



Burgemeester en Wethouders
van de gemeente Landgraaf
Postbus 31000
6370 AA LANDGRAAF

GEMEENTE LANDGRAAF	
Ontv.	17 DEC. 2012
Voigt.	
Afdeling	53
Kopie voor	M. Janssen
Beh. medew.	
Gezien Secr.	Gezien Burg.

63

VERZONDEN 14 DEC. 2012

Cluster MDOSO
Faxnummer (043) 389 75 38
Ons kenmerk 2012/59675
Bijlage(n) 1

Behandeld YH de Man
Doorkiesnummer (043) 389 78 51
Uw kenmerk
Maastricht 11 december 2012

Onderwerp

Aanbieding eindrapport "verkenning van de effecten van mijnsteen op grond- en oppervlaktewater"

Geacht college,

Hierbij bieden wij u de eindrapportage aan van het project waar wij samen met u en het Waterschap Roer en Overmaas aan gewerkt hebben. Met dit project hebben wij meer inzicht gekregen in de wijze waarop verontreinigingen vanuit mijnsteen in het milieu verspreid zijn. Wij bevelen u aan om op onze website de kaarten te bekijken waarop de data in beeld zijn gebracht. Ga daartoe naar www.limburg.nl/e-loket en klik op "Atlas Limburg".

Vanuit onze taak om inzichtelijk te maken of bodemverontreiniging tot actuele risico's leidt voor mens en/of milieu, hebben wij zowel de GGD als de waterkwaliteitsbeheerder om een reactie gevraagd. Deze reacties zijn als bijlagen in de rapportage opgenomen.

Dit project was een zeer leerzame ervaring en wij danken u voor de prettige samenwerking.

Gedeputeerde Staten van Limburg

voorzitter

secretaris

121112-0004

Bezoekadres:
Limburglaan 10
NL-6229 GA Maastricht

Postbus 5700
NL-6202 MA Maastricht
postbus@prvlimburg.nl

Tel + 31 (0)43 389 99 99
Fax + 31 (0)43 361 80 99
www.limburg.nl

IBAN -nummer:
NL08RABO0132575728
BIC-code: RABONL2U

Bereikbaar via:
Lijn 1 (richting De Heeg)

Verkenning van de effecten van mijnsteen op grondwater- en oppervlaktewaterkwaliteit

Pilot uitgevoerd door Provincie Limburg voor de ILG-informatiepilots bodem

Documentinformatie

Auteurs:	Claire Schreurs, Olaf van Leeuwen, Ingrid Dupuits
Afdeling:	Milieu en Duurzame Ontwikkeling
Cluster:	Stedelijke Ontwikkeling
Datum:	22 november 2012

Samenvatting

In het kader van de bestuursafspraken tussen het Rijk en de Provincie Limburg om ILG-bodeminformatiepilots uit te voeren gericht op het gebruik en beschikbaar komen van bodeminformatie, is deze pilot uitgevoerd. Het doel van deze pilot is een eerste inzicht verkrijgen in het effect van mijnsteen op de grondwater- en oppervlaktewaterkwaliteit in Parkstad Limburg. De verspreiding van verontreinigingen uit mijnsteen kan ongewenste effecten hebben op mens, dier en plant.

Tijdens de steenkoolwinning in Zuid-Limburg begin vorige eeuw kwamen naast steenkool ook grote hoeveelheden mijnsteen vrij. Dit nevenproduct werd grotendeels in de regio in en op de bodem verwerkt en bevat van nature en additionele stoffen die kunnen uitloggen naar het grondwater- en oppervlaktewater. In dat kader is een literatuuronderzoek uitgevoerd naar het verspreidingsgedrag van de uit de mijnsteen vrijkomende stoffen en de processen die zich daarbij in de bodem en het grondwater voordoen.

In samenwerking met vier Parkstadgemeenten en het waterschap Roer en Overmaas heeft de Provincie Limburg bestaande grondwater- en oppervlaktewatermetingen in Parkstad Limburg verzameld, ontsloten middels kaarten in een GIS-viewer en geïnterpreteerd om dat nader inzicht in het effect van mijnsteen op de grondwater- en oppervlaktewaterkwaliteit te verkrijgen.

De bestaande meetgegevens van de periode 2006 tot en met 2009 zijn bij elkaar gebracht en ontsloten via GIS. Daarmee is een goed overzicht ontstaan van de beschikbare meetgegevens van die periode. Het literatuuronderzoek geeft een helder beeld van de relevante beschikbare kennis over de verspreiding van verontreiniging uit mijnsteen.

Aan de hand van de beschikbare data en de kennis is per mijnsteengebied een interpretatie uitgevoerd. De resultaten laten een lokale beïnvloeding van de grondwater- en oppervlaktewaterkwaliteit zien. Daarbij ontstaat voor sommige mijnsteengebieden een beter beeld dan voor andere. De onderlinge verschillen tussen de mijnsteengebieden zijn te groot en het aantal meetlocaties te beperkt om een algemene, voor het hele grondgebied van Parkstad geldende conclusie te trekken.

Uit de data kan worden opgemaakt dat in deze regio diffuus verhoogde gehalten in het grondwater voorkomen. Het grondwater in de peilbuizen die niet in een beïnvloedingsgebied staan, laat steeds een vergelijkbare waterkwaliteit zien. Het gaat dan **bij benadering** om grondwater met een sulfaatconcentratie van circa 100 mg/l, met daarbij een EC-waarde van circa 1000 μ S/cm en een pH van circa 7.

Nu er een beter inzicht is in de verontreinigingsgegevens is bekeken of deze mogelijk risico's veroorzaken voor mens en milieu. Daartoe zijn zowel de GGD als het Waterschap verzocht om een reactie op de data. De GGD verwacht op basis van de beschikbare gegevens geen risico's voor de volksgezondheid. Het ecosysteem in het oppervlaktewater kan wel gevolgen ondervinden van de mijnsteen, maar onduidelijk is hoe groot de invloed is van mijnsteen ten opzichte van andere factoren.

Inhoudsopgave

Samenvatting

Inhoudsopgave	4
1. Inleiding	7
1.1. Aanleiding	7
1.2. Probleemstelling	7
1.3. Doel	8
2. Afkomst Mijnsteen	9
2.1. Productieproces steenkoolwinning	9
2.2. Mijnsteen en mijnslik	9
3. Mijnsteen en mijnslik	11
3.1. Natuurlijke samenstelling van mijnsteen	11
3.1.1. Petrologische samenstelling	11
3.1.2. Mineralogische samenstelling	11
3.1.3. Chemische samenstelling	12
3.2. Additionele verontreinigingen in mijnsteen	12
3.3. Oxidatieprocessen in de mijnsteen	13
3.4. Processen die de verspreiding van stoffen kunnen beïnvloeden	14
3.5. Samenvatting	16
3.6. Ligging mijnsteengebieden	17
4. Het gedrag van verontreinigingen in bodem	19
4.1. Transportprocessen	19
4.1.1. Fysisch transport	19
4.1.1.1. Transport van stoffen met grondwater	19
4.1.1.2. Transport door dichtheidsstromen	20
4.1.1.3. Transport door faseovergangen	20
4.1.2. Reactief stoftransport	21
4.1.3. Gedrag van stofgroepen	21
4.2. Nader inzicht in verspreidingsgedrag van stoffen uit mijnsteen	22
5. Grondwater en oppervlaktewateren die mogelijk door mijnsteen beïnvloed worden	23
5.1. De geologie en geohydrologische situatie (op hoofdlijnen) van Parkstad Limburg	23
5.2. De hydrologische situatie (op hoofdlijnen) van Parkstad Limburg	27
6. Opzet data-analyse	29
6.1. Verwachte stroombanen grondwater	29
6.2. Afwegingen bijeengebrachte data	30
6.3. Digitale kaart	32
7. Interpretatie gegevens	35
7.1. <u>Mijnsteen</u> berg Emma/Hendrik	36
7.1.1. Analyseresultaten	36
7.1.2. Conceptueel model	45
7.1.3. Interpretatie beïnvloeding grond- en oppervlaktewater	46
7.1.4. Conclusie	47

