaatsgevonden. Ook omtrent de gehalten aan polycyclische aromatische koolwaterstoffen in steenkool is

Tabel 3.5. Analyseresultaten van grondmonsters, terrein Willem-Sophie te Kerkrade (gehalten in p.p.m.)

soort monster:	gezeefde rode mijnsteen	rode mijn- steen	rode mijn- steen	mijn- slik	zwarte mijn- steen	A- waarde grond	B- waarde grond
monstercode:	CM1-1	CM2-1	CM3-1	CM4-1	CM5-1		
controlegeten:	1-9	10-16	17-19	21-22	23-24		
Naftaleen	0,016	0,14	0,80	1,0	0,73	0,1	5
Acenafteen	0,22	0,75	0,05	8,8	11	0,1(1)	10(1)
Fluoreen	0,03	0,14	0,08	1,4	1,5	0,1(1)	10(1)
Fenanthreen	0,06	0,32	0,33	2,5	1,2	0,1	10
Anthraceen	0,01	0,04	0,04	0,87	0,40	0,1	10
Fluorantheen	0,08	0,30	0,32	4,6	2,9	0,1	10
Pyreen	0,05	0,18	0,21	0,02	1,3	0,1	10
Benzo(a)anthr.	0,04	0,15	0,22	3,5	1,7	0,1(1)	10(1)
Chryseen	0,05	0,19	0,17	3,0	2,0	0,1(1)	10(1)
Benzo(b)fluor	0,05	0,14	0,18	2,7	1,7	0,1(1)	10(1)
Benzo(k)fluor	0,02	0,07	0,07	1,4	0,94	0,1(1)	10(1)
Benzo(a)pyreen	0,04	0,12	0,12	2,2	1,8	0,05	1
Dibenzo(ah)anthr	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	0,17	0,1(1)	10(1)
Benzo(ghi)pery.	0,04	0,07	0,04	0,95	0,45	0,1(1)	10(1)
Indeno(123cd)pyr.	0,04	0,10	0,14	1,8	1,4	0,1(1)	10(1)
PCK som	1	2,7	2,8	35	29	1	20
EOX	0,05	0,05	0,05	0,06	0,05		
Cr	140	124	124	109	83	100	250
Ni	63	58	58	54	38	50	100
Cu	68	62	78	62	35	50	100
Zn	94	88	97	107	81	200	500
As	36	19,6	16,4	29	13,4	20	30
Cd	0,67	0,53	0,52	0,88	0,53	1	5
Sn	13	13	12	12	13	20	50
Pb	53	50	53	81	34	50	150
Sulfide	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2		

(1) hier is de referentie voor fenanthreen gehanteerd.

weinig bekend. In de USA is naar concentraties van PCK's in steenkool onderzoek verricht. In het rapport "Preventie van bodemverontreiniging bij de opslag van steenkool" (VROM, 1983) is een tabel opgenomen die de concentraties aan polycyclische aromaten, bepaald in een niet-waterig extract van gemalen bitumineuze steenkool, weergeeft. De exacte analysemethode is in het rapport niet vermeld. De tabel is overgenomen als tabel 3.6. Uit deze tabel kan worden afgeleid welke stoffen eventueel in mijnsteen kunnen worden aangetroffen.

Naast de hierboven genoemde gegevens is geen verdere informatie voorhanden die betrekking heeft op de chemische of de mineralogische samenstelling van zwarte mijnsteen in Limburg.

Naar de chemisch- mineralogische samenstelling van zwarte mijnsteen is in Noordrijn-Westfalen (West-Duitsland) door MATTHES e.a.(1982) onderzoek verricht. Aangezien deze mijnsteen veel overeenkomsten vertoont met Limburgse mijnsteen zijn de resultaten van dit onderzoek hier weergegeven. Bovendien is het onderzoek een zeer goed voorbeeld van de wijze waarop de milieueffecten van mijnsteen op het grond- en oppervlaktewater kunnen worden bestudeerd. In eerste instantie is bij dit onderzoek de chemisch- mineralogische samenstelling van de betreffende mijnsteen bestudeerd. Voor een toelichting op het onderzoek zij verwezen naar het artikel. De mineralogische samenstelling van mijnsteen in Noordrijn-Westfalen is weergegeven in tabel 3.7, de chemische samenstelling in tabel 3.8. Bij het onderzoek naar de chemische samenstelling is ook aandacht besteed aan zware metalen. Hierbij is gebleken dat sommige zware metalen zoals Cr, Ni en Pb in hoge concentraties aanwezig zijn.

3.1.3.2. Rode mijnsteen

In het rapport "Oriënterend bodemonderzoek op de steenberg te Kerkrade" (Waeyen, 1985) zijn de resultaten van een aantal chemische analyses van bodemonsters afkomstig van het Willem-Sophie terrein weergegeven. Het betreft hier analyses van 3 monsters:

- mengmonster CM1-1 : dit monster bestaat grotendeels uit uitgezeefde rode mijnsteen met mogelijk enige bijmenging van leem van de onderliggende bodem

Tabel 3.6 Polycyclische aromaten, bepaald in een niet-waterig extract van gemalen bitumineuze steenkool (USA)

mogelijke stoffen	concentratie in mg/kg van het extract
benzeenderivaten	15.900
cyclopentanonfthaleenderivaten	8.100
fenanthreenderivaten	7.300
cyclopentano-fenanthreenderivaten	2.900
pyreenderivaten	3.400
chryseenderivaten	2.300
cyclopentano-chryseenderivaten	1.600
benzo(a)pyreenderivaten	2.200

Tabel 3.7 Globale mineralogische samenstelling van mijnsteen in Noordrijn-Westfalen (West-Duitsland)

mineralen	volumeprocenten
mica en kleimineralen	50 - 70
kwarts	15 - 30
carbonaten	5 - 10 a 20

Tabel 3.8 Gemiddelde chemische samenstelling van mijnsteen van 11 locaties in Noordrijn- Westfalen (West- Duitsland)

bestanddelen	gemiddelde (mg/kg)	Range (mg/kg)	A-waarde grond mg/kg
SiO ₂	490.350	410.300 - 548.800	
TiO ₂	8.360	7.250 - 9.140	
Al ₂ O ₃	208.240	191.000 - 262.000	
Fe ₂ O ₃	54.090	30.300 - 89.900	
MnO	800	350 - 1.410	
MgO	15.060	4.230 - 19.700	
CaO	5.310	1.620 - 11.900	
SrO	150	120 - 200	
BaO	610	430 - 870	
Na ₂ O	2.650	1.600 - 4.790	
K ₂ O	34.320	21.700 - 43.000	
P ₂ O ₅	1.370	770 - 1.770	
SO ₄	6.010	2.090 - 10.970	
Cl	280	113 - 590	
Cd	0,5	0,1 - 1,1	1
Co	15	8 - 19	20
Cr	105	65 - 205	100
Cu	58	33 - 80	50
Ni	68	33 - 124	50
Pb	87	30 - 170	50
Zn	122	29 - 225	200
N(tot.)	2.543	1.907 - 4.367	
C(tot.)	73.264	23.700 - 182.200	
C(org.)	71.791	22.900 - 178.200	
CO ₂	5.400	1.100 - 14.600	

- mengmonster CM2-1 : deze monsters bestaan grotendeels uit ongesorteerde rode mijnsteen met mogelijk enige bijmenging van van leem van de onderliggende bodem en CM3-1

Voor een toelichting op het onderzoek zij verwezen naar par. 3.1.3.1. onder "zwarte mijnsteen".

De resultaten van de analyses zijn in het rapport in een tabel weergegeven. Deze tabel is overgenomen als tabel 3.5. Bij deze tabel zijn de A- en B-waarden voor grond (Leidraad Bodemsanering) van verschillende stoffen aangegeven. De analysecijfers hebben, in verband met de mogelijke onzuiverheid van de rode mijnsteen-monsters (mogelijke bijmenging met leem), geen directe kwantitatieve waarde. De resultaten hebben echter wel kwalitatieve waarde; er is uit af te leiden welke stoffen in de mijnsteen aanwezig zijn.

Uit de analyseresultaten blijkt dat:

- in mengmonster CM1-1 de concentraties van acenafteen en de metalen Cr, Ni, Cu en Pb de A-waarde voor grond overschrijden,
- in mengmonster CM1-1 de concentratie van arseen (As) de B-waarde voor grond overschrijdt,
- in de mengmonsters CM2-1 en CM3-1 de concentraties van naftaleen, fenantheen, fluorantheen, pyreen, benzo(a)anthraceen, chryseen, benzo(b)fluor en benzo(a)pyreen de A-waarde voor grond overschrijden. In het mengmonster CM2-1 overschrijden tevens de concentraties van acenafteen en fluoreen de A-waarde voor grond en in het mengmonster CM3-1 overschrijdt tevens de concentratie van indeno(123cd)pyreen de A-waarde voor grond,
- in de mengmonsters CM2-1 en CM3-1 de PCK som de A-waarde voor grond overschrijdt,
- in de mengmonsters CM2-1 en CM3-1 de concentraties van Cr, Ni, Cu en Pb de A-waarde voor grond overschrijden.

Verdere gegevens betrekking hebbend op chemische analyse van Limburgse rode mijnsteen zijn niet voorhanden. Ook over de mineralogische samenstelling van Limburgse rode mijnsteen zijn geen verdere gegevens aangetroffen.

In het rapport "oriënterend onderzoek naar de materiaaleigenschappen van mijnsteen" (Niel, 1978) is een tabel aangetroffen waarin de gemiddelde chemische samenstelling van Engelse rode mijnsteen is aangegeven. Deze tabel is als tabel

3.9 overgenomen. De methode volgens welke de mijnsteen is geanalyseerd is niet in het rapport vermeld. Aangezien de gemiddelde samenstelling van zwarte Engelse mijnsteen vergelijkbaar is met zwarte Limburgse mijnsteen (steenbergr Laura) mag worden aangenomen dat ook de rode Engelse mijnsteen qua samenstelling veel overeenkomsten zal vertonen met de Nederlandse.

In het zelfde rapport is tevens een onderzoek beschreven naar de chemische samenstelling van zwarte Limburgse mijnsteen, die na gloeien bij 1050 graden Celcius is geanalyseerd. Onduidelijk hierbij is echter in hoeverre het materiaal is omgevormd ten gevolge van de hoge temperatuur en diens gevolg afwijkt van de rode mijnsteen zoals die bijvoorbeeld in de steenberg van de Willem-Sophie aanwezig is. Het onderzoek is uitgevoerd met 2 mengmonsters zwarte mijnsteen van de steenberg Oranje-Nassau III, 1 mengmonster van de steenberg Oranje-Nassau I en 3 separate monsters van de steenberg Wilhelmina. De analyseprocedure was als volgt:

- fijnmalen van het gesorteerde monster,
- verassen bij 1050 graden Celcius,
- ontsluiten van de as door smelten in natriumperoxide,
- analyseren van de bestanddelen.

Als gevolg van deze procedure werden alle oorspronkelijk niet oplosbare zwavelverbindingen (onder andere pyriet en organisch gebonden zwavel) in oplosbare sulfaten omgezet. In het analyseresultaat wordt alleen het totale zwavel (als SO_3) aangegeven. Bij het gloeien van mijnsteen verdwijnen tevens de kleimineralen. Er ontstaat een matrix van niet gekristalliseerde silicaten, waarin zich kwarts, mulliet- en veldspaatkristallen vormen. Ook treft men nog wat haemathiet (Fe_2O_3) en gehleniet ($2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$) als insluitingen aan (Niel, 1978). De resultaten van het onderzoek van de monsters zijn in een tabel weergegeven die hier als tabel 3.10 is overgenomen.

