

### 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 waterrijproducten 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 steenbergen 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 mijnsteenbergen 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 plantewortels	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.

$\text{kg/m}^3$  Vereenvoudigde samenstelling:

2.2-2.4	schalie.....	69%
2.5-2.7	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 <sub>2</sub>	33 - 55
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14 - 23
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3 - 7
CaO	5, - 1,5
MgO	1 - 2
S	0,1 - 1
K <sub>2</sub> O	3 - 6

tabel 3.3 Gemiddelde chemische samenstelling Engelse mijnsteen

elementaire bestanddelen	% (gewicht)
gloeiverlies	16
SiO <sub>2</sub>	52
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6
TiO <sub>2</sub>	1
CaO	0,7
MgO	1,2
Na <sub>2</sub> O	0,4
K <sub>2</sub> O	3
SO <sub>3</sub>	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 Eyselshoven" (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 bodemmonsters afkomstig van het Willem-Sophie terrein. Uit de bodemmonsters 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 Eyselshoven (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
arsen (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 Eyselshoven (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 Eyselshoven  
(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		
<b>totaal</b>	<b>&lt;0,1</b>	<b>&lt;0,1</b>	<b>&lt;0,1</b>	<b>1</b>	<b>20</b>

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 ("Diederer"). 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 (gehaltenes 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		
controlelegaten:	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
cyclopentanofthaleenderivaten	8.100
fenanthreenderivaten	7.300
cyclopentanofenanthreenderivaten	2.900
pyreenderivaten	3.400
chryseenderivaten	2.300
cyclopentanochryseenderivaten	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 <sub>2</sub>	490.350	410.300 - 548.800	
TiO <sub>2</sub>	8.360	7.250 - 9.140	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	208.240	191.000 - 262.000	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	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 <sub>2</sub> O	2.650	1.600 - 4.790	
K <sub>2</sub> O	34.320	21.700 - 43.000	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1.370	770 - 1.770	
SO <sub>4</sub>	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 <sub>2</sub>	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

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, fenanthreen, 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 dientengevolge 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  $\text{SO}_3$ ) 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 ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) 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 <sub>2</sub>	550.000 - 610.000
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	210.000 - 310.000
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	38.000 - 62.000
TiO <sub>2</sub>	1.000 - 3.000
CaO	1.000 - 11.000
MgO	8.000 - 15.000
Na <sub>2</sub> O	2.000 - 7.000
K <sub>2</sub> O	20.000 - 30.000
SO <sub>3</sub>	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 <sub>2</sub>	613.400	578.000	608.400	613.200	633.600	588.600
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	205.000	251.900	232.300	221.700	194.100	264.600
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	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 <sub>2</sub>	52.300	64.900	60.700	52.000	52.300	72.400
SO <sub>3</sub> (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 SO<sub>3</sub>

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 steenberggen 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, vlieg-as en puin op de steenberggen 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 ( $\text{FeS}_2$ ) een der meest voorkomende verontreinigingen in mijnsteen is (Niel, 1978). Percentages worden echter ook in dit rapport niet genoemd.

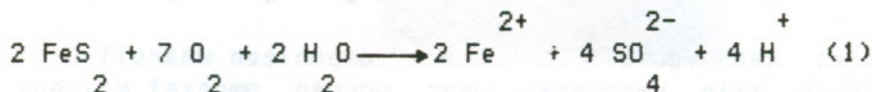
In het boek "The restoration of land" (Bradshaw, 1980) zijn enige pyrietpercentages in mijnsteen aangegeven. Het betreft hier verschillende mijnsteensoorten uit Groot-Brittanie. In tabelvorm zijn per mijnsteensoort achtereenvolgens het percentage pyriet, het percentage carbonaat en de zuurgraad (pH) 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

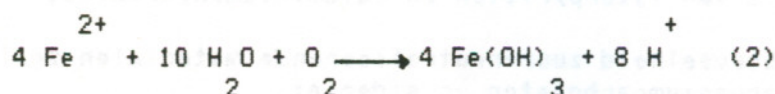
mijnsteen	% pyriet	% carbonaten	pH
Florence	1,72	4,39	6,6
Bold	3,71	2,73	5,9
Heath	1,04	3,88	5,0
Sutton manor	1,21	1,07	3,8
Littleton	0,58	0	2,3
Harrington	0,62	0	2,3
Silverdale	0,94	0,05	2,1

Het proces van pyrietoxidatie verloopt als volgt.