7.2.	<u>Voormalig Hendrikterrein, slikvijver Hendrik en oude spoorlijn</u>	48
7.2.1.	Analyseresultaten	48
7.2.2.	Conceptueel model	50
7.2.3.	Interpretatie beïnvloeding grond- en oppervlaktewater	51
7.2.4.	Conclusie	52
7.3.	<u>Voormalig Emmaterrein en slikvijver Emma</u>	52
7.3.1.	Analyseresultaten	53
7.3.2.	Conceptueel model	63
7.3.3.	Interpretatie beïnvloeding grond- en oppervlaktewater	65
7.3.4.	Conclusie	67
7.4.	<u>Beaujean</u>	67
7.4.1.	Analyseresultaten	68
7.4.2.	Conceptueel model	70
7.4.3.	Interpretatie beïnvloeding grond- en oppervlaktewater	71
7.4.4.	Conclusie	72
7.5.	<u>Voormalig Oranje Nassau I terrein</u>	72
7.5.1.	Analyseresultaten	72
7.5.2.	Conceptueel model	82
7.5.3.	Interpretatie beïnvloeding grond- en oppervlaktewater	84
7.5.4.	Conclusie	86
7.6.	<u>Voormalig Oranje Nassau III terrein</u>	87
7.6.1.	Analyseresultaten	87
7.6.2.	Conceptueel model	91
7.6.3.	Interpretatie beïnvloeding grond- en oppervlaktewater	92
7.6.4.	Conclusie	93
7.7.	<u>Voormalig Oranje Nassau IV terrein</u>	93
7.7.1.	Analyseresultaten	94
7.7.2.	Conceptueel model	96
7.7.3.	Interpretatie beïnvloeding grond- en oppervlaktewater	98
7.7.4.	Conclusie	98
7.8.	<u>Woonboulevard</u>	99
7.8.1.	Analyseresultaten	99
7.8.2.	Conceptueel model	102
7.8.3.	Interpretatie beïnvloeding grond- en oppervlaktewater	103
7.8.4.	Conclusie	104
7.9.	<u>Voormalig Domaniale- en Willem-Sophia-terrein</u>	104
7.9.1.	Analyseresultaten	105
7.9.2.	Conceptueel model	112
7.9.3.	Interpretatie beïnvloeding grond- en oppervlaktewater	115
7.9.4.	Conclusie	115
7.10.	<u>Voormalig Juliaterein</u>	116
7.10.1.	Analyseresultaten	116
7.10.2.	Conceptueel model	131
7.10.3.	Interpretatie beïnvloeding grond- en oppervlaktewater	133
7.10.4.	Conclusie	134
7.11.	<u>Voormalig Wilhelminaterrein, Oranje Nassau II terrein en Laura II terrein</u>	134
7.11.1.	Analyseresultaten	135
7.11.2.	Conceptueel model	140
7.11.3.	Interpretatie beïnvloeding grond- en oppervlaktewater	143
7.11.4.	Conclusie	144
8.	Resultaten en conclusies	145

Bijlage 1 Samenstelling Projectgroep Pilot Mijnsteen

**Bijlage 2 Literatuuronderzoek naar de verspreiding van verontreiniging uit mijnsteen naar het
grond- en oppervlaktewater in Parkstad Limburg**

Bijlage 3 Normen per stof per normkader

Bijlage 4 Legenda voor kaarten hoofdstuk 7

Bijlage 5 Literatuurlijst

Bijlage 6 Gezondheidkundige beoordeling door GGD Zuid Limburg

Bijlage 7 Ecologische beoordeling door het Waterschap Roer en Overmaas

1. Inleiding

De steenkoolmijnen in Oostelijk Zuid-Limburg werden vanaf eind 19^e eeuw tot eind zestiger jaren van de 20^e eeuw geëxploiteerd. Daarna werd deze industrie (economisch) gesaneerd. Een van de gevolgen van de mijnbouw in Zuid-Limburg is de aanwezigheid van naar schatting 150 miljoen ton mijnsteen (bijproducten van de mijnbouw) in en op de bodem [De Straat Milieu-adviseurs, 2003]. In de periode tussen 1977 en 1985 heeft de zogenaamde conversie "van zwart naar groen" plaatsgevonden waarbij grote hoeveelheden mijnsteen werden gebruikt als ophooglaag voor nieuwbouwwijken. De mijnsteenbergen werden voorzien van bedekking met grond en beplanting.

1.1. Aanleiding

In het Meerjarenprogramma-2 van het Rijk zijn onder andere de Rijksdoelen voor het aspect bodem geformuleerd. Daarvoor zijn bestuursafspraken gemaakt met de provincies. Het uitvoeren van de ILG informatiepilots bodem is één van die afspraken. Deze pilots zijn gericht op het gebruik en beschikbaar komen van bodeminformatie.

In Nederland is veel informatie over de ondergrond aanwezig. Deze informatie is verdeeld over verschillende organisaties, onvoldoende beschikbaar voor anderen en het is niet duidelijk waar of bij wie de informatie zich bevindt. De Stuurgroep Bodem heeft daarop de opdracht gegeven voor het project Bodem Informatie Essentieel voor Landelijke en Lokale Sturing (BIELLS). Het doel van BIELLS is te komen tot samenhang en efficiencyverbetering in de ontsluiting van bodeminformatie.

Om informatie en kaarten over de bodem en ondergrond te genereren en ervaring op te doen met het vraaggestuurd ontsluiten van gegevens, dan wel het toepassen van bodeminformatie bij ruimtelijke vraagstukken, worden ILG informatiepilots bodem uitgevoerd door provincies.

In de Bestuursovereenkomst 2007-2013 in het kader van het Investeringsbudget Landelijk Gebied tussen het Rijk en Provincie Limburg, d.d. 18 december 2006, zijn afspraken gemaakt om voor het thema 'Bodem' pilots uit te voeren. Voor het ontwikkelen en uitvoeren van de pilots zal tevens een beroep worden gedaan op samenwerkingspartners van de Provincie Limburg.