3.1.4. Additionele verontreinigingen in mijnsteen

Additionele verontreinigingen in mijnsteen kunnen worden onderscheiden in 2 typen, namelijk verontreiniging van wasstenen als gevolg van chemische stoffen destijds aanwezig in het waswater, en verontreiniging van mijnsteen als gevolg van het dumpen van diverse afvalstoffen op het steenstort. Door de bestudering van de vroeger door de mijnen in de oostelijke mijnstreek toegepaste wasprocessen kan mogelijk

Tabel 3.9 Gemiddelde chemische samenstelling Engelse rode mijnsteen

elementaire bestanddelen	mg/kg
gloeiverlies	19.000 - 63.000
SiO ₂	550.000 - 610.000
Al ₂ O ₃	210.000 - 310.000
Fe ₂ O ₃	38.000 - 62.000
TiO ₂	1.000 - 3.000
CaO	1.000 - 11.000
MgO	8.000 - 15.000
Na ₂ O	2.000 - 7.000
K ₂ O	20.000 - 30.000
SO ₃	1.000 - 30.000
S	0 - 1.000

Tabel 3.10 Chemische analyse van mijnsteen (mg/kg begrepen op as)

	ON III nr.2,3,4.	ON III nr.6,7,8.	ON II nr.16,17,18	Wilhelmina nr.19	nr.20	nr.21
SiO ₂	613.400	578.000	608.400	613.200	633.600	588.600
Al ₂ O ₃	205.000	251.900	232.300	221.700	194.100	264.600
Fe ₂ O ₃	62.800	57.900	48.300	61.900	65.700	51.700
CaO	13.400	8.800	6.300	20.600	9.600	5.400
MgO	14.900	16.400	15.200	14.300	14.800	17.200
K ₂	52.300	64.900	60.700	52.000	52.300	72.400
SO ₃ (1)	51.400	41.700	32.300	29.400	33.500	12.400
totaal	1.013.200	1.019.600	1.003.500	1.013.100	1.003.600	1.012.300

(1) totaal zwavel als SO₃

achterhaald worden welke chemische stoffen eventueel in de wassteen zijn achtergebleven. Over de wasprocessen is echter vrij summier informatie voorhanden. Het scheiden van het materiaal gebeurde in de meeste gevallen met behulp van een steensliksuspensie of een magnetietsuspensie. Mogelijk is hierdoor in de wassteen het ijzergehalte iets verhoogd. In een klein aantal gevallen is voor de scheiding van het materiaal gebruik gemaakt van een barietsuspensie. Mogelijk zijn in die gevallen resten hiervan in de wassteen aan te treffen.

Ten aanzien van de verontreiniging van mijnsteen door dumping van afvalstoffen op de steenbergen geeft de literatuur weinig informatie. Het is bekend dat verontreiniging van mijnsteen ten gevolge van dumping van dieselolie heeft plaatsgevonden. Dieselolie was de brandstof voor de op de terreinen rangerende locomotieven. Ook zijn in een aantal gevallen slakken, vliegas en puin op de steenbergen terecht gekomen. De opgetreden verontreinigingen zijn echter lokaal van aard en zijn indien bekend (via literatuurstudie, gesprekken met referenten en/of veldonderzoek) in hoofdstuk 5 van deel B van het rapport vermeld.

3.2. GEVOLGEN VAN MIJNSTEENDEPONIE VOOR HET MILIEU

3.2.1. Het pyriet-oxidatieproces in een mijnsteendeponie

Mijnsteen in de oostelijke mijnstreek is van nature pyriethoudend (VROM, 1983; Laan, 1983; Niel, 1978; Ritt, 1977; Gemmell, 1977; Bradshaw, 1980; Dost, 1973). De percentages pyriet in Limburgse mijnsteen zijn niet exact bekend. In het rapport "oriënterend onderzoek naar de materiaaleigenschappen van mijnsteen" is vermeld dat pyriet (FeS_2) een der meest voorkomende verontreinigingen in mijnsteen is (Niel, 1978). Percentages worden echter ook in dit rapport niet genoemd.

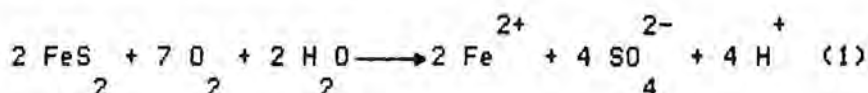
In het boek "The restoration of land" (Bradshaw, 1980) zijn enige pyrietpercentages in mijnsteen aangegeven. Het betreft hier verschillende mijnsteensoorten uit Groot-Brittanie. In tabelvorm zijn per mijnsteensoort achtereenvolgens het percentage pyriet, het percentage carbonaat en de zuurgraad (pH) weergegeven. De tabel is overgenomen als tabel 3.11. De aciditeit van het materiaal wordt voornamelijk bepaald door pyriet- en carbonaatgehalte, waarbij het carbonaatgehalte de voornaamste factor is. In Zuid-Limburg ligt de pH van mijnsteen gemiddeld boven 7. Vermoedelijk liggen de pyrietgehalten hier gemiddeld iets lager en/of de carbonaatgehalten iets hoger.

Tabel 3.11 Pyrietgehalte, carbonaatgehalte en pH van Engelse mijnsteen

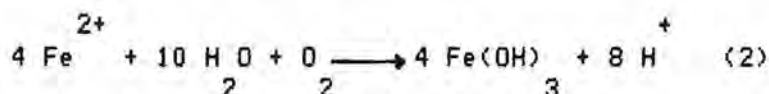
mijnsteen	% pyriet	% carbonaten	pH
Florence	1,72	4,39	6,6
Bold	3,71	2,73	5,9
Heath	1,04	3,88	5,0
Sutton manor	1,21	1,07	3,8
Littleton	0,58	0	2,3
Harrington	0,62	0	2,3
Silverdale	0,94	0,05	2,1

Het proces van pyrietoxidatie verloopt als volgt.

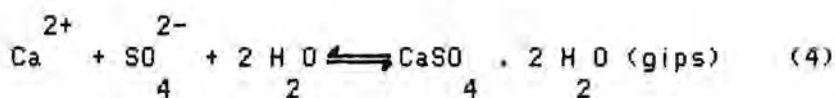
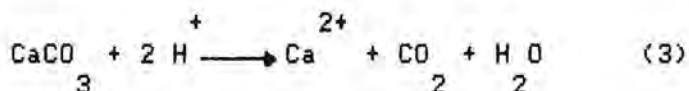
In de mijnsteen is een hoeveelheid pyriet aanwezig. Deze pyriet kan onder aerobe omstandigheden worden geoxideerd volgens de chemische reactie (Kleinmann, 1982):



Uit (1) blijkt dat voor de oxidatie van pyriet zuurstof en water nodig is. Water is in mijnsteendeponieën voldoende aanwezig in de schalies; het vochtgehalte bedraagt gemiddeld ca. 7%. Het proces van pyrietoxidatie kan aanzienlijk worden versneld onder invloed van bacteriën, met name *Thiobacillus ferrooxidans* (Kleinmann, 1982; Gemmell, 1977; Bradshaw, 1980; Dost, 1973). Dit is een ijzeroxiderende bacterie, die vooral actief is op het grensvlak van lucht en water. Er is in laboratoriumproeven aangetoond dat na iedere regenbuiinfiltratie *T. ferrooxidans* de snelheid van pyrietoxidatie (in een pyrietrijke bodem) 3-4 dagen deed toenemen alvorens weer tot het oude tempo te vervallen (Kleinmann, 1982). Het tweewaardig ijzer wordt geoxideerd tot driewaardig ijzer volgens de chemische reactie (Kleinmann, 1982):

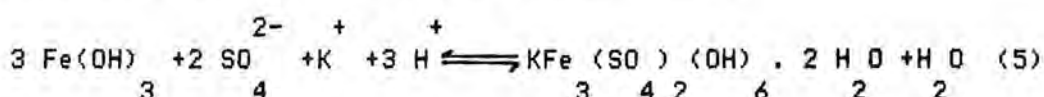


Het oxidatieproces verloopt in het algemeen langzaam bij hoge pH en snel bij lage pH. De snelheid van pyrietoxidatie is dus sterk afhankelijk van de samenstelling van de mijnsteen. Vooral de aanwezigheid van neutraliserende componenten zoals carbonaten kunnen remmend werken op de verlaging van de pH en op de uitspoeling van sulfaten. In de aanwezigheid van voldoende carbonaten zullen de volgende reacties plaatsvinden (Dost, 1973):

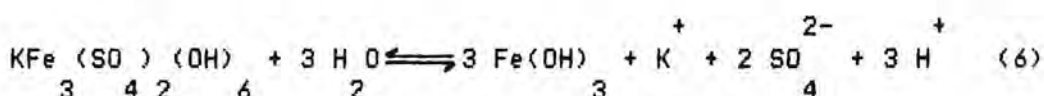


Indien de aanwezige hoeveelheid CaCO_3 te gering is zal het bufferende systeem van (3) niet meer werken en gaat de pH dalen. In dat geval zullen de reacties (1) en (2) weer de overhand krijgen. Er worden dan veel H^+ ionen gevormd en er kan

ijzersulfaat (jarosiet) gevormd worden, dat het systeem buffert bij een pH van 3,8. De reactie verloopt als volgt:



Het jarosiet kan vooral in oudere deponieën waaruit H^+ en SO_4^{2-} ionen zijn verdwenen weer worden omgezet volgens de reactie:



Hierdoor komt dan opnieuw een hoeveelheid sulfaat vrij.

Resumerend kan worden gesteld dat de pH van mijnsteen in een deponie wordt beïnvloed door:

- de tijdsduur van blootstelling aan aerobe omstandigheden,
- de aanwezigheid van *T. ferrooxidans*-bacteriën,
- de aanwezigheid van ijzerpyriet en (aluminium)hydroxide,
- de aanwezige hoeveelheid zuur-neutraliserende materialen zoals calcium- en magnesiumcarbonaten en sideriet,
- het optreden van brand in een deponie (door brand treedt versnelde oxidatie van pyriet op),
- de temperatuur (positieve correlatie),
- de hoeveelheid neerslag (negatieve correlatie).

Zolang in de mijnsteendeponieën in de oostelijke mijnstreek nog voldoende neutraliserende materialen (carbonaten) aanwezig zijn, zal de pH hoog blijven en zullen de gevolgen voor oppervlaken- en grondwater gering zijn. Onbekend is hoelang deze bufferende werking van carbonaten zal blijven bestaan. Nader onderzoek hiernaar is gewenst. Op het moment dat de pH gaat dalen zullen sulfaten gemakkelijker uitspoelen en kan de mobiliteit van in de mijnsteen aanwezige zware metalen toenemen. Er is dan ook sprake van verzuring van de bodems en het grondwater.

3.2.2. Het uitlooggedrag van mijnsteen

Bij bestudering van de gevolgen van mijnsteendeponie voor het milieu is het van belang te weten in welke hoeveelheden uitloogbare stoffen die schadelijk voor het milieu kunnen zijn in mijnsteen voorkomen. Deze hoeveelheden vormen een indicatie voor de hoeveelheden stoffen die naar het grond- en oppervlaktewater uitspoelen. De hoeveelheden uitloogbare stoffen in mijnsteen kunnen onder andere worden vastgesteld met behulp van percolatieproeven en extractiemethoden.

In het rapport "Onderzoek naar de afgifte van milieuschadelijke bestanddelen door mijnsteen van de ON I in zilverzandgroeve" (Bindels, 1979) is een onderzoek beschreven naar de afgifte van milieuschadelijke bestanddelen door mijnsteen in de groeve Beaujean. In het kader van dit onderzoek werd de mijnsteen van de Oranje-Nassau I geanalyseerd op gehalten aan oplosbare bestanddelen en gehalten aan extraheerbare zware metalen. Er zijn in totaal 6 monsters geanalyseerd, 4 van de zuidzijde van de steenberg (Z1,Z2,Z3,Z4) en 2 van de noordzijde (N1,N2). Voor de exacte ligging van de monsterplaatsen en de beschrijving van de monsternamen zij verwezen naar het rapport.