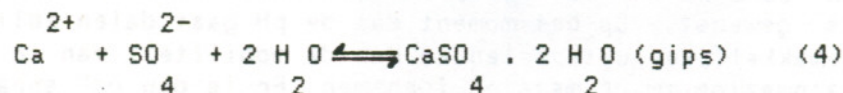
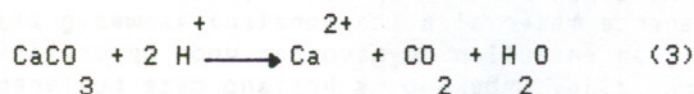
In de mijnsteen is een hoeveelheid pyriet aanwezig. Deze pyriet kan onder aerobe omstandigheden worden geoxideerd volgens de chemische reactie (Kleinmann, 1982):



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):

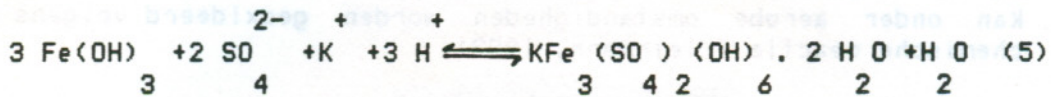


Het oxidatieproces verloopt in het algemeen langzaam bij hoge pH en snel bij lage pH. De snelheid van pyrietoxidatie is dus sterk afhankelijk van de samenstelling van de mijnsteen. Vooral de aanwezigheid van neutraliserende componenten zoals carbonaten kunnen remmend werken op de verlaging van de pH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

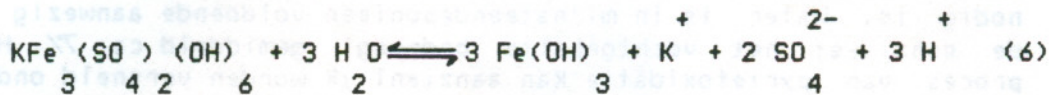


Indien de aanwezige hoeveelheid  $\text{CaCO}_3$  te gering is zal het bufferende systeem van (3) niet meer werken en gaat de pH dalen. In dat geval zullen de reacties (1) en (2) weer de overhand krijgen. Er worden dan veel  $\text{H}^+$  ionen gevormd en er kan

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<sub>4</sub>(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 oppervlakte- 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 zie 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<sub>2</sub>S (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<sub>2</sub>S<sub>3</sub>) (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 effluenten die met de laagste pH,
- effluenten met een lage pH bevatten hoge concentraties Fe, Al, Mn, Ca, Mg en SO<sub>4</sub>. 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 Nordrhein-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
HCO <sub>3</sub>	10	427 - 1.061	208	188 - 1.525		
SO <sub>4</sub>	10	185 - 21.748	208	55 - 11.410		
Cl	10	51 - 10.637	208	622 - 6.725		
NO <sub>3</sub>	10	20 - 105	208	na - ca.100		
NO <sub>2</sub>	6	na - 0,26	200	0,6 - 42		
NH <sub>4</sub>	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 percolaatwater 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 (grote) aannamen kan een berekening worden opgesteld voor bijvoorbeeld de steenberg Emma - Hendrik. Ook hier gelden enige aannamen:

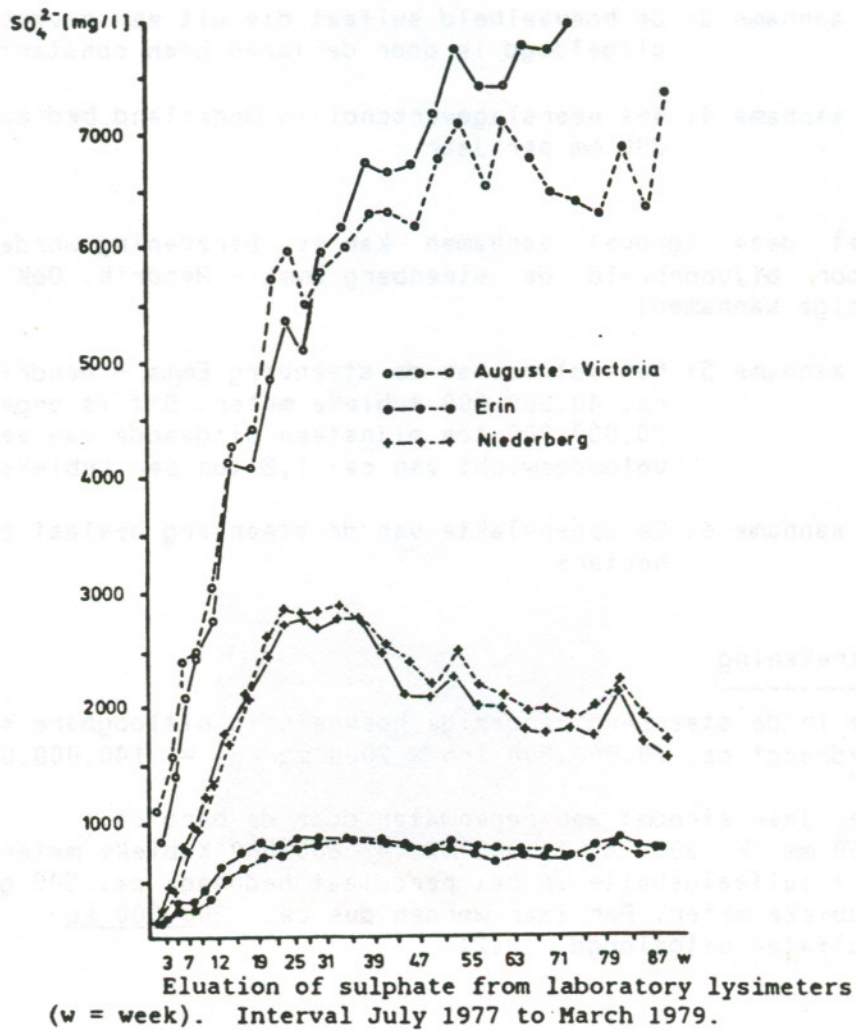
- aanname 5: het volume van de steenberg Emma - Hendrik bedraagt ca. 40.000.000 kubieke meter. Dit is ongeveer 70.000.000 ton mijnsteen uitgaande van een volumegewicht van ca. 1,8 ton per kubieke meter
- aanname 6: De oppervlakte van de steenberg beslaat ca. 200 hectare

#### Berekening

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

Per jaar stroomt aan regenwater door de berg ca.:  
 300 mm X 200 X 10.000 m<sup>2</sup> = 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 kg : 300.000 kg = ca. 450 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 uitgelogd. 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 uitgelogd. 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-deponieën

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, SO<sub>4</sub> 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 mijnsteendeponieën 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 "Kontrolé 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 I 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 (SO<sub>4</sub>), nitraat (NO<sub>3</sub>), 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 praktisch 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).