Vanuit de Provincie Limburg is begin 2010 gestart met de eerste pilot, namelijk de pilot 'Verkenning van de effecten van mijnsteen op grondwater- en oppervlaktewaterkwaliteit'. Deze pilot wordt uitgevoerd in samenwerking met vier gemeenten van Parkstad Limburg en het waterschap Roer en Overmaas. Verdere informatie over deze projectgroep wordt in bijlage 1 vermeld. De eindproducten van de pilot zijn onderliggend rapport en een GIS-viewer waarmee de bodemdata ontsloten wordt (via www.limburg.nl).

1.2. Probleemstelling

De bij de mijnbouw vrijgekomen en al dan niet bewerkte mijnsteen is in het verleden verwerkt in grote steenbergen en als aan- of opvulling van vaak omvangrijke gebieden in Limburg. De aanwezigheid van mijnsteen heeft in de regio Parkstad Limburg (voorheen Oostelijke Mijnstreek genoemd) geleid tot verhoogde gehalten sulfaat en additionele verontreinigingen in het grond- en oppervlaktewater. De verspreiding van deze verontreinigingen naar grond- en oppervlaktewater kan ongewenste effecten hebben op mens, dier en plant.

1.3. Doel

Het doel van deze pilot is een eerste inzicht verkrijgen in het effect van mijnsteen op de grondwater- en oppervlaktewaterkwaliteit in Parkstad Limburg.

In dat kader is een literatuuronderzoek uitgevoerd om nader inzicht te verkrijgen in het verspreidingsgedrag van de uit de mijnsteen vrijkomende stoffen en de processen die zich daarbij in de bodem en het grondwater voordoen. Daarnaast zijn bestaande grondwater- en oppervlaktewatermetingen verzameld, ontsloten en geïnterpreteerd om dat eerste inzicht te verkrijgen.

De verzamelde data zijn vervolgens voorgelegd aan de GGD en de waterkwaliteitsbeheerder. Hun reacties zijn opgenomen in bijlagen 6 en 7.

2. Afkomst Mijnsteen

Gedurende het Boven-Carboon (circa 300 miljoen jaar geleden) werden lagen van veen, klei en soms zand afgezet. Vervolgens zijn deze lagen in de ondergrond onder invloed van grote druk omgezet in respectievelijk steenkool, schalie en zandsteen. Om de aardlagen waarin steenkool voorkomt te kunnen bereiken werden in de Oostelijke Mijnstreek steenkoolmijnen aangelegd. Bij de steenkoolwinning kwam ook schalie en zandsteen mee naar het oppervlak. De verzamelnaam van deze nevingesteenten is mijnsteen.

2.1. Productieproces steenkoolwinning

De winning van steenkool begint met het aanleggen van één of meerdere schachten tot aan het Carbonisch gesteente. Om deze gesteentelaag te bereiken liepen de schachten door het zogenaamde dekterrein. Dit dekterrein neemt van het zuidoosten (Kerkrade) naar het noordwesten (Sittard) toe van enkele tientallen meters tot ongeveer 350 meter. Dit verklaart ook waarom de kolenmijnbouw in eerste instantie plaatsvond in de omgeving van Kerkrade.

Onderaan de schacht werd een aantal werkplaatsen gerealiseerd, zoals een laadplaats en een materiaalmagazijn. Vanuit deze centrale plek werden op verschillende niveaus gangen aangelegd tot de steenkoollagen. Vervolgens maakte men zijgangen naar de te ontginnen kolenlagen en werd de kolen in de zogenaamde galerijen gewonnen.

De steenkoolwinning ging gepaard met de winning van grote hoeveelheden onbruikbaar gesteente. Van iedere ton materiaal dat naar boven werd gehaald was 20 tot 40 % onbruikbaar. Bovengronds werd de steenkool gescheiden van de restproducten, het zogenaamde mijnsteen.

2.2. Mijnsteen en mijnslik

De steenkoolwinning leverde dus niet alleen steenkool op maar ook veel nevingesteenten. Deze mijnsteen kan worden onderverdeeld in:

- **Schachtsteen**
Mijnsteen die vrijkwam bij het maken van schachten en steengangen.
- **Wassteen**
Mijnsteen die vrijkwam door de scheiding van steenkool en steen via een nat proces.
- **Gebrande mijnsteen**
Na een brand in een mijnsteendeponie (al of niet gecontroleerd) blijft als restproduct rode, gebrande mijnsteen over.
- **Droge mijnsteen**
Mijnsteen die vrijkomt door een droge scheiding van steenkool en mijnsteen.

De afkomst van schachtsteen en gebrande mijnsteen spreekt voor zich. Droge mijnsteen ontstond middels breken en zeven. Steenkool vergruist namelijk makkelijker dan mijnsteen. Bij de natte scheiding werd gebruik gemaakt van de lagere dichtheid van steenkool ten opzichte van mijnsteen. Naast steenkool en wassteen, bleef er ook mijnslik en water over.

Het water werd opnieuw gebruikt in de wasserijen en het mijnslik werd verzameld in natuurlijke laagten of aangelegde slikvijvers. Door zijn hoge vochtgehalte is mijnslik namelijk niet stapelbaar.

Uit het mijnslik kon nog door middel van flotatie kooldeeltjes (koolslik) gehaald worden. Er bleef dan steenslik over dat overgepompt werd naar slikvijvers.

Mijnsteen werd gebruikt voor allerlei doeleinden; het wordt gebruikt als toeslagmateriaal bij het vervaardigen van bakstenen (Porisostenen) in de steenfabriek Eygelshoven, om oude groeves op te vullen, voor het egaliseren van industrieterreinen, het funderen van wegen, voor Deltawerken of als vulsteen in de afgewerkte mijngangen om mijnzakkingen te voorkomen. De rode, gebrande mijnsteen is bestendiger en sterker dan de zwarte mijnsteen (schachtsteen, wassteen en droge mijnsteen) en werd daardoor eerder voor deze vele doeleinden gebruikt.

De mijnsteen waarvoor geen toepassing werd gevonden belandde op de steenbergen. Dit betrof met name de zwarte mijnsteen.

3. Mijnsteen en mijnslik

Mijnsteen bestaat van nature uit verschillende elementen en kan verontreinigd zijn met stoffen afkomstig van aan steenkoolwinning gerelateerde activiteiten die plaatsvonden op de mijnterreinen. Daarnaast kunnen processen, die plaatsvinden in de mijnsteen zelf, ervoor zorgen dat de mijnsteen bepaalde stoffen bevat. In de volgende paragrafen wordt de (mogelijke) samenstelling van de mijnsteen beschreven.

3.1. Natuurlijke samenstelling van mijnsteen

Van nature bestaat mijnsteen uit een aantal elementen; de samenstelling van mijnsteen kan worden onderverdeeld in de petrologische, mineralogische en chemische samenstelling.

3.1.1. Petrologische samenstelling

De petrologische samenstelling van de zwarte mijnsteen uit de Oostelijke Mijnstreek is 70% schalie, 20% zandsteen en 10% steenkool.

De samenstelling van rode, gebrande mijnsteen en van mijnslik is minder goed onderzocht. Men kan ervan uitgaan dat tijdens de verbranding van mijnsteen de aanwezige steenkool oxideert. Hierdoor zal het percentage zandsteen en leisteen in de rode mijnsteen stijgen.