Bij de chemische analyse van de monsters werd een onderscheid gemaakt tussen de direct bij percolatie met regenwater oplosbare bestanddelen en de niet direct oplosbare, maar wel potentieel aanwezige extraheerbare bestanddelen. Er werden daarom twee extracties uitgevoerd:

1. extractie met water
2. extractie met azijnzuur (ca. 4N)

De analysering van de monsters heeft als volgt plaatsgevonden:

- de monsters werden verkleind tot 8 mm., dan homogeen gemengd en verdeeld tot een deelmonster van ca. 1 kg overbleef,
- na droging bij 105 graden werd dit deelmonster gemalen tot het de zeef van 0,500 mm passeerde,
- 200,0 gram gemalen mijnsteen (0,500 mm) werd in 1 liter extractiemiddel (water of azijnzuur) gebracht, waarna men het monster onder af en toe roeren 18 uur liet staan. Daarna werd afgefilterd en het residu nog 2 keer op dezelfde manier met vers extractiemiddel behandeld,
- de verzamelde filtraten werden ingedampt tot 1 liter,
- hierna werd de analyse uitgevoerd.

Voor een verdere beschrijving van het onderzoek zij verwezen naar het rapport. De resultaten van de analyses zijn weergegeven in twee tabellen die zijn overgenomen als de tabellen 3.12 en 3.13. Opvallend aan de cijfers in tabel 3.12 is dat in zuur extract in enkele gevallen minder sulfaat werd aangetroffen dan in het waterige extract. Een verklaring hiervoor kan zijn dat in het monster aanwezige sulfide in het waterige extract (gedeeltelijk) geoxideerd kan worden en dan als sulfaat mee bepaald wordt. In het zure extract wordt sulfide door het zuur grotendeels uitgedreven, bijvoorbeeld in de vorm van H_2S (Bindels, 1979).

De belangrijkste conclusies uit het onderzoek zijn:

- de pH van de waterige extracten ligt voor alle monsters boven 7. Hierdoor is de pyrietoxidatie en de mobiliteit van zware metalen relatief gering,
- het totaal gehalte aan oplosbare zouten (die voor een zeer belangrijk deel uit sulfaten bestaan) is hoog, vooral bij de monsters Z1, N1 en N2 (gem: 5.000 mg/kg; range: 3.800-6.710 mg/kg). Het sulfaatgehalte bij Z1 is zeer hoog (4.300 mg/kg),
- de gehalten aan extraheerbare zware metalen zijn in het waterige extract vrij laag, hoewel sommige detectielimieten te hoog liggen, zodat geen duidelijk beeld wordt verkregen,
- in het zure extract vallen de hoge gehalten aan extraheerbaar arseen op (gem: 20 mg/kg; range: 12-29 mg/kg. Arseen kan in steenkool voorkomen in de vorm van realgar (As_2S_3) (Bindels, 1979),
- de analyses van het waterige extract geven een indruk van de percolaatwater-samenstelling van de steenberg.

Naast de gegevens uit het hierboven beschreven onderzoek zijn geen verdere gegevens voorhanden over het uitlooggedrag van Limburgse mijnsteen.

In het rapport "Preventie van bodemverontreiniging bij de opslag van steenkool" (VROM, 1983) zijn onderzoeken beschreven naar de samenstelling van het effluentwater van verschillende mijnafvaldeponieën in de USA.

Tabel 3.12 Gehalte aan oplosbare bestanddelen (in mg/kg op droog materiaal) in mijnsteen van de steenberg Oranje-Nassau I

3.12 a waterig extract

bestanddelen	monster					
	Z1	Z2	Z3	Z4	N1	N2
S04	4300	1400	410	520	2890	2250
Cl	15	20	25	20	25	25
N03	150	310	130	40	270	490
Na	60	200	250	250	70	300
K	200	160	110	120	160	170
Ca	1200	340	90	130	360	700
tot.opgeloste zouten	6710	2410	1190	1410	4510	3800
pH	7,31	7,55	7,56	7,40	7,32	7,37

3.12 b zuur extract

bestanddelen	monster					
	Z1	Z2	Z3	Z4	N1	N2
S04	2920	1160	400	620	1390	1200
Cl	900	495	495	495	495	570
N03	180	320	130	490	490	1420
Na	70	240	320	330	70	360
K	250	290	270	250	220	220
Ca	2850	4110	6380	7920	4360	3030

Tabel 3.13 Gehalte aan extraheerbare zware metalen (in mg/kg op droog materiaal) in mijnsteen van de steenberg Oranje-Nassau I

3.13 a waterig extract

bestanddelen	monster					
	Z1	Z2	Z3	Z4	N1	N2
Cr	2	<2	<2	<2	<2	<2
Zn	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Cd	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Ni	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Hg	<25	<25	<25	<25	<25	<25
Pb	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Se	2	3	<2	4	5	5
As	<3	<3	9	<3	4	8
Cu	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3

3.13 b zuur extract

bestanddelen	monster					
	Z1	Z2	Z3	Z4	N1	N2
Cr	5	6	70	11	5	6
Zn	16	7	6	6	9	5
Cd	1	<0,001	<0,001	<0,001	1	<0,001
Ni	5	2	3	2	3	4
Hg	<25	<25	<25	<25	<25	<25
Pb	3	6	12	14	6	4
Se	3	<2	<2	<2	<2	3
As	17	29	29	29	17	12
Cu	5	3	2	1	4	4

De belangrijkste conclusies uit de onderzoeken zijn:

- in het algemeen zijn de meest verontreinigde effluënten die met de laagste pH,
- effluënten met een lage pH bevatten hoge concentraties Fe, Al, Mn, Ca, Mg en SO₄. Deze zijn blijkbaar afkomstig van de voor- naamste mineralen in het mijnafval zoals pyriet, kleimine- ralen en carbonaten,
- de uitloging van mijnafval kan jaren doorgaan. Meerdere onderzoekers zijn van mening dat ouder mijnafval zelfs een zuurder effluent produceert (VROM, 1983).

In het artikel "Effects of coal mine wastes of Nordrhine-Westphalia on groundwater" (Matthess, 1982) is een onderzoek beschreven naar de percolaatwater- samenstelling bij een mijnsteendeponie in Noordrijn-Westfalen (West-Duitsland). Het betreft hier een dijklichaam van mijnsteen dat fungeert als fundering voor een snelweg. In eerste instantie is bij dit onderzoek de chemisch- mineralogische samenstelling van de mijnsteen bepaald. De resultaten hiervan zijn in par. 3.1.3. (tabellen 3.7 en 3.8) weergegeven.

Ter bepaling van de samenstelling van het percolaatwater (regenwater) zijn in de deponie 2 Lysimeters geplaatst. Daarnaast zijn in het laboratorium 4 verschillende mijnsteenmonsters aan percolatieproeven onderworpen. Hiertoe werden 4 Lysimeters (2 m. hoog, 43 cm. diameter) gevuld met de monsters en werd natuurlijke regenval nagebootst. De hoeveelheid water die aan de monsters werd toegevoegd was afgestemd op de in Noordrijn-Westfalen geldende neerslagcijfers (ca. 780 mm. per jaar).

De resultaten van het onderzoek naar het uitlooggedrag (zowel in het veld als in het laboratorium bepaald) zijn in het artikel in tabelvorm samengevat. Deze tabel is als tabel 3.14 overgenomen. Ter illustratie zijn in deze tabel tevens de momenteel in Nederland geldende A- en B-waarden voor concentratieniveaus van enige stoffen in grondwater weergegeven. Het meest opvallend aan de resultaten zijn de zeer hoge sulfaatgehalten en de soms hoge gehalten aan zware metalen in het percolaat. De concentratieniveaus van Cd, Cu, Co en Ni overschrijden de B-norm voor grondwater.

Het sulfaat in het percolaat is voornamelijk afkomstig van het oxidatieproces van pyriet en organisch gebonden zwavel. De hoge sulfaatconcentraties treden pas op na een bepaalde periode van uitloging. Hierna blijven de sulfaatconcentraties in het percolaat echter gedurende lange tijd hoog, mede door het in oplossing gaan van in een eerder stadium secundair gevormd gips. Hierbij dient gedacht te worden aan periodes van tientallen

Tabel 3.14 Concentraties in Lysimeter-percolaat van mijnsteen in Noordrijn Westfalen

	field Lysimeters		laboratorium Lysimeters		A- waarde grond- water	B- waarde grond- water
	n	range	n	range		
pH	10	7,18 - 8,13	208	6,08 - 8,55		
		mg/l		mg/l	mg/l	mg/l
HC03	10	427 - 1.061	208	188 - 1.525		
SO4	10	185 - 21.748	208	55 - 11.410		
Cl	10	51 - 10.637	208	622 - 6.725		
NO3	10	20 - 105	208	na - ca.100		
NO2	6	na - 0,26	200	0,6 - 42		
NH4	4	0,09 - 1,95	176	1,6 - 6,9	0,26	1,3
Na	10	20 - 7.800	208	555 - 5.205		
K	10	2 - 790	208	13 - 52		
Ca	10	24 - 489	208	7 - 985		
Mg	10	na - 80	208	2 - 1.244		
Fe	10	na - 0,70	208	0,01 - 0,90		
Mn	10	na - 0,33	208	0,02 - 174		
		ug/l		ug/l	ug/l	ug/l
Cd	7	na - 2,9	128	0,1 - 39	1	2,5
Zn	7	na	122	na - 113	50	200
Cr	6	na - 3	72	4,0 - 103,0	20	50
Cu	7	8 - 28	144	13,0 - 131,2	20	50
Co	7	na - 1	72	2,9 - 3.950	20	50
Ni	7	na - 181	144	na - 11.100	20	50
Pb	7	6 - 37	144	8,3 - 44,0	20	50

(n = aantal monsters, na = niet aantoonbaar)

jaren (Matthess, 1982). Figuur 3.1. illustreert het verloop van de sulfaatconcentraties in de tijd, vastgesteld in het percolaat van de laboratorium- mijnsteenmonsters in de Lysimeters.

De hoeveelheden sulfaten die per jaar uit een mijnsteen berg kunnen uitlogen en het aantal jaren dat de uitloging zal doorgaan is globaal te berekenen. Voor een dergelijke berekening dienen een aantal aannamen te worden geformuleerd:

- aanname 1: de in mijnsteen aanwezige hoeveelheid uitloogbare sulfaten bedraagt ca. 2000 mg/kg (zie onder andere tabel 3.12)
- aanname 2: het gehalte aan sulfaten gemeten in het percolaat-water van mijnsteenbergen bedraagt ca. 500 mg/l (zie onder andere tabel 3.14 en tabel 5.1)
- aanname 3: de hoeveelheid sulfaat die uit een steenberg wordt uitgelooft is door de jaren heen constant
- aanname 4: het neerslagoverschot in Nederland bedraagt ca. 300 mm per jaar

Met deze (grobe) aannamen kan een berekening worden opgesteld voor bijvoorbeeld de steenberg Emma - Hendrik. Ook hier gelden enige aannamen:

- aanname 5: het volume van de steenberg Emma - Hendrik bedraagt ca. 40.000.000 kubieke meter. Dit is ongeveer 70.000.000 ton mijnsteen uitgaande van een volumegewicht van ca. 1,8 ton per kubieke meter
- aanname 6: De oppervlakte van de steenberg bestaat ca. 200 hectare