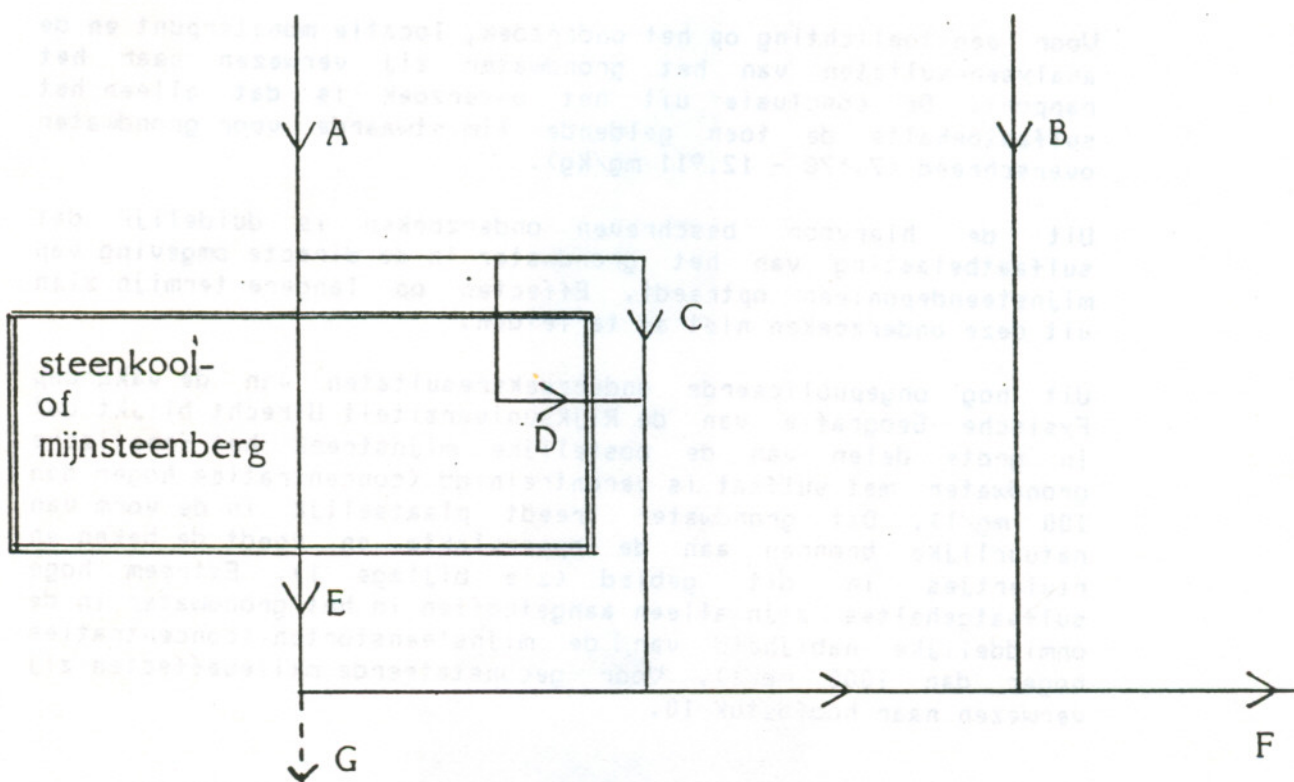
Uit de hiervoor beschreven onderzoeken is duidelijk dat sulfaatbelasting van het grondwater in de directe omgeving van mijnsteendeponieën optreedt. Effecten op langere termijn zijn uit deze onderzoeken niet af te leiden.

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

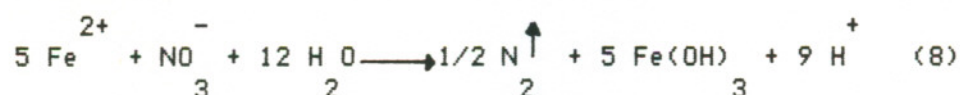
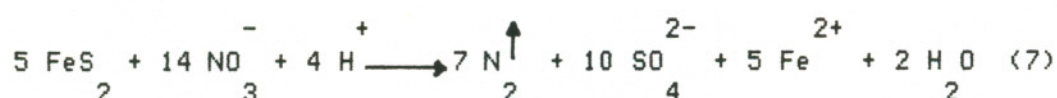


Schematisch overzicht van de waterstromen bij de opslag van steenkool resp. van mijnsteenafval

- 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 mijnsterreinen 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.