Aangenomen wordt dat het mijnslik voornamelijk uit kleimineralen en kool (10-20 %) bestaat. Het koolgehalte kan ook lager zijn doordat flotatietechnieken zijn toegepast.

3.1.2. Mineralogische samenstelling

In mineralogisch opzicht bestaat mijnsteen voornamelijk uit kleimineralen en kwarts (SiO_2) en daarnaast uit kleine hoeveelheden aan sideriet (FeCO_3), pyriet (FeS_2), haliet (NaCl), ankeriet/Fe-dolomiet ($\text{Ca}(\text{Fe}, \text{Mg}, \text{Mn})(\text{CO}_3)_2$), calciet (CaCO_3), rutiel (TiO_2), dickiet ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$), veldspaat of chloriet [PBI (deelrapport A), 1985; CSO, 2000]. De hoeveelheid haliet in de mijnsteen uit de Oostelijke Mijnstreek is waarschijnlijk laag, aangezien dit goed oplosbare zout bij het wasproces grotendeels wordt verwijderd [CSO, 2000].

De mineralogische samenstelling van mijnslik en van rode, gebrande mijnsteen is minder goed onderzocht. Rode mijnsteen zal een hoger percentage kwarts en kleimineralen bevatten dan zwarte mijnsteen doordat het pyriet door verbranding geoxideerd is. De sulfides worden omgezet in sulfaten en ijzer, waarbij dit ijzer voor een deel zal oxideren naar het rode hematiet (Fe_2O_3) [PBI (deelrapport A), 1985].

3.1.3. Chemische samenstelling

Naar de chemische samenstelling van mijnsteen en mijnslik is niet veel onderzoek gedaan. In het rapport van Intron [1997] wordt aangegeven dat zij in 1978 onderzoek verricht hebben naar de chemische samenstelling van mijnsteen. Zij kwamen tot de volgende samenstelling van oxidevormen:

- Kwarts (SiO_2)
- Aluminium uitgedrukt als Al_2O_3
- IJzer uitgedrukt als Fe_2O_3
- Calcium uitgedrukt als CaO
- Magnesium uitgedrukt als MgO
- Kalium uitgedrukt als K_2O
- Sulfiet (SO_3)

Daarnaast vermelden zij dat mijnsteen heel veel sporenelementen bevat, waaronder chroom, zirkoon, koper, borium, mangaan, rubidium, lithium, zink, nikkel en lood.

Grontmij [2000] geeft aan dat de chemische samenstelling van mijnsteen voornamelijk wordt bepaald door de steenkool die zich in de mijnsteen bevindt. De steenkool uit Limburg is ontstaan in een zoutwater milieu en bevat daarom meer sporenelementen en sulfaat dan steenkool die afkomstig is uit een zoetwater milieu. Steenkool is opgebouwd uit polycyclische koolwaterstoffen (waaronder PAK), humuszuren, zwavel (deels in de vorm van pyriet) en zware metalen. In verhoogde concentraties komen de zware metalen arseen, lood, cadmium, barium en molybdeen voor, maar de zware metalen koper, zink, nikkel, kwik, tin en kobalt kunnen ook in verhoogde concentraties voorkomen [Grontmij, 2000].

Andere onderzoeken tonen ook aan dat mijnsteen zware metalen bevat, al zijn deze waarden vrij laag. Er zijn wel overschrijdingen van de streefwaarde gemeten voor nikkel [Tauw 1991; CSO, 2000; De Straat Milieu-adviseurs, 2003], koper, zink [Tauw 1991; CSO, 2000; De Straat Milieu-adviseurs, 2003; Grontmij, 2000], cadmium en kwik [De Straat Milieu-adviseurs, 2003]. In mijnsteenmonsters uit de gemeenten Brunssum en Kerkrade die onderzocht zijn door De Straat Milieu-adviseurs [2003] liggen de concentraties voor zink, koper en arseen maximaal boven de interventiewaarde voor grond. Daarnaast is in de Limburgse mijnsteen PAK's [Tauw, 1991; CSO, 2000; De Straat Milieu-adviseurs, 2003; Grontmij, 2000], lood [De Straat Milieu-adviseurs, 2003], molybdeen en ethylbenzeen [Grontmij, 2000] aangetroffen, maar ook deze gehalten liggen relatief dicht bij de streefwaarde.

3.2. Additionele verontreinigingen in mijnsteen

De aan steenkoolwinning gerelateerde activiteiten die plaatsvonden op de mijnterreinen konden de mijnsteen verontreinigen. Ten eerste zijn er de bijmengingen vanuit het productieproces. Mijnsteen kan verontreinigd zijn door het waswater dat gebruikt werd voor de scheiding van steenkool en mijnsteen. Dit waswater kon chemische stoffen bevatten die de mijnsteen en mijnslik verontreinigden met bijvoorbeeld magnetiet ($\text{Fe}_2^{3+}\text{Fe}^{2+}\text{O}_4$) of bariet (BaSO_4), afhankelijk van het toegepaste procedé (hoe moderner de mijn, hoe "chemischer" de toevoegingen [Grontmij 2000]). In mijnslik kunnen restanten voorkomen van flocculatie- en flotatiemiddelen. Flocculatie diende om het slik te ontwateren. Hiervoor werd aardappelmeel, ferrosulfaat, kalk of synthetische sensibilisatoren gebruikt. Voor de flotatietechniek, die een scheiding van al het materiaal kleiner dan 0,5 mm. in kolenslik en steenslik mogelijk maakt, werden onder andere organische oliën en een aantal alcoholen gebruikt.

Ten tweede kunnen de specifieke activiteiten op de mijnsterreinen, die per mijn anders kunnen zijn, de mijnsteen verontreinigd hebben. Bij de steenkoolmijnen vond bijvoorbeeld briketfabricage plaats waardoor PAK's, fenolen, vluchtige aromatische verbindingen en zuurteer aangetroffen kunnen worden. Dieselolie was de brandstof voor de op de terreinen rangerende locomotieven, deze dieselolie werd vaak gemorst. Op het terrein van de Wilhelmina groeve heeft in het verleden een syntraciet (geperst kool dat gebruikt werd als huisbrandkolen) fabriek gestaan. Er is hierdoor mogelijk bodemverontreiniging opgetreden.

Ten derde zijn er de additionele stortingen die plaatsvonden waardoor mijnsteen en mijnslik verontreinigd raakte. De mijnsterreinen, met name de kolenbergen waren een handige plek om zich te ontdoen van huisvuil, bouw- en sloopafval, bedrijfsafval en verbrandingsslakken. De opslag van vlieg-as en sintels uit elektriciteitsproductie op sommige terreinen en de dumping van (industriële) afval in slikvijvers en op mijnsteenbergen, kan de mijnsteen en mijnslik eveneens verontreinigd hebben, specifiek met zware metalen. In de Hermangroeve te Kerkrade is aanvullend ook kalkmelk en beitswater (CaSO_4) gestort. Tenslotte hebben de latere bedrijfsactiviteiten op de mijnsterreinen, die helemaal niets meer met de mijnbouw te maken hebben, de mijnsteen mogelijk verontreinigd. Op het mijnsterrein van de voormalige mijn Willem-Sophie te Kerkrade kan materiaal aangetroffen worden dat afkomstig is van de firma Diederer (Slikberg Diederer). Dit materiaal, dat afkomstig is uit West-Duitsland, is mogelijk chemisch verontreinigd. Waarschijnlijk is dit materiaal inmiddels verwerkt [bron: gemeente Kerkrade]. Verder ligt op dit terrein het Galvano-bedrijf Caja waar de bodem verontreinigd is met zware metalen. Al deze additionele verontreinigingen zijn lokaal van aard.