Berekening

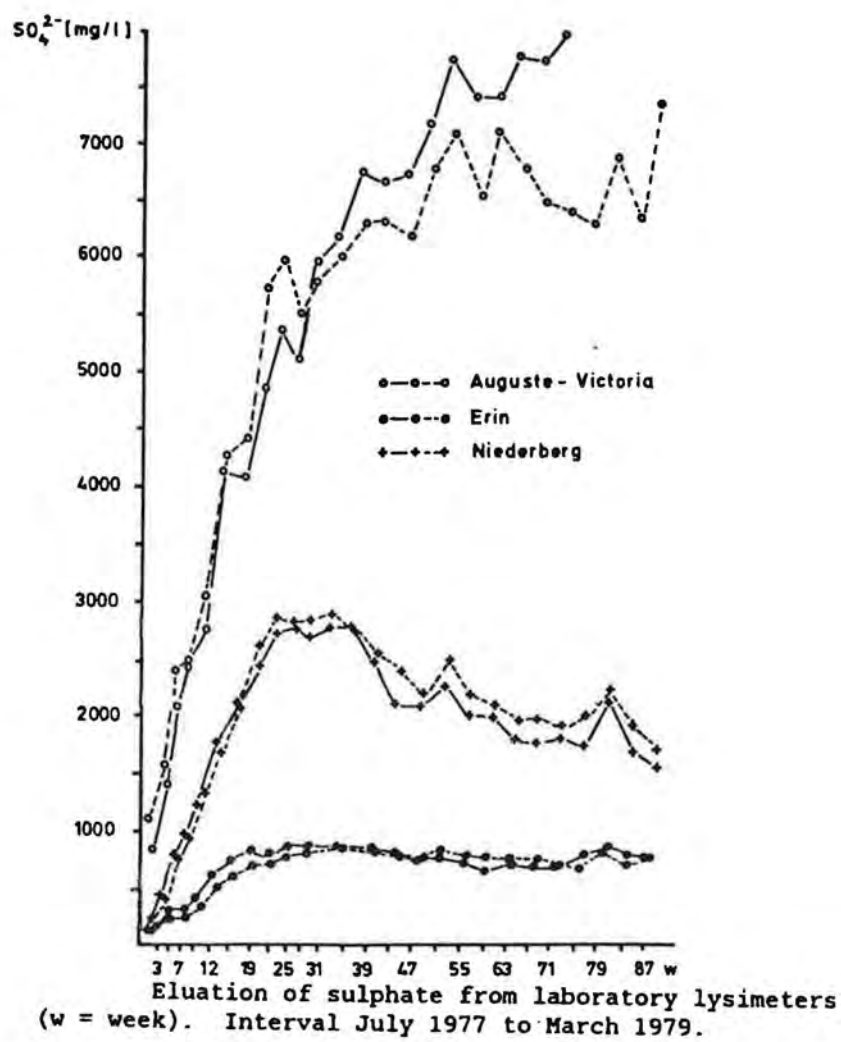
De in de steenberg aanwezige hoeveelheid uitloogbare sulfaten bedraagt ca. 70.000.000 ton $\times$ 2000 mg/kg = 140.000.000 kg. (1)

Per jaar stroomt aan regenwater door de berg ca.:

300 mm $\times$ 200 $\times$ 10.000 m² = 600.000 kubieke meter

Het sulfaatgehalte in het percolaat bedraagt ca. 500 g per kubieke meter. Per jaar worden dus ca. 300.000 kg sulfaten uitgelooft. (2)

figuur 3.1. Het in de loop der tijd vrijkomen van sulfaat uit laboratorium Lysimeters



Uit (1) en (2) volgt dat bij de steenberg Emma - Hendrik de uitloging van sulfaten, uitgaande van aanname 3,
 $140.000.000 \text{ kg} : 300.000 \text{ kg} = \text{ca. } 450 \text{ jaar}$ zal doorgaan.

variant 1: verander bij aanname 2 500 mg/l in 1000 mg/l.
 Per jaar zal dan ca. 600.000 kg sulfaat worden uitgeloozd. De uitloging zal dan ca. 225 jaar doorgaan.

variant 2: verander bij aanname 2 500 mg/l in 250 mg/l.
 Per jaar zal dan ca. 150.000 kg sulfaat worden uitgeloozd. De uitloging zal dan ca. 900 jaar doorgaan.

Er kan concluderend worden gesteld dat het proces van sulfaatuitloging zeker ook op de lange termijn speelt.

3.2.3. Verontreiniging van het grondwater in de omgeving van mijnsteen-deponieen

Uit extractieproeven en analyses van de samenstelling van het percolaatwater van mijnsteen van Nederlandse en buitenlandse mijnen is gebleken dat onder andere Fe, Al, Ca, Mg, SO₄ en een aantal zware metalen vanuit een deponie in het grond- en oppervlaktewater terecht kunnen komen. Naar de samenstelling van het grondwater in de directe omgeving van mijnsteendeponieen is in Nederland enig onderzoek verricht, voornamelijk door IGF en INTRON te Maastricht, en door de Vakgroep Fysische Geografie van de Rijks Universiteit Utrecht. Het zou in het kader van dit onderzoek te ver gaan om alle analyseresultaten van grondwater weer te geven. Wel zijn in het navolgende de belangrijkste conclusies uit de onderzoeken vermeld.

In het rapport "Kontrolle grondwater bij de voormalige zilverzandgroeve Beaujean" (Bindels, 1981) zijn resultaten weergegeven van grondwateronderzoek in de omgeving van de groeve Beaujean zoals dat ca. 7 maal heeft plaatsgevonden in de periode november 1979 (begin storten mijnsteen van ON 1 in zilverzandgroeve) tot en met januari 1981 (einde storten). In de omgeving van deze groeve zijn een aantal peilbuizen geplaatst waaruit grondwatermonsters zijn geanalyseerd. Er is hierbij vooral gelet op pH, totaal zoutgehalte, sulfaat (SO₄), nitraat (NO₃), chroom (Cr), lood (Pb) en arseen (As). Voor een beschrijving van het onderzoek, locatie van de peilbuizen en de analyseresultaten van het grondwater zij verwezen naar het rapport.

Conclusies uit het onderzoek zijn:

- de pH was overal nagenoeg neutraal, maar lag wel gemiddeld lager (ca. 6,7) dan voor met het storten werd begonnen,
- het totale zoutgehalte in de periode november 1979 - januari 1981 was gemiddeld iets afgenomen (gem: 350 mg/l; range: 75 - 730 mg/l),
- het sulfaatgehalte was in het algemeen vrijwel gelijk gebleven (gem: 110 mg/l; range: 2-386 mg/l); voor 2 peilbuizen werd een afname vastgesteld en voor 1 peilbuis (ten noordwesten van de deponie) werd een toename geconstateerd. In 1 peilbuis (ten noordoosten van de deponie) lag het sulfaatgehalte hoger dan de toen geldende richtlijn voor grondwater voor bereiding van drinkwater (386 mg/l),
- het gehalte aan zware metalen was laag (alle waarden beneden detectielimiet).

In het rapport is in een grafiek het verloop in de tijd van de pH en het sulfaatgehalte uitgezet met als doel hieruit trends te kunnen afleiden. Men kan zich echter afvragen of een dergelijke benadering zinvol is, aangezien het tijdsinterval zeer kort is. Seizonale invloeden en verschillen in de jaarlijkse totale hoeveelheid neerslag zullen de resultaten bij een zo kort aantal meetjaren relatief sterk beïnvloeden, zodat het vaststellen van trends vrijwel onmogelijk wordt.

In het rapport "Kontrolle van het grondwater op de terreinen ON I en ON III te Heerlen en op het terrein Beerenbosch te Kerkrade" (Nijsten, 1981) zijn ook resultaten van grondwateranalyses weergegeven. Voor een toelichting op het onderzoek, locatie van peilbuizen en analyseresultaten van het grondwater zij verwezen naar het rapport.

De belangrijkste conclusies uit het onderzoek zijn:

- in de watermonsters werden geen aantoonbare hoeveelheden chroom, lood, arseen en nitraat aangetroffen (alle waarden beneden detectielimiet),
- het water was in alle gevallen practisch neutraal (pH ca. 7),
- het sulfaatgehalte was hoog (gem: 230 mg/l; range: 12 - 1218 mg/l),
- het totale zoutgehalte was hoog (gem: 880 mg/l; range: 150 - 2802 mg/l).

In het rapport "Grondonderzoek S.S.O." (Nijsten, 1983(A)) zijn resultaten weergegeven van grondwateronderzoek op het terrein Oranje-Nassau II - Wilhelmina. Het betreft hier de analyse van slechts 1 grondwatermonster. Dit monster is onderzocht op:

- zuurgraad,
- chroom,
- lood,
- sulfaat,
- vluchtige alifatische en aromatische koolwaterstoffen,
- minerale oliën.

Voor een toelichting op het onderzoek, locatie monsterpunt en de analyseresultaten van het grondwater zij verwezen naar het rapport. De conclusie uit het onderzoek is dat alleen het sulfaatgehalte de toen geldende limietwaarde voor grondwater overschreed (7.178 - 12.911 mg/Kg).

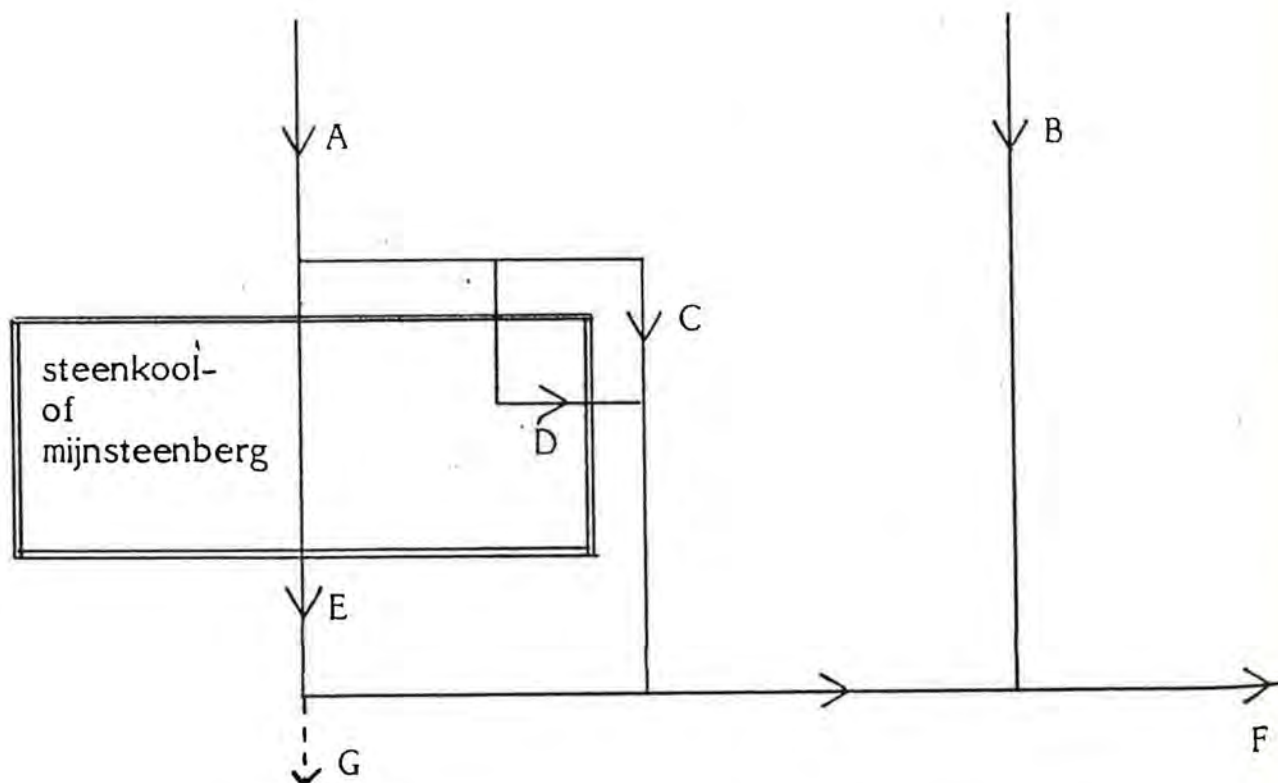
Uit de hiervoor beschreven onderzoeken is duidelijk dat sulfaatbelasting van het grondwater in de directe omgeving van mijnsteendeponieën optreedt. Effecten op langere termijn zijn uit deze onderzoeken niet af te leiden.

Uit nog ongepubliceerde onderzoeksresultaten van de vakgroep Fysische Geografie van de Rijksuniversiteit Utrecht blijkt dat in grote delen van de oostelijke mijnstreek het freatische grondwater met sulfaat is verontreinigd (concentraties hoger dan 100 mg/l). Dit grondwater treedt plaatselijk in de vorm van natuurlijke bronnen aan de oppervlakte en voedt de beken en riviertjes in dit gebied (zie bijlage 1). Extreem hoge sulfaatgehalten zijn alleen aangetroffen in het grondwater in de onmiddellijke nabijheid van de mijnsteenstorten (concentraties hoger dan 1000 mg/l). Voor geconstateerde milieueffecten zij verwezen naar hoofdstuk 10.

3.2.4. Verontreiniging van het oppervlaktewater in de omgeving van mijnsteendeponieën

Van het regenwater dat in een mijnsteendeponie infiltreert verdwijnt slechts een gedeelte naar het grondwater. Figuur 3.2. illustreert dit. Het gedeelte van het regenwater dat naar het grondwater stroomt wordt in deze figuur voorgesteld door G. Een ander deel komt via oppervlakkige afstroming (C) of via uittreding uit de steenberg (vaak bronnen aan de voet van de deponie) (D) in het oppervlaktewater (beken) terecht (F). Vervuiling van deze beken is in een aantal gevallen in de oostelijke mijnstreek zichtbaar. De bron of beek vertoont een

figuur 3.2. Schematisch overzicht van de waterstromen bij de opslag van steenkool resp. mijnafval

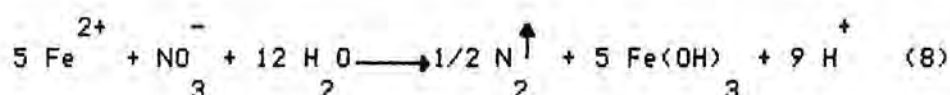
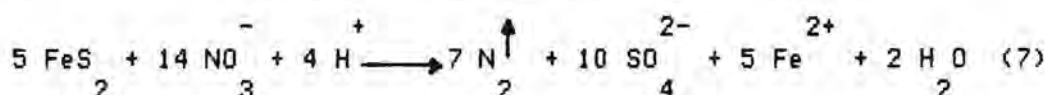


Schematisch overzicht van de waterstromen bij de opslag van steenkool resp. van mijnsteenafval

- A= regenwater op de opslag zelf
- B= regenwater op het omringende verharde oppervlak
- C= run-off water
- D= interflow water
- E= percolatiewater
- F= drainagewater, effluentwater
- G= bodeminfiltratie

rode kleur hetgeen aangeeft dat ijzerhydroxide en dus ook sulfaat uit de steenberg wordt uitgespoeld (zie reacties (1) en (2) par. 3.2.1.). In een geval is bij een bron een gipsneerslag aangetroffen.

De bronnen die direct uit de mijnsteenbergen spoelen vertonen over het algemeen een voor Zuid-Limburg laag gehalte aan nitraat. Dit staat mogelijk in verband met de biologisch geïnduceerde oxidatieprocessen in de mijnsteen die de nitraten uit het percolerende grondwater en neerslagwater omzetten volgens de reactievergelijkingen (van Beek, 1984):



3.2.5. Visuele aspecten

De mijnsteendeponieën hebben een grote invloed op het aanzien van het landschap in de oostelijke mijnstreek. Afgezien van een aantal goed afgewerkte steenbergen biedt het merendeel der steenbergen een onordelijke, rommelige aanblik. De terreinen waarop de bergen liggen, zijn in de meeste gevallen verlaten en officieel niet publiek toegankelijk. In de praktijk blijkt een aantal terreinen echter gemakkelijk toegankelijk en wordt dan ook regelmatig betreden. Het gevolg is dat op sommige mijnterreinen onder andere bouwpuin en huisvuil wordt gestort door burgers en anderen, zonder dat daarvoor een vergunning bestaat. De motivering voor deze activiteiten is dat het er op deze terreinen "toch al uitziet als een afvalstort". De vuile rommelige steenbergen trekken op deze manier als het ware ander vuil aan, waardoor de situatie steeds slechter wordt. Steenbergterreinen kunnen hierdoor als illegale stortplaatsen gaan fungeren. Deze ontwikkeling dient te worden tegengehouden. Men zou dit kunnen bereiken door bijvoorbeeld het degelijk afsluiten van de terreinen en/of door het veranderen van de aanblik der terreinen.

3.2.6. Radioactiviteit

Carbonische gesteenten zijn van nature licht radioactief. Bij verbranding van steenkool of mijnsteen neemt ten gevolge van concentratie de radioactiviteit in de as toe. Waarschijnlijk is de radioactiviteit van mijnsteen in Zuid-Limburg zeer gering; metingen hiernaar zijn, voor zover bekend, tot op heden niet verricht.

4. DE INVLOED VAN MIJNSLIK OP HET MILIEU

4.1. DE SAMENSTELLING VAN MIJNSLIK IN DE OOSTELIJKE MIJNSTREEK

4.1.1. Soorten mijnslik

Mijnslik voorkomend in de slikvijvers in de oostelijke mijnstreek is onder te verdelen in 2 soorten:

1. Mijnslik met een asgehalte van ca. 45%.
2. Steenslik met een asgehalte van ca. 80%.

ad1

Bij een groot aantal mijnbedrijven in de oostelijke mijnstreek is al het materiaal uit de kolenwasserijen kleiner dan ca. 0,5 mm. na ontwatering als mijnslik in slikvijvers gedeponeerd. Scheiding van kool en steen was in deze kleine fractie niet mogelijk op grond van het soortelijk gewicht. Het slik is dus een mengsel van steenslik en kolenslik.

ad2

Bij een aantal mijnbedrijven in de oostelijke mijnstreek (voornamelijk De Staatsmijnen) werd de fractie kleiner dan ca. 0,5 mm. met behulp van flotatietechnieken gescheiden in kolenslik en steenslik. Het kolenslik werd na ontwatering geheel hergebruikt als brandstof. Het steenslik verdween na ontwatering in de slikvijvers.

4.1.2. De samenstelling van mijnslik

Er is weinig onderzoek verricht naar de petrologische- en chemisch- mineralogische samenstelling van mijnslik. Aangenomen mag worden dat het slik voornamelijk bestaat uit kleimineralen. Ook het percentage kool is hoog, variërend van ca. 20% tot ca. 55%.

In het rapport "Onderzoek slikvijvers oostelijke mijnstreek" (Bindels, 1980(B)) zijn de analyseresultaten beschreven van een aantal slikmonsters afkomstig van slikvijvers op de terreinen van Julia, Emma en Thull. De monsters zijn geanalyseerd op totaal zoutgehalte, sulfaatgehalte en benzeengehalte.

De analysemethode voor de bepaling van totaal zoutgehalte en sulfaatgehalte was als volgt:

- van elk monster slik werd ca. 1 kg. 2 keer met gedestilleerd water geextraheerd,
- het extract werd aangelengd of ingedampt tot 1 liter,
- hierna vond de analysering plaats.

De analysemethode voor de bepaling van de BTX- fractie was als volgt:

- voor de bepaling van het gehalte aan benzeen, toluen en xyleen (BTX-fractie) werd ca. 1 kg. slik 3 keer met diethylether geextraheerd,
- het ether-extract dat de eventueel aanwezige lagere en een groot deel van de hogere koolwaterstoffen bevat, werd aan een destillatie onderworpen. Daarbij werd door fractionering eerst een groot deel van de ether afgedampt,
- na destillatie werd de fractie die de te bepalen aromaten kon bevatten met diethylether aangelengd tot 100 ml,
- deze etherische oplossing werd gaschromatografisch onderzocht, waarbij gebruik werd gemaakt van een oplossing van 20 mg. benzeen/1000 ml in diethylether als externe standaard.

Voor een verdere toelichting op dit onderzoek zij verwezen naar het rapport.

De resultaten van de analyses zijn in het rapport in een tabel weergegeven die hier is overgenomen als tabel 4.1. Opvallend zijn de soms hoge benzeenconcentraties in het mijnslik.

In het rapport "Oriënterend bodemonderzoek op de steenberg te Kerkrade" (Waeyen, 1985) zijn de resultaten van een aantal chemische analyses van bodemonsters afkomstig van het Willem-Sophie terrein beschreven. Het hierbij geanalyseerde mengmonster CM4-1 bestaat grotendeels uit mijnslik, met mogelijk enige bijmenging van leem van de onderliggende bodem. Het mijnslik staat bekend als afkomstig van de zogenaamde slikberg "Diederik". Dit mijnslik is uit West- Duitsland afkomstig en een aantal jaren geleden op het terrein gedeponneerd.

Voor een verdere toelichting op het onderzoek zij verwezen naar paragraaf 3.1.3.1. onder "zwarte mijnsteen".

De resultaten van de analyses zijn in het rapport in een tabel weergegeven. Deze tabel is overgenomen als tabel 3.5 (zie par.

Tabel 4.1 Totaal in water oplosbaar gehalte aan zouten en sulfaten en het in diethylether oplosbare gehalte aan benzeen van mijnslik uit slikvijvers in de oostelijke mijnstreek)

	totaal zoutgehalte	sulfaat (SO ₃)	benzeen
monster	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Julia, vijver 1,2,3.	850	430	2,26
Julia, vijver A	500	170	5,71
Emma	260	<10	<0,01
Thull	520	50	2,57
B-waarde		50	0,5
C-waarde		500	5,0

grenswaarde oppervlaktewater SO₄ : 150 mg/l

N.B. Tolueen en xyleen waren afwezig.

3.1.3.1.). Bij deze tabel zijn de A- en B-waarden voor grond (Leidraad Bodemsanering) van verschillende stoffen aangegeven. De analyse cijfers hebben, in verband met de mogelijke onzuiverheid van het mijnslikmonster (mogelijke vermenging met leem van de onderliggende bodem), geen directe kwantitatieve waarde. De resultaten hebben echter wel een kwalitatieve waarde; er is uit af te leiden welke stoffen in het mijnslik aanwezig zijn.

Uit de analyseresultaten blijkt dat:

- in het mengmonster CM4-1 de concentratie van alle gemeten PCK's de A-waarde voor grond overschrijden; de concentratie van benzo(a)pyreen overschrijdt de B-waarde,
- in het mengmonster CM4-1 de PCK som de A-waarde voor grond overschrijdt,
- in het mengmonster CM4-1 de concentraties van Cr, Ni, Cu, As en Pb de A-waarde voor grond overschrijden.

Naast deze onderzoeken naar enige in mijnslik voorkomende stoffen zijn geen gegevens betreffende de samenstelling van mijnslik in de oostelijke mijnstreek voorhanden. Onderzoek hiernaar is gewenst.

Uit veldinspectie te Thull (slikvijvers in de gemeente Schinnen) bleek dat duidelijk zichtbaar is dat er zich aanzienlijke hoeveelheden zouten in het mijnslik bevinden. Deze zouten (sulfaten?) vormen lokaal witte korsten op het gedroogde slik. Er is tevens vastgesteld dat het geleidingsvermogen van het water in de vijvers hoog is.

4.1.3. Additionele verontreinigingen in mijnslik

De in mijnslik voorkomende additionele verontreinigingen kunnen worden onderscheiden in 2 typen namelijk:

1. verontreinigingen met resten van chemische middelen die destijds door de mijnbedrijven werden toegepast bij scheidingsprocessen,
2. verontreinigingen als gevolg van dumping van diverse afvalstoffen in de slikvijvers.

ad1

Door bestudering van de destijds door de mijnbedrijven toegepaste scheidingstechnieken kan worden vastgesteld welke chemische middelen mogelijk in het mijnslik zijn achtergebleven. Het betreft hier in eerste instantie dezelfde stoffen als bij mijnsteen, voornamelijk magnetiet en eventueel bariet. Daarnaast kunnen in mijnslik restanten voorkomen van flocculatiemiddelen. Zoals bekend diende het slik voordat het in de vijvers werd gedeponeerd te worden ontwaterd, mede omdat het water voor hergebruik in de wasserijen nodig was. Als flocculatiemiddel werd in vele gevallen aardappelmeel en ferrosulfaat (als electrolyt) gebruikt. In sommige gevallen werd kalk gebruikt (coagulatie), zie ook par. 2.3.1.1. In later jaren zijn synthetische sensibilisatoren toegepast. Dit zijn organische moleculen met zeer lange ketens. Voorbeelden hiervan zijn "Praestol", "Sedipur P.K.3", "Separan 2610" en "Aerofloc" (Biezenaar, 1959; Wark, 1959; Meerman, 1959, 1962).