3.3. Oxidatieprocessen in de mijnsteen

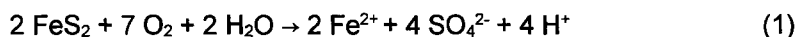
Onderzoeken naar het uitlooggedrag van mijnsteen tonen zeer hoge concentraties van sulfaat aan in het grondwater [Royal Haskoning, 2009; Tebodin, 2001; Tauw, 1991].

De belangrijkste processen in de mijnsteendeponieën waarbij sulfaat vrijkomt zijn:

- Oxidatie van metaalsulfiden waarbij sulfaat vrijkomt;
- Oxidatie van goed afbreekbaar organisch materiaal waarbij sulfaat vrijkomt.

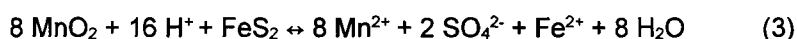
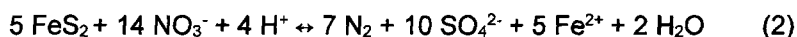
Als gevolg van deze processen worden de gehalten in de mijnsteenbergen en de concentraties in grond- en oppervlaktewater voor een groot deel bepaald. De gevolgen en effecten van (sterk) verhoogde sulfaatgehalte in grondwater, oppervlaktewater en bodem zijn nauwelijks bekend [CSO, 2000].

Mijnsteen in de Oostelijke Mijnstreek is van nature pyriethoudend (FeS_2). Dit pyriet kan onder aerobe omstandigheden worden geoxideerd volgens de chemische reactie [PBI (deelrapport A), 1985]:



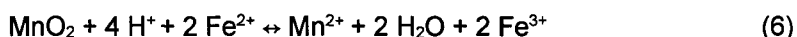
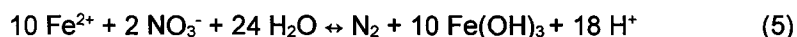
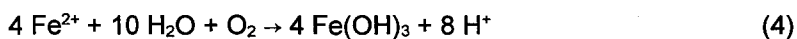
Het sulfaat spoelt vervolgens uit naar het grondwater. De oxidatie van pyriet zorgt voor een verlaging van de pH, waardoor de uitspoeling van de sulfaten makkelijker verloopt.

Behalve zuurstof uit lucht en water kunnen ook andere oxidatoren worden gebruikt voor pyrietoxidatie, zoals nitraat (in het percolaat) en mangaandioxide (in de bodem) [Tebodin, 2001]:



Deze vormen van pyrietoxidatie kunnen leiden tot een aanzienlijke stijging van het sulfaatgehalte in het grondwater.

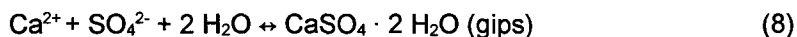
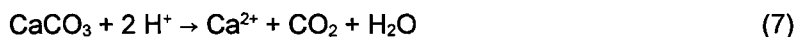
Het tweewaardig ijzer dat ontstaat na pyrietoxidatie kan geoxideerd worden tot driewaardig ijzer volgens de chemische reacties [PBI (deelrapport A), 1985; Tebodin, 2001]:



Het ijzerhydroxide ($\text{Fe}(\text{OH})_3$) dat hierbij ontstaat, kan neerslaan en zorgt voor de bruin-rode kleur van sedimenten in bronnen en kwelzones rond mijnsteenbergen [CSO, 2000]. Het ijzerhydroxide kan ook na verloop van tijd (onder zuurstofrijke omstandigheden) vervallen tot stabielere ijzerverbindingen zoals FeOOH (goethiet) en Fe_2O_3 (hematiet) [Tebodin, 2001].

3.4. Processen die de verspreiding van stoffen kunnen beïnvloeden

Het oxidatieproces van pyriet verloopt over 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. Neutraliserende componenten, zoals carbonaten, kunnen remmend werken op de verlaging van de pH en op de uitspoeling van sulfaten. Vooral carbonaten als calciëet (CaCO_3) en dolomiet ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) die in de mijnsteen en ondergrond aanwezig kunnen zijn, hebben een bufferende werking op het verzuringproces. Mijnsteenbergen met een relatief hoog pyrietgehalte kunnen hierdoor toch nog een neutrale of basische pH behouden. In de aanwezigheid van voldoende carbonaten zullen de volgende reacties plaatsvinden [PBI (deelrapport A), 1985; CSO, 2000]:



Doordat er weinig mineralogische analyses van mijnsteen bekend zijn heeft men geen goed beeld van de hoeveelheid carbonaten in de mijnsteenbergen. De duur van de bufferende capaciteit van deze carbonaten is daarom niet bekend. Men schat in dat de kans dat op grote schaal verzuring zal optreden zeer klein is, maar plaatselijke verzuring kan zeker niet worden uitgesloten [CSO, 2000].

Indien de aanwezige hoeveelheid carbonaten te gering is zal het bufferende systeem van (7) en (9) niet meer werken en gaat het pH dalen. In dat geval zullen de reacties (1), (2) of (3) weer de overhand krijgen.

Microbiële activiteit kan de pyrietoxidatie versnellen. Een aantal onderzoeken schrijven deze microbiële activiteit voornamelijk toe aan de bacterie *Thiobacillus ferrooxidans* die vooral actief is op het grensvlak van lucht en water [PBI (deelrapport A), 1985; Tebodin, 2001]. Tebodin geeft in haar onderzoek van 2004 aan dat de microbiële pyrietoxidatie plaatsvindt door een groep van samenwerkende organismen [Tebodin, 2004].

Zoals eerder aangegeven is voor de oxidatie van pyriet zuurstof nodig. Deze chemische reacties met zuurstof vinden alleen plaats in de buitenste laag van de mijnsteenbergrand en niet dieper, omdat zuurstof niet kan doordringen tot de diepere lagen. Oxidatie van pyriet met het opgeloste zuurstof in percolatiewater is van ondergeschikt belang [CSO, 2000].

De pyrietoxidatie verlaagt de pH waardoor sulfaten makkelijker uitspoelen en de mobiliteit van zware metalen toeneemt. De metalen komen hierdoor in oplossing in het grondwater. 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 [PBI (deelrapport A), 1985].

In een slikvijver heersen vaak anaerobe omstandigheden en de sliklaag kan als een impermeabele laag fungeren zodat de percolatie van regenwater beperkt wordt [PBI (deelrapport A), 1985]. Er is niet veel onderzoek verricht naar het uitlooggedrag van mijnslik en naar de mogelijke verontreiniging van het grond- en oppervlaktewater. Doordat er maar weinig zuurstof aanwezig is in slikvijvers zal er nauwelijks pyrietoxidatie plaatsvinden.

3.5. Samenvatting

Onderstaande tabel 3.1. is een samenvatting van de stoffen die van nature, additioneel en door processen in mijnsteen terecht kunnen komen.

Tabel 3.1. Samenvatting van de stoffen die in mijnsteen aanwezig kunnen zijn.

	Natuurlijke verontreinigingen	Additionele verontreinigingen	Verontreinigingen ontstaan door processen in mijnsteen
Mineralen	Kleimineralen, kwarts, sideriet, pyriet, haliet, dolomiet, calcië, rutiel, kaolinit, veldspaat, chloriet, aluminiumoxide, ijzeroxide, calciumoxide, magnesiumoxide, kaliumoxide, sulfiet	Magnetiet, bariet, ferrosulfaat, kalk	Sulfaat, calcium, gips, ijzerhydroxide, geothiet, hematiet
Zware metalen	chrom, zirkoon, koper, bismut, mangaan, rubidium, lithium, zink, nikkel, lood, arseen, cadmium, barium, kwik, tin, kobalt, molybdeen	Zware metalen	Magnesium, mangaan, aluminium, ijzer, zware metalen
Overige stoffen	PAK's, ethylbenzeen	PAK's, (diesel)olie, aardappelzetmeel, synthetische sensibilisatoren, organische oliën, huisvuil, bouw- en slooppafval, bedrijfsafval, verbrandingsslakken, alcoholen, kalkmelk en beitswater (CaSO ₄), fenolen, vluchtige aromatische verbindingen en zuurteer	

3.6. Ligging mijnsteengebieden

Om het effect van mijnsteen op het grond- en oppervlaktewater te kunnen bepalen, is het van belang te weten waar zich momenteel mijnsteen in en op de bodem bevindt in de Parkstadgemeenten. In samenwerking met de gemeenten Brunssum, Heerlen, Kerkrade en Landgraaf is een kaart samengesteld met de huidige ligging van de mijnsteengebieden in deze vier gemeenten. In figuur 3.1. zijn de mijnsteengebieden weergegeven.

De mijnsteengebieden kunnen uit verschillende terreinen bestaan. Zo zijn er terreinen waar alleen mijnsteen gestort is. Of betreft het een voormalig fabrieksterrein van een steenkoolmijn waar eventueel mijnsteen gestort is. Daarnaast zijn er terreinen waar het restproduct steenslik in slikvijvers werd gestort. En als laatste zijn er terreinen waar mijnsteen gestort is en deze mijnsteen verbrand wordt. Het restproduct is rode, gebrande mijnsteen en doordat het bestendiger en sterker is dan zwarte mijnsteen wordt dit product voor allerlei doeleinden gebruikt. Elk terrein heeft een eigen kleur. De vier terreinen zijn:

- groen : terreinen die voornamelijk bestaan uit mijnsteen;
- rood : fabrieksterreinen met/zonder mijnsteen in de ondergrond;
- paars : slikvijvers;
- oranje : terreinen met gebrande mijnsteen.

Figuur 3.1. Ligging mijnsteengebieden in Parkstad Limburg

Legenda

- 1.000
Meters
schaal: 1:55.000



provincie limburg



© Provincie Limburg
© 2010 dienst Kadaster Apeldoorn
© Waterpassen Roer en Overmaas

De stoffen die uit de mijnsteen vrijkomen verspreiden zich via de grond en het grondwater naar omliggende oppervlaktewateren. De Stichting Kennisontwikkeling Kennisoverdracht Bodem (SKB) heeft een cahier opgesteld dat een handvat biedt voor het begrijpen van transportprocessen. Men maakt onderscheid in fysisch transport en reactief stoftransport. In de volgende paragraaf volgt een uiteenzetting van fysisch en reactief stoftransport zoals in het cahier Stoftransport van SKB [2009] beschreven.

In paragraaf 4.2. wordt nader inzicht gegeven in het verspreidingsgedrag van de uit de mijnsteen vrijkomende stoffen en de processen die zich hierbij in de bodem voordoen.

4.1. Transportprocessen

4.1.1. Fysisch transport

Fysisch transport van een verontreiniging kan onderverdeeld worden in:

- transport van stoffen met grondwater (advection transport);
- transport door dichtheidsstroming;
- transport door fase-overgangen;
- transport van gassen naar en in de onverzadigde zone (wordt verder niet behandeld, is niet relevant is dit verband).

4.1.1.1 Transport van stoffen met grondwater

Advection

Het meest bepalende proces voor de verspreiding van opgeloste stoffen in het grondwater is de grondwaterstroming zelf. Dit heet advection. De stroming wordt aangedreven door verschillen in grondwaterpotentiaal over een bepaalde afstand (gradient) en wordt verder bepaald door de hydraulische doorlatendheid. In een natuurlijke situatie worden de potentiaalverschillen opgewekt door de neerslag die in de hogere delen van het landschap infiltrert en dan ondergronds afstroomt naar de waterlopen. Potentiaalverschillen kunnen ook worden opgewekt door menselijke ingrepen als grondwateronttrekkingen of handhaving van verschillende peilen zoals in de polders. In het algemeen legt grondwater in de diepere systemen een langere weg af en zijn daar de verblijftijden groter. Grondwater stroomt bij voorkeur door de meer doorlatende zandlagen. Meestal is die stroming hoofdzakelijk horizontaal. In kleilagen waar de hydraulische doorlatendheid enkele ordegrottes lager is, heerst vooral verticale stroming.

Dispersie

Door verschillen in poriesnelheid en afgelegde weg, zelfs in min of meer homogene lagen, treedt menging op van grondwater. Dat uit zich in het ontstaan van geleidelijke overgangszones in de stofconcentraties rond aanstromende grondwaterlichamen met een afwijkende chemische samenstelling, zoals bij verontreinigingen of geïnjecteerde reactanten en dus tot pluimverbreding.

Diffusie

Als grondwater niet stroomt, treedt toch stoftransport op bij gradienten in concentraties van opgeloste stoffen. Door willekeurige moleculaire bewegingen gaan die stoffen uitwaaien in de richting van zones waar lagere concentraties heersen. Diffusief transport is meestal veel langzamer dan het advectieve transport en de dispersie. In slecht doorlatende kleilagen, waar grondwater nagenoeg stagnant is, kan diffusief transport wel dominant zijn.

Adsorptie en retardatie

In grondwater opgeloste stoffen kunnen ook geadsorbeerd worden aan de bodemmatrix (kleimineralen, ijzer- en ijzerhydroxiden en organische stof). De geadsorbeerde hoeveelheid stof is vaak veel groter dan de hoeveelheid opgeloste stof. Wanneer een grondwaterlichaam met een afwijkende concentratie van een bepaalde stof door een watervoerende laag stroomt, dan zijn nabij het front van dat lichaam de concentraties opgeloste en geadsorbeerde stof niet meer in evenwicht. Het gevolg is dat er vanuit de waterfase stof overgaat naar de geadsorbeerde fase (grond) tot een nieuw evenwicht is bereikt. Aan de achterzijde van het aanstromende grondwaterlichaam gebeurt het omgekeerde (nalevering). Dat brengt met zich mee dat een concentratiefront of een bepaalde concentratiecontour zich trager voortbeweegt dan het water zelf. Dit verschijnsel noemt met retardatie. Opgeloste organische verontreinigingen, zoals aromaten en chloorkoolwaterstoffen binden aan organische stof in de grondmatrix. Opgeloste zware metalen vertonen, net als vele andere kationen, sorptiegedrag aan minerale bestanddelen (kleimineralen en ijzeroxiden).