Naast de wasserijprodukten en flocculatiemiddelen kunnen in mijnslik restanten voorkomen van flotatiemiddelen. Voornamelijk bij De Staatsmijnen werd de flotatietechniek, die een scheiding van al het materiaal kleiner dan 0,5 mm. in kolenslik en steenslik mogelijk maakt, toegepast. Chemicalien die hiervoor werden gebruikt zijn onder andere gasolie (of cresootolie) en een aantal alcoholen (methyl- isobutyl- carbinol, di- isobutyl- carbinol, ruwe xyenolen en fenolen) (Meerman, 1959; Adema, 1962). Nader onderzoek naar het voorkomen van deze stoffen in mijnslik is gewenst.

ad2

Door het dumpen van diverse afvalstoffen in slikvijvers kan verontreiniging optreden. Uit de praktijk zijn diverse voorbeelden hiervan bekend. In hoofdstuk 5 van deel B van het rapport, bij de bespreking van de locaties, wordt hier dieper op ingegaan.

4.2. GEVOLGEN VAN MIJNSLIKDEPONIE VOOR HET MILIEU

4.2.1. Verontreiniging van grond- en oppervlaktewater

Naar de chemische processen die in een slikvijver plaatsvinden is voorzover bekend in Nederland geen onderzoek verricht. De omstandigheden waaronder processen kunnen plaatsvinden verschillen duidelijk van de omstandigheden in een mijnsteendeponie. In een slikvijver heersen vaak anaerobe omstandigheden. Bovendien kan de sliklaag als een impermeabele laag fungeren zodat de percolatie van regenwater beperkt wordt. Een verklaring voor het ontbreken van onderzoek naar de gevolgen van mijnslik voor het grond- en oppervlaktewater kan zijn dat slikvijvers meestal als niet- permanente opslagplaatsen worden

beschouwd. Het slik wordt in vele gevallen na ontwatering hergebruikt. In een groot aantal gevallen kan in de oostelijke mijnstreek echter niet meer van tijdelijke opslag worden gesproken. Voor dergelijke locaties dient onderzoek naar het uitlooggedrag van mijnslik (in algemene zin) en naar de mogelijke verontreiniging van het grond- en oppervlaktewater in de directe omgeving van de deponieën plaats te vinden.

4.2.2. Waterstagnatie

In mijnslikdeponieën treedt vaak waterstagnatie op. Het slik vormt een slecht doorlatende laag waardoor verticaal watertransport beperkt wordt. Als gevolg hiervan kunnen slikvijvers zeer gevaarlijke terreinen worden, omdat in de vijver een soort "drijfzand" ontstaat en het terrein onbegaanbaar is. Volledige afsluiting van slikvijver- terreinen is dan ook vaak uit het oogpunt van veiligheid noodzakelijk. Zolang geen drainage van het wateroverschot kan optreden, blijven deze slikvijver- terreinen onbruikbare elementen in het landschap.

Een positief effect van de waterstagnatie in slikvijvers kan zijn dat een milieu ontstaat waarin bepaalde vochtminnende plantensoorten (o.a. orchideeën) goed kunnen gedijen. Hierdoor kunnen, indien geen betreding van de vijver plaatsvindt en geen vermenging met afval plaatsvindt, mooie plantenvijvers ontstaan die een verrijking voor het landschap vormen. Op de Brunssummerheide zijn hiervan voorbeelden aanwezig.

4.2.3. Visuele aspecten

Voor slikvijvers geldt in grote lijnen hetzelfde als voor mijnsteendeponieën; ook sommige slikvijvers zien er in een aantal gevallen uit als verlaten stortplaatsen en bieden een rommelige aanblik. Het principe "vuil trekt vuil aan" geldt ook hier. Een groot probleem is dat door het storten van puin en ander afval in slikvijvers hergebruik van het slik vrijwel onmogelijk wordt.

5. DE GECONSTATEERDE INVLOED VAN MIJNSTEEN-/ MIJNSLIKDEPONIEEN OP DE WATERKWALITEIT IN DE OOSTELIJKE MIJNSTREEK

5.1. CONSTATERINGEN

In de oostelijke mijnstreek is in een aantal gevallen verontreiniging van het grondwater geconstateerd. Zo is bekend dat bij Brunssum een drinkwater-pompput ten gevolge van sulfaatverontreiniging gesloten diende te worden (mededeling Rijks Geologische Dienst en Recreatieschap oostelijk Zuid-Limburg). Deze drinkwater-winpplaats is gelegen in het zogenaamde "Schutterspark" ten westen van de steenberg Emma/ Hendrik.

Analysegegevens van het grondwater in de oostelijke mijnstreek zijn in de literatuur aangetroffen in de rapporten "Kontrolé grondwater bij de voormalige zilverzandgroeve Beaujean" (Bindels, 1981), "Kontrolé van het grondwater op de terreinen ON I en ON III te Heerlen en op het terrein Beerenbosch te Kerkrade" (Nijsten, 1981) en "Grondonderzoek S.S.O." (Nijsten, 1983(A)). Daarnaast zijn de resultaten van enige door Provinciale Waterstaat verrichte analyses geraadpleegd.

Behalve verontreiniging van het grondwater treedt in de oostelijke mijnstreek ook verontreiniging van oppervlaktewateren op. Deze verontreinigingen zijn in de omgeving van mijnsteen- en mijnslikdeponieen vaak ook visueel waarneembaar. In de afgelopen jaren zijn de oppervlaktewateren in de oostelijke mijnstreek door studenten van de vakgroep Fysische Geografie van de Rijks Universiteit Utrecht regelmatig bemonsterd en geanalyseerd. Jaarlijks worden deze gegevens aangevuld en uitgebreid.

Op de kaart die als bijlage 1 aan dit rapport is toegevoegd zijn de locaties waar verontreiniging van het grond- of oppervlaktewater is geconstateerd aangegeven. Er is bij het vaststellen van verontreiniging in eerste instantie alleen gelet op de parameters:

- electrisch geleidingsvermogen
- sulfaat (SO₄)
- chloride (Cl)

De grenswaarden die gesteld werden voor het al dan niet verontreinigd zijn van een grond- of oppervlaktewater, zijn:

- electrisch geleidingsvermogen : 800 uS/sec.
- sulfaat : 80 mg/l
- chloride : 80 mg/l

Indien voor een (of meer) van deze parameters de grenswaarde wordt overschreden wordt het water als verontreinigd beschouwd.

Aan verontreiniging van het grond- of oppervlaktewater door andere stoffen (onder andere zware metalen) is in dit stadium geen aandacht besteed, aangezien hieromtrent over de hele lijn op dit moment te weinig gegevens beschikbaar zijn.

5.2. ANALYSERESULTATEN

In tabel 5.1 zijn ter illustratie de analyseresultaten van een 20-tal verontreinigde putten, bronnen en beken weergegeven. De locaties zijn min of meer evenredig over de oostelijke mijnstreek verspreid. In de tabel zijn de locaties gerangschikt per gemeente, de nummers corresponderen met de nummers op de kaart. De tabel geeft een indruk betreffende de mate van verontreiniging van grond- en oppervlaktewater in de omgeving van mijnsteen- en mijnslikdeponieën.

Opvallend zijn de hoge sulfaatconcentraties bij punt 075 a en b, 160 a en 210 c. Bij de punten 160 b en c, 210 b, d en e en 310 a is het totale zoutgehalte hoog. Hoewel op deze plaatsen het sulfaatgehalte niet is gemeten, mag worden aangenomen dat dit op deze locaties eveneens hoog zal zijn (vergelijk de punten 160 a, f en g, 375 a en 380 a).

Tabel 5.1 Analyseresultaten van enige grond- en oppervlaktewater-monsters in de oostelijke mijnstreek

omschrijving nr. monster	type	datum	x- coord.	y- coord.	EG uS/sec	SO4 mg/l	Cl mg/l
GEMEENTE BRUNSSUM (075)							
075a peilbuis Emma/Hendrik.(P.Waterstaat buisnr.969,filter1	peil- buis	aug-84	198.46	329.75	1800	705	15
075b diffuus brongebied "Schutterspark"	bron	160585	197.51	328.95	-	2419	17
075c bron bij "Heikop"	bron	170585	198.55	326.93	-	39	121
GEMEENTE HEERLEN (160)							
160a ON III, Nieuw Lotbroek	bron	100585	193.17	325.45	6210	3170	61
160b bron ON III	bron	aug-85	194.86	324.86	1143	-	-
160c kwelzone ON I	kwel- zone	aug-85	195.34	324.01	1589	-	-
160d (Bindels,1981)peil- buis 5,groeve Beau- jean	peil- buis	jan-81	196.30	324.65	-	152	-
160e (Nijsten,1981)peil- buis 13,ON I	peil- buis	120281	193.85	323.83	-	120	-
160f bron Geleenbeek	bron	100585	194.60	321.88	890	90	41
160g brongebied Caumer- beek	bron	100585	197.95	320.75	720	88	11
GEMEENTE KERKRADE (210)							
210a bron Julia	bron	170585	203.55	324.10	-	212	23
210b bron Dentgenbach	bron	aug-85	201.33	321.46	1090	-	-
210c (Nijsten,1981)peil- buis HRW Beeren- bosch	peil- buis	080781	203.38	321.23	-	2007	-
210d brongebied Willem- Sophie terrein	bron	aug-85	200.99	318.19	3390	-	-
210e kwelzone Domaniale (Nullanderstraat)	kwel- zone	aug-85	202.13	318.78	1120	-	-

zie ommezijde

vervolg tabel 5.1

omschrijving nr. monster	type	datum	x- coord.	y- coord.	EG uS/sec	SO4 mg/l	Cl mg/l
GEMEENTE LANDGRAAF (310)							
310a bron Laura	bron	aug-85	200.95	322.70	1381	-	-
310b bron Strijthager- beek	bron	170585	200.32	320.69	-	84	38
GEMEENTE SCHINNEN (375)							
375a bron Schinnen	bron	100585	190.02	328.03	815	80	50
GEMEENTE ONDERBANKEN (380)							
380a bron Schinveld	bron	160585	196.20	332.20	705	123	52
GEMEENTE VOERENDAAL (495)							
495a Winthagerput		jul-85	193.29	319.45	1200	57	49

EG = electrisch geleidingsvermogen

N.B. Grenswaarde oppervlaktewater: SO4 - 150 mg/l
Cl - 200 mg/l

6. TOEPASSINGSMOGELIJKHEDEN VAN MIJNSTEEN EN MIJNSLIK EN DE GEVOLGEN VAN TOEPASSINGEN VOOR HET MILIEU

6.1. MIJNSTEEN

6.1.1. Fysische eigenschappen van mijnsteen

Mijnsteen werd en wordt voor verschillende doeleinden gebruikt. Het bekendst is de toepassing van mijnsteen als "vulmiddel", wegverhardingsmateriaal en funderingsmateriaal. De toepasbaarheid van mijnsteen wordt voor een belangrijk deel bepaald door de fysische eigenschappen van het materiaal. De belangrijkste eigenschappen waarmee rekening dient te worden gehouden zijn:

- 1 - verwerkingssnelheid
- 2 - textuur
- 3 - samendrukbaarheid
- 4 - waterdoorlatendheid en vochtgehalte
- 5 - materiaalsterkte en draagkracht
- 6 - brandbaarheid

ad1 - verwerkingssnelheid

De verwerkingssnelheid van mijnsteen is afhankelijk van de condities waaraan het is blootgesteld. De volgende omstandigheden kunnen worden onderscheiden: atmosferische omstandigheden, omstandigheden diep in ophogingen en onderwater-omstandigheden.

Mijnsteen die onderworpen is aan atmosferische omstandigheden valt snel uiteen. De verwerking vindt in eerste instantie plaats door het splijten van het materiaal langs de verkoolde veenbandjes in de steen. Hierbij spelen uitdroging en bevochtiging een rol. Mogelijk heeft ook de oxydatie van ijzer langs de verkoolde veenbandjes invloed. Vochtige mijnsteen is in de regel niet bestand tegen vorst en dooi wisselingen. Bij de verwerking ontstaan plaatvormige deeltjes waarvan de zeefmaat voornamelijk groter is dan 2 mm. (Laan, 1983).