4.1.1.2 Transport door dichtheidsstromen

Stroming van vloeistoffen met afwijkende eigenschappen

Sommige vloeistoffen hebben fysieke eigenschappen, die significant afwijken van die van zoet water. Wanneer water een groter soortelijk gewicht heeft dan het zoete grondwater kunnen convectieve dichtheidsstromen ontstaan. Als het een heel andere vloeistof betreft spreekt men van een NAPL (Non-Aqueous Phase Liquid). Die vloeistoffen hebben vaak een hogere viscositeit dan water en de dichtheid is meestal ook afwijkend. Organische verbindingen met een lagere dichtheid, LNAPL's genoemd, blijven drijven op het grondwater. DNAPL's (vloeistoffen met een hogere dichtheid) zoals oplosmiddelen als PER en TRI zijn juist zwaar en zullen door dichtstroming gaan uitzakken net als brak grondwater. Verder is er nog de verschillende mate van hechting of "wettability" van NAPL's aan de korrelmatrix. Die leidt ertoe dat verschillende vloeistoffen meer of minder gemakkelijk "bewegen" in dezelfde matrix.

4.1.1.3 Transport door faseovergangen

Fase overgangen ontstaan wanneer een stof van de ene in een andere fase overgaat. De volgende overgangen zijn relevant:

1. Vloeistof naar opgelost;
2. Opgelost naar gas;
3. Vloeistof naar gas.

4.1.2. Reactief stoftransport

Reactief stoftransport is de verzamelnaam voor al die processen, die plaatsvinden langs een stroombaan. Hierbij kan gedacht worden aan onder andere afbraak, omzetting of vastlegging van verontreinigingen en hulpstoffen.

In de verzadigde zone kunnen opgeloste stoffen een chemische of een microbiologisch gekatalyseerde reactie aangaan met andere opgeloste stoffen of stoffen in de vaste fase. Het kan gaan om verontreinigingen, veelal organische, die worden afgebroken tot elementaire en onschuldige verbindingen. Of het gaat om zware metalen, die neerslaan als sulfides in coprecipitatie met pyriet (natuurlijke vastlegging). Het kan ook gaan om ionen of verbindingen van een bepaald element, die in een andere chemische fase overgaan of een complex vormen maar wel opgelost blijven. Met die overgang naar een andere fase verandert ook de toxiciteit.

4.1.3. Gedrag van stofgroepen

Het cahier Stoftransport beschrijft ook het gedrag van een aantal stofgroepen. Hieronder volgt de beschrijving van het gedrag van een drietal stofgroepen uit het cahier die ook verband houden met de mijnsteenproblematiek.

Minerale olie

De oplosbaarheid van alkanen wordt snel minder wanneer de ketenlengte toeneemt. Die van aromaten en cyclische verbindingen is significant hoger. Uit zowel benzine als diesel zullen aromaten en cyclische verbindingen dus preferent oplossen. Benzine heeft in zijn geheel een nog redelijke oplosbaarheid, maar het zwaardere deel van diesel lost nauwelijks op. Dit geldt dan zeker voor nog zwaardere oliën als smeer- of motorolie.

De snelheid van de stofoverdracht hangt sterk samen met het uitwisselend oppervlak en wordt verder bepaald door de mate waarin het evenwicht wordt beïnvloed door afvoer van opgeloste componenten met stromend grondwater (horizontaal en verticaal) en biologische afbraak.

PAK

PAK's zijn zwaarder dan water en vormen dus DNAPL's. De wateroplosbaarheid van PAK's neemt snel af met de grootte van het molecuul (aantal ringen). In aanwezigheid van puur product is de oplosbaarheid nog lager en gebaseerd op de samenstelling van het product. Door de grotere oplosbaarheid van de lagere PAK's neemt het aandeel hiervan bij verwerking van een verontreiniging gestaag af.

Metalen

Het gedrag van metalen wordt bepaald door de wijze van voorkomen (speciatie) in de bodem. De speciatie op haar beurt is afhankelijk van de pH en redox-potentiaal condities.

Metalen binden zich aan bodemmateriaal en dan vooral aan de lutum- en kleifracie. De bindingscapaciteit van de bodem wordt weergegeven als de CEC (cation exchange capacity). De aanwezigheid van andere ionen is van invloed op het gedrag van metalen. Koper vormt bijvoorbeeld stabiele complexen met chloride, waardoor de beschikbaarheid ervan toeneemt. Daarnaast beïnvloeden metalen elkaar. Arseen kan opgesloten zitten in ijzerneerslagen. Wanneer de redox van een bodem verandert, waardoor ijzer oplost, komt in dat geval ook arseen vrij.

4.2. Nader inzicht in verspreidingsgedrag van stoffen uit mijnsteen

Om nader inzicht te verkrijgen in het verspreidingsgedrag van de uit de mijnsteen vrijkomende stoffen en de processen die zich daarbij in de bodem voordoen, heeft het advies- en ingenieursbureau Witteveen+Bos in opdracht van de Provincie Limburg een literatuuronderzoek uitgevoerd. Het volledige rapport van Witteveen+Bos is als bijlage 2 aan dit rapport toegevoegd.

Het onderzoek beschrijft eerst de voornaamste chemische processen die plaatsvinden in mijnsteen. Op basis van de samenstelling van de mijnsteen en de chemische processen die in mijnsteen plaatsvinden is vervolgens een selectie gemaakt van stoffen die voorkomen in mijnsteen, uit mijnsteen kunnen logen én specifiek zijn voor of gerelateerd zijn aan de processen die plaatsvinden in mijnsteen. Van deze stoffen is het verspreidingsgedrag in de ondergrond beschreven aan de hand van stroming langs de meest voorkomende stroombanen. Dit zijn stroombanen die een waterdruppel af kan leggen na infiltratie in de mijnsteen.

Tevens is aan de hand van een schematisch model een indicatie gegeven van de kenmerkende combinaties van stoffen die zich bij de verspreiding van verontreinigingen uit mijnsteen voor kunnen doen.

De resultaten van het literatuuronderzoek zijn gebruikt bij de interpretatie van de meetgegevens van het grond- en oppervlaktewater in hoofdstuk 7.

5. Grondwater en oppervlaktewateren die mogelijk door mijnsteen beïnvloed worden

Om te bepalen welk grondwater en welke oppervlaktewateren door mijnsteen beïnvloed kunnen worden is het van belang de geologie, geohydrologie en de hydrologie van het gebied te kennen.