Mijnsteen die zich diep in ophogingen bevindt (dieper dan ca. 0,5 m.) verweert vrijwel niet. Deze conclusie is gebaseerd op de beoordeling van steenberggen door mijndeskundigen en door

bedrijven die mijnsteen uit steenbergten verwerken (Laan, 1983). De verwerking van mijnsteen is hoofdzakelijk een fysisch proces dat afhankelijk is van de variaties in het vochtgehalte en de temperatuur. Deze variaties nemen af naarmate de mijnsteen zich dieper in een ophoging bevindt.

Hetzelfde geldt min of meer voor de verwerking van mijnsteen onder water. De fysische verwerking kan hier niet aangrijpen en de mijnsteen verweert vrijwel niet. Door het Rijkswegenbouwlaboratorium is de verwerking van mijnsteen onder zeewater bestudeerd. Hieruit bleek dat mijnsteen onder water niet uiteenvalt. Op basis van mineralogisch-chemische overwegingen kan worden verwacht dat chemische verwerking in zout water optreedt, indien de mijnsteen grotendeels uit montmorilloniet bestaat. De Zuid-Limburgse mijnsteen bestaat echter voornamelijk uit illiet en een geringe hoeveelheid kaoliniet. Montmorilloniet komt hierin bijna niet voor. De te verwachten chemische verwerking is gering (Laan, 1983).

ad2 - textuur

De textuur van de mijnsteen is van belang voor de toepassingsmogelijkheden. Ongesorteerde mijnsteen is vrijwel uitsluitend toepasbaar als "vulmiddel", terwijl op verschillende fracties gezeefde mijnsteen ook voor andere doeleinden zoals bijvoorbeeld fabricage van bakstenen, toeslagstof voor cementproductie en dergelijke gebruikt kan worden. De korrelgrootte-verdeling is ook van invloed op de verweringsgevoeligheid van het materiaal. In het algemeen zijn de fijne fracties veel minder gevoelig voor verwerking dan de grove fracties. Voorts is de korrelgrootte-verdeling van invloed op de dichtheid en de verdichtbaarheid van het materiaal.

ad3 - samendrukbaarheid

De samendrukbaarheid van onverdichte mijnsteen is vrij groot en samendrukking treedt relatief snel op. In het geval van gebruik van mijnsteen als bijvoorbeeld funderingsmateriaal onder woonwijken is verdichting van de mijnsteen noodzakelijk. Deze verdichting kan met behulp van een valblok worden gerealiseerd. Proefverdichtingen in Zuid-Limburg uitgevoerd op vooraf geselecteerde proefvelden met een betonnen valblok van ca. 4 ton, dat door hijsapparatuur tot een hoogte van ca. 6 - 7 m. werd opgetild, wezen uit dat niet alleen het terreinoppervlak 20 tot 40 cm. zakte, doch ook dat deze naverdichting tot een diepte van 3,5 tot 6 m. merkbaar was (Houben, 1982). De stijfheid van goed verdichte mijnsteen is vergelijkbaar met die van goed verdicht zand.

ad4 - waterdoorlatendheid en vochtgehalte

De waterdoorlatendheid van mijnsteen is afhankelijk van de verdichtingsgraad en de korrelgrootte-verdeling. Sterk verdichte mijnsteen heeft een lagere doorlatendheid dan onverdichte mijnsteen. Mijnsteen in de fijne fracties heeft tevens een lagere doorlatendheid dan ongesorteerde mijnsteen en mijnsteen in de grovere fracties. In het rapport "De toepasbaarheid van mijnsteen in de waterbouw" (Laan, 1983) zijn onderzoeken beschreven die deze conclusies bevestigen. Uit deze onderzoeken is tevens gebleken dat de gemeten doorlatendheden van mijnsteen in de fractie 0-25 mm. overeenkomen met doorlatendheden van grof zand. Een belangrijk verschil tussen mijnsteen en grof zand is dat mijnsteen relatief veel water vasthoudt ten opzichte van het optimum vochtgehalte. Dit betekent onder andere dat bij enige verhoging van het vochtgehalte, bijvoorbeeld ten gevolge van neerslag, het materiaal niet meer goed verdichtbaar is. Hierdoor kan verpapping van de mijnsteen optreden. Het bepalen van het vochtgehalte in mijnsteen heeft plaatsgevonden door middel van pF- proeven (Laan, 1983).

ad5 - materiaalsterkte en draagkracht

Mijnsteen is een relatief zwak materiaal. De Limburgse mijnsteen bestaat voor ca. 70% uit schalie, ca. 20% uit zandige schalie en zandsteen en ca. 10% uit kolige schalie en kool (RGD, 1980). Onder aerobe omstandigheden verweert de mijnsteen snel en valt uiteen in plaatvormige fragmenten. Een bekend verschijnsel is tevens de verfijning van het materiaal ten gevolge van transport en overslag (Absil, 1959). De draagkracht van mijnsteen is indien het materiaal goed verdicht is en een laag vochtgehalte heeft vrij goed (Houben, 1982; Laan, 1983).

ad6 - brandbaarheid

Een eigenschap waar rekening mee dient te worden gehouden is de brandbaarheid van mijnsteen, met name van de mijnsteen van oude steenberggen die een relatief hoog percentage kool bevatten. Het in brand raken van een mijnsteenhoop gaat volgens Bakels (1949) als volgt:
In een mijnsteenhoop is een bepaalde hoeveelheid vocht aanwezig. Het broeiproces wordt vervolgens ingeleid door de oxidatie van pyriet dat in de mijnsteen aanwezig is. Speciaal de fijne pyrietadertjes oxyderen gemakkelijk hetgeen met een flinke temperatuurstijging gepaard gaat. De kool in de mijnsteen kan dan beginnen te ontgassen en het ontvlammingspunt kan worden

bereikt. Het zwavel uit de pyriet brandt als eerste op. Als een grote mijnsteenhoop eenmaal brandt is het vuur moeilijk meer te blussen.

In het rapport "Mijnsteen: toepassing en deponie" (Bijen, 1981) is een onderzoek beschreven naar het brandgevaar in een mijnsteendeponie. De conclusie uit het onderzoek is dat het gevaar voor brand in een mijnsteendeponie gering is. Wel is het mogelijk dat ten gevolge van biologische groei of een verhittingsbron temperatuursverhogingen optreden waardoor brandbare en/of giftige gassen kunnen vrijkomen. Deze gassen zijn schadelijk voor de mens en kunnen een rol spelen bij het ontstaan of het uitbreiden van een vuurhaard. Zeker in het geval van woonbebouwing op mijnsteendeponieën dient hiermee rekening te worden gehouden.

6.1.2. Toepassingen van zwarte mijnsteen en de gevolgen daarvan voor het milieu

Zwarte mijnsteen kent vele toepassingsmogelijkheden. Alvorens hier verder op in te gaan dient een onderverdeling in twee soorten mijnsteen te worden gemaakt. Mijnsteen wordt in verband met de mogelijke toepassingen onderverdeeld in ongesorteerde- en gesorteerde mijnsteen.

De ongesorteerde mijnsteen wordt vrijwel uitsluitend gebruikt als "vulmiddel" of ophoogmateriaal. In Zuid-Limburg zijn enige oude groeves opgevuld met deze mijnsteen en is het materiaal gebruikt ter egalisering van onder andere bouwterreinen en industrieterreinen. Doordat de mijnsteen van nature een hoog zwavelgehalte in de vorm van pyriet heeft kan in de omgeving van een mijnsteendeponie het sulfaatgehalte in grond- en oppervlaktewater stijgen. Deze stijging is in een aantal gevallen middels onderzoek aangetoond (Bindels, 1979, 1980(A), 1981; Bijen, 1981). Voorts kunnen in de mijnsteen nog resten aanwezig zijn van stoffen die door de mijnen destijds zijn gebruikt bij de wasprocessen. Te denken valt hierbij aan resten van onder andere gasolie en enige alcoholverbindingen (waaronder fenolen).

De gesorteerde mijnsteen kan voor veel meer doeleinden worden aangewend. Afhankelijk van de bewerking van het materiaal (selecteren, breken, zeven, malen) kan deze mijnsteen naast gebruik als "vulmiddel" of ophoogmiddel onder andere gebruikt worden als:

- toeslagstof voor beton,
- brandstof (na verrijkingsproces),
- toeslagstof en brandstof voor cementindustrie,
- grondstof voor grof-keramische industrie,

Bij deze toepassingen kunnen onder meer zwavelverbindingen en resten van chemische stoffen die werden gebruikt bij wasprocessen in de mijnen, middels verbranding in de atmosfeer terecht komen. Ook is het mogelijk dat in de eindprodukten schadelijke stoffen voorkomen.

Zwarte mijnsteen is zeker niet geschikt als verhardings- en funderingsmateriaal voor duurzame wegconstructies. Ook als materiaal voor de vorstongevelige laag, zoals in de wegenbouw in Nederland door het zandbed wordt gevormd, is het materiaal ongeschikt (Laan, 1983).

6.1.3. Toepassingen van rode mijnsteen en de gevolgen daarvan voor het milieu

De rode, gebrande mijnsteen die onder andere wordt afgegraven van de steenberg Willem-Sophie te Kerkrade, is bestendiger en sterker dan de ongebrande zwarte mijnsteen. Rode mijnsteen wordt toegepast als funderingsmateriaal voor wegen, verhardingsmateriaal (bijvoorbeeld wandelpaden), gravel voor tennisbanen enz. Vooral de mijnsteen waaruit de grovere fracties zijn verwijderd is goed bruikbaar. Het materiaal heeft een hogere handelswaarde en is over het algemeen beter te gebruiken dan zwarte mijnsteen.

Over eventuele milieueffecten ten gevolge van toepassing van rode mijnsteen is weinig bekend. Ten gevolge van het brandproces zal rode mijnsteen over het algemeen minder zwavel bevatten dan zwarte mijnsteen. Aangenomen mag worden dat de effecten echter grotendeels vergelijkbaar zijn met hetgeen in par. 6.1.2. is beschreven.

6.2. MIJNSLIK

Het mijnslik dat bij de wasprocessen in een kolenmijn vrijkomt kan bestaan uit steenslik, kolenslik of een mengsel van beide.

De scheiding van steenslik en kolenslik kon alleen gerealiseerd worden indien van flotatietechnieken gebruik werd gemaakt. Het kolenslik dat hierbij vrijkwam werd na ontwatering geheel hergebruikt als brandstof. Het steenslik, dat een asgehalte heeft van ca. 80%, is dankzij een vinding van De Staatsmijnen uit de 50-er jaren zeer bruikbaar geworden voor de fabricage van bakstenen voor binnenmuren. De in het slik aanwezige hoeveelheid koolstof zorgt voor de thermische energie bij het bakproces (Meerman, 1962). De grondstoffen waaruit de stenen zijn opgebouwd zijn: steenslik (asgehalte ca. 80%), klei, vliegashoudend zaagsel. Deze poriso-stenen worden al ca. 30 jaar op grote schaal in de bouw toegepast. Vooral in de periode na de tweede wereldoorlog toen de heropbouw van Nederland op gang kwam, zijn grote hoeveelheden poriso-stenen gebruikt. De milieueffecten van het bakken van poriso-stenen beperken zich voornamelijk tot de uitstoot van enige gassen (o.a. zwavelverbindingen) in de atmosfeer. Het is mogelijk dat in de stenen ten gevolge van de verwerking van vliegashoudend zaagsel hoge concentraties arseen worden aangetroffen.

In het geval geen flotatietechnieken zijn toegepast, en er dus geen scheiding van kolenslik en steenslik heeft plaatsgevonden, is als restprodukt mijnslik met een asgehalte van ca. 45% overgebleven. Dit mijnslik is in sommige gevallen na ontwatering als brandstof in de ketelhuizen der mijnbedrijven gebruikt (Wark, 1959) of aan derden doorverkocht. Tevens is het mijnslik bruikbaar gebleken bij de cokesfabricage en als toeslagstof voor de cementindustrie (ENCI). Ten gevolge van het verbranden van mijnslik kunnen gassen (voornamelijk zwavelverbindingen) in de atmosfeer terecht komen. Ook kunnen op deze wijze restprodukten van chemische vlokmiddelen die door de mijnbedrijven werden gebruikt in de atmosfeer terecht komen.

Een groot deel van het mijnslik is in de oostelijke mijnstreek gebruikt als "vulmiddel" voor oude (bruinkool)groeves. Groeves zijn dan ook uitermate geschikt om het vloeibare materiaal in te bergen. Er zijn momenteel in de oostelijke mijnstreek nog vele plaatsen waar de met slik gevulde groeves waarneembaar zijn. Hergebruik van dit slik moet met behulp van moderne technieken in een aantal gevallen mogelijk worden geacht.

Een probleem dat zich ten aanzien van met slijk opgevulde groeves kan voordoen is waterstagnatie in de bodem. Mijnslik is namelijk zeer slecht waterdoorlatend en kan door verslemping zelfs ondoorlatend worden. Hierdoor kan aan het maaiveld het indringen van regenwater in de bodem belemmerd worden en blijven de gronden lang drassig en dus onbruikbaar. Tevens is het bebouwen van deze gronden door de geringe draagkracht vrijwel niet mogelijk. Het gebruik van mijnslik als "vulmiddel" voor oude groeves dient daarom ontraden te worden.

LITERATUUR

- 1 Absil, J.H. e.a. 1959 Vergruizing van schachtkool bij opvoer per skip en per mijnwagen. *Geologie en Mijnbouw* 21, pp. 72-74
- 2 Adema, D. 1962 Het afvalwater der Staatsmijnen. *Water*, jaargang 46 nr. 23, pp. 340-342
- 3 Anonymus 1 1954 Vernieuwing en modernisering van onze wasserijen. *Oranje-Nassau Post*, pp. 84-86
- 4 Anonymus 2 1963 Nieuwe methode van slikwinning. *Oranje-Nassau Post*, pp. 456-457
- 5 Anonymus 3 1979 *Water Treatment Handbook*. Halsted Press, New York
- 6 Bakels, P.S. 1949 Bergen van steen met een brandbaar binnenste. *Steenkool*, pp. 339-340
- 7 Beek, G.E.M. van e.a. 1984 Nitraat en drinkwatervoorziening. Mededelingen '84, Keuringsinstituut voor waterleiding artikelen KIWA N.V.
- 8 Biezenaar, H. 1959 De ontwikkeling van de wasserij van Staatsmijn Emma gedurende de laatste 5 jaren. *Geologie en Mijnbouw* 21, pp. 57-64
- 9 Bindels, J.H.M. 1979 Onderzoek naar de afgifte van milieuschadelijke bestanddelen door mijnsteen van de ON I in zilverzandgroeve (Beaujean). Rapport nr. 79.026 bureau INTRON, Maastricht
- 10 Bindels, J.H.M. 1980 Onderzoek grondwatermonsters uit de zilverzandgroeve Beaujean. Rapport nr. 80.179 bureau INTRON, Maastricht
- 11 Bindels, J.H.M. 1980 Onderzoek slikvijvers oostelijke mijnstreek. (B) rapport nr. 80.158 bureau INTRON, Maastricht
- 12 Bindels, J.H.M. 1981 Controle grondwater bij de voormalige zilverzandgroeve Beaujean. Rapport nr. 81.020 bureau INTRON, Maastricht
- 13 Bradshaw, A.D. e.a. 1980 *The restoration of land*. Blackwell Scientific Publications. ISBN 0 520 03961 0

- 14 Bijen, J. 1981 Mijnsteen: toepassing en deponie. Rapport nr. 81.241 bureau INTRON, Maastricht
- 15 Dost, H (red.) 1973 Acid Sulphate Soils. (I Introductory papers and bibliography, II Research papers). International institute for land reclamation and improvement, Wageningen. Publication nr. 18 vol I & II
- 16 DSM-Limburg 1959 Een wereld van groei. Voorlichtingsdienst Staatsmijnen, 2e druk
- 17 DSM-Limburg 1973 Laatste mijn van DSM staakt kolenproductie. Persdienst DSM
- 18 Gemmell, R.P. 1977 Colonization of industrial wasteland. Studies in Biology no. 80. ISBN 07131 2586 1
- 19 Greven, F.J. 1967 Studie betreffende de huidige toestand van de stortplaatsen van mijnstenen van de Limburgse mijnen. Intern rapport Staatstoezicht op de Mijnen, Heerlen
- 20 Greven, F.J. 1978 Nadere gegevens van enkele mijnsteendepots over de periode 1967 tot sluiting mijnen.
- 21 Hoedemakers, T. 1977 Sanering mijnterreinen een gigantische operatie. Limburg Vandaag 8 (76/77) nr.7, pp.25-26 nr.8, pp.23-24
- 22 Hoefnagels, A. 1974 Studie mijnterreinen. Hoefnagels Projectpromotie B.V., Heerlen
- 23 Houben, W. 1982 Een nieuw begin. De sanering en reconstructie van de voormalige mijnterreinen in het oostelijk mijngebied. Hoefnagels Projectpromotie B.V., Heerlen
- 24 IGF 1984 Overzicht peilbuizen en chemische analyses grond en grondwater op/rond mijnterreinen, groeven etc. oostelijke mijnstreek. Rapport nr. 83.275 Instituut voor Grondmechanica en Funderingstechniek, Maastricht
- 25 IWACO 1984 Oriënterend onderzoek ter plaatse van een met mijnsteen opgevuld grindgat te Stevensweert (noord + zuid). Rapport nr. 30.279 IWACO B.V., Boxtel

- 26 Kemp, M. 1961 Allerlei over de steenberg. Boortoren en Schachtwiel 6, pp. 293-294
- 27 Kimpe, W.F.M. 1975 Het stijgende mijnwater in de gesloten Zuid-Limburgse mijnen. Intern rapport Rijks Geologische Dienst, studiegroep "Hydrologische gevolgen van de mijnsluitingen"
- 28 Kimpe, W.F.M. 1978 Paleozoic deposits East of the Brabant massif in Belgium and the Netherlands. Mémoires de la Commission Royale de Géologie, vol. 30-2, pp.39-103
(red.)
- 29 Kleinmann, R.L.P. 1982 Control of acid mine drainage using anionic e.a. surfactants. First International Mine Water Congress (IMWA), april 1982, Budapest, pp.51-63
- 30 Koninklijke Ned. 1971 Regionale afvalverwerking stadsgewest oostelijk mijngebied. Rapport nr. 697
Heidemij.
- 31 Laan, G.J. 1983 De toepasbaarheid van mijnsteen in de waterbouw. Deltadiest Rijkswaterstaat, werkgroep Keuring bouwstoffen voor de waterbouw. Rapport nr. WKE-R-78156, vierde versie
- 32 Libicki, J.S. 1982 Influence of large coal waste disposal on the groundwater quality and control methods. First International Mine Water Congress (IMWA) april 1982, Budapest, pp.65-79
- 33 Linschoten, P.v. 1947 Kolenveredeling. Steenkool, pp. 295-297, 328-329, 347-349
- 34 Matthes, G. e.a. 1982 Effects of coal mine wastes of Nordrhein-Westphalia on groundwater. Effects of waste disposal on groundwater and surface water, International Association of Hydrological Sciences (IAHS) publication no. 139 pp. 271 - 278
- 35 Meerman, P.G. 1959 Het rendement van het kolenwassen. Geologie en Mijnbouw 21, pp. 84-93
- 36 Meerman, P.G. 1962 Het slikprobleem bij de Staatsmijnen. Water, jaargang 46 nr. 7, pp. 102-104

- 37 Mironenko, V.A. e.a. 1982 Hydrogeological investigations on the problem of groundwater protection in mining development regions. First International Mine Water Congress (IMWA), april 1982, Budapest, pp. 121-132
- 38 Niel, E.M.M.G. 1978 Oriënterend onderzoek naar de materiaaleigenschappen van mijnsteen. Rapport nr. 78149 bureau INTRON, Maastricht
- 39 Niel, E.M.M.G. 1979 Inschatting van het gevaar voor milieubelasting in de groeve Beaujean. Rapport nr. 79.224 bureau INTRON, Maastricht
- 40 Nieskens, G.A. 1980 De sanering van twee voormalige mijnsterreinen in Heerlen. Annalen der mijnen van België nr. 7-8, pp. 745-750
- 41 Nijsten, J.M. 1981 Controle van het grondwater op de terreinen ON I en ON III te Heerlen en op het terrein Beerenbosch te Kerkrade. Rapport nr. 81.156 bureau INTRON, Maastricht
- 42 Nijsten, J.M. 1983 Grondonderzoek S.S.O. (terrein ON II/Wilhelmina (A) mina). Rapport nr. 83.031 bureau INTRON, Maastricht
- 43 Nijsten, J.M. 1983 Onderzoek grondwater Landgraaf (terrein ON II (B) - Wilhelmina). Rapport nr. 83.134 bureau INTRON, Maastricht
- 44 Pannekoek, A.J. (red.) 1973 Algemene Geologie. Wolters-Noordhoff, Groningen
- 45 Pearce, P.F. e.a. 1982 Protection of environmental resources by effective mine water management. First International Mine Water Congress (IMWA), april 1982, Budapest, pp. 80-101
- 46 Picard, H. 1941 Een excursie door het mijnbedrijf. Geologie en Mijnbouw 3, pp.1-17
- 47 Planburo voor Architectuur en Stedebouw 1973 Landschapsherstel groevegebied, deelplan Brunssummerheide
- 48 Raedts, C.E.P.M. 1958 Op- en neergang in de steenkolenindustrie. Boortoren en Schachtwiel 3, pp. 241-243

- 49 Raedts, C.E.P.M. 1971 De opgang en teleurgang van de Limburgse steenkoolindustrie. Geologie en Mijnbouw vol. 50 (2), pp. 105-118
- 50 Raedts, C.E.P.M. 1974 De opkomst, de ontwikkeling en de neergang van de steenkolenmijnbouw in Limburg. Van Gorcum, Assen
- 51 Rawat, N.S. e.a. 1982 Study of acid mine drainage in North-Eastern coal mines of India. First International Mine Water Congress (IMWA), april 1982, Budapest, pp. 133-147
- 52 RGD 1980 Overzicht van het steenkoolvoerend Carboon in noordwest Europa in mijngebieden binnen een straal van ca. 300 km. van het centrum van Nederland. Intern rapport Rijks Geologische Dienst, nr. GB 1720/GD 20067
- 53 Ritt, H.P. 1977 Rapport betreffende de technische aspecten van het bouwen met en op zwarte mijnsteen. Rapport nr. 76.260, Instituut voor Grondmechanica en Funderingstechniek, Maastricht
- 54 Ritt, H.P. 1985 Onderzoek naar bodemverontreiniging op het Laura-terrein te Eygelshoven. Rapport nr. 85.098, Instituut voor Grondmechanica en Funderingstechniek, Maastricht
- 55 Rooijen, P. v. e.a. 1982 Mine water in Dutch coal mines in the post-mining stage. First International Mine Water Congress (IMWA), april 1982, Budapest, pp. 102-115
- 56 Ross van Lennep, D.P. 1935 De nevenbedrijven der vetkolenmijnen. Mijnen-nummer, Heerlen, mijn- en industriestad, pp. 45-49
- 57 Steenbergafgravingen B.V. Van zwart naar groen, informatiefolder Steenbergafgravingen B.V., Heerlen
- 58 VROM 1983 Preventie van bodemverontreiniging bij de opslag van steenkool. Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer. Reeks: bodembescherming, nr. 13, Staatsuitgeverij, Den Haag

- 59 Waeyen, H.L.S.M. 1985 Rapport betreffende een oriënterend bodemonderzoek op de steenberg te Kerkrade. Projectbureau voor industrieel afval (PBI), Sittard, rapport nr. R 85.020
- 60 Wark, J. 1959 De slikwinning en -verwerking bij de ON-mijnen. Geologie en Mijnbouw 21, pp. 65-71
- 61 Waterschoot van der Gracht, W.A.J.M. 1936 De Limburgse steenkolenmijnindustrie gedurende de laatste 40 jaar. 40 jaren spoor en mijnen in Zuid-Limburg, pp. 76-88
- 62 Westen, J.M.J. 1971 Statistisch overzicht van productie, bezetting en prestaties van de Limburgse steenkolenmijnen. Geologie en Mijnbouw vol. 50 (2) pp. 311-320