5.1. De geologie en geohydrologische situatie (op hoofdlijnen) van Parkstad Limburg

De geologische opbouw van Parkstad Limburg is vrij complex met verschillende gekantelde formaties die verschoven zijn langs breukvlakken. Deze breukvlakken hebben overwegend een zuidoost-noordwest richting. De verschillende laagpakketten hellen licht naar het noorden en de oudste afzettingen dagzomen in het zuidoosten. De Feldbissbreuk vormt de grens van twee hydrologische deelgebieden. Oostelijk van deze breuk ligt de Roerdalslenk, westelijk hiervan liggen de opgeheven kalksteenplateaus van Zuid-Limburg.



© Provincie Limburg © 2010 dienst Kadaster Apeldoorn

Figuur 5.1. Breuklijnen in Parkstad Limburg.

Parkstad Limburg

Parkstad Limburg wordt globaal begrensd door twee breuken, de Feldbissbreuk in het noorden en de Kunraderbreuk in het zuiden. In het gebied liggen een aantal zuidoost-noordwest georiënteerde breuklijnen (waaronder de Heerlerheidebreuk en de Benzenraderbreuk), waardoor de diepte van de geologische formaties in noord-oostelijke richting steeds verder toeneemt als gevolg van de breuken. In noord-westelijke richting neemt de diepte toe als gevolg van de daling en kanteling van de geologische formaties.

Tijdens het vroeg Pleistoceen werd geheel Zuid-Limburg opgeheven en onderging het gebied een lichte kanteling. De afzettingen staan hierdoor onder een helling van 1 à 2 %. De kanteling heeft geleid tot een sterke insnijding van de beken. De Maas, die toen via Simpelveld naar de Rijn stroomde, ging steeds meer westelijk stromen. Uiteindelijk verschoof de gehele rivierloop naar het huidige Maasdal. Door deze geleidelijke riviervlegging zijn grove grindrijke zanden afgezet. Vervolgens is het gebied bedekt met kalkhoudende eolische afzettingen (löss), waardoor de genoemde breuken niet meer in het landschap herkenbaar zijn, behalve de Feldbiss die zichtbaar is bij Haanrade.

Het freatisch grondwater bevindt zich in dit gebied veelal in Miocene zanden (formatie van Breda) en de overwegende stromingsrichting is noord-westelijk (evenwijdig aan de breuklijnen). Door versmering van kleilagen zijn de breukvlakken van de Feldbiss waarschijnlijk slecht doorlatend, waardoor het freatisch grondwater niet richting de Roerdalslenk stroomt. Het fenomeen, genaamd kleiversmering, ontstaat doordat zachte lagen zoals klei langs een breuk 'blijven plakken' en bij beweging langs een breuk uitgesmeerd worden in plaats van netjes gebroken. Klei laat slecht water door, dus deze kleilagen zullen ervoor zorgen dat het grondwater moeilijker de breuk kan passeren.

De Miocene zanden worden aan de onderkant begrenst door slecht doorlatende oligocene kleien en leemlagen uit de formaties van Tongeren en Rupel. De impermeabele lagen worden soms afgewisseld met goed doorlatende zanden, die watervoerend kunnen zijn. Onder deze tertiaire kleien en leemlagen liggen de kalksteenformaties uit het Krijt (formaties van Vaals en Maastricht), welke in het zuidelijke deel van Zuid-Limburg aan de oppervlakte komen. In Parkstad Limburg ligt de bovenkant van de kalksteen op 130-220 meter diepte en het kalksteenpakket is tussen de 40 en 50 meter dik.

Onder deze kalksteen liggen de koolhoudende gesteenten uit het Carboon welke in dit gebied op grote schaal is gewonnen. Ten oosten van de Heerlerheidebreuk (ten oosten van Hoensbroek en Schaesberg) ontbreken de kalksteenpakketten. Hier gaat de Rupel-klei direct over in de afzettingen uit het Carboon.

Roerdalslenk

Door verplaatsingen langs de Feldbiss liggen de afzettingen uit het Carboon en Krijt in de Roerdalslenk aanmerkelijk dieper dan in Parkstad Limburg. Vanwege de grote diepte van het Carbonische gesteente is in deze regio geen steenkool gewonnen. In de groeve Julia vond wel steenkoolwinning plaats, deze mijn ligt op de grens van de Feldbiss en de Roerdalslenk.

Evenals in Parkstad Limburg liggen in de Roerdalslenk Pleistocene Maasgronden dicht aan het oppervlak. In de Roerdalslenk worden deze Maasafzettingen afgedekt met eolische zanden (dekzand). Het gebied is opgebouwd uit verscheidende terrasniveaus die onder invloed van de verschillende stadia van insnijding van de Maas zijn ontstaan. Het laagste terras begint in het dal van de huidige Grensmaas (Stevensweert) met een hoogte van circa 24 meter + NAP en loopt door tot aan Geulle naar een hoogte van circa 40 meter + NAP. Het laagterras gaat naar het oosten toe over in het middenteras.

Dit terras heeft een hoogte van circa 40 meter + NAP en ten oosten van Sittard over in het hoogterras. De hoogteligging van het hoogterras varieert tussen circa 50 en 75 meter + NAP.

Het eerste watervoerend pakket bevindt zich in de Pliocene Kiezeloölietformatie. Dit is een zeer heterogeen pakket van zanden en diverse kleipakketten. Door de afwisseling van zand en kleipakketten zijn in dit gebied meerdere watervoerende pakketten te onderscheiden. Het freatische water bevindt zich boven de bovenste kleilaag, in de zandlaag en de daarboven liggende Maasafzettingen en dekzanden. Nabij Born ligt deze bovenste kleilaag op circa 50 meter beneden maaiveld. In oostelijke richting komt de laag steeds ondieper te liggen, totdat deze nabij Brunssum dagzoomt.

Op een diepte van circa 80-160 meter beneden maaiveld bevindt zich nog een watervoerend pakket in de Kiezeloölietformatie. Dit pakket ligt vanaf Born naar het oosten toe steeds ondieper en varieert in dikte tussen 40 en 70 meter. De basis van dit watervoerend pakket wordt gevormd door de ondoorlatende Formatie van Breda.

Grondwater

In een systeem van grondwaterstroming door de ondergrond worden zogenaamde infiltratie- en afvoergebieden onderscheiden.

Infiltratiegebieden komen wat hoger in het landschap voor, het grondwater bevindt zich hier relatief diep. Water kan in deze gebieden de grond in stromen. Afvoergebieden bevinden zich in lager gelegen gedeelten van het landschap, hier komt grondwater ondieper onder het oppervlak (maaiveld) voor. In die gedeelten van afvoergebieden waar het grondwater helemaal tot aan het maaiveld staat, ontstaan natte 'kwel'-zones. In kwelzones treedt water aan de oppervlakte en stroomt zo het systeem uit, dit water kan vervolgens afgevoerd worden in een beek of opgenomen worden door vegetatie.

De breuken in het onderzoeksgebied hebben een sterke invloed op de ondergrondse stroming van water. Door de relatief grote hoogteverschillen zijn de kwel- en infiltratiegebieden relatief goed vast te stellen: de kwel- en brongebieden liggen met name in het Maasdal, de dalen van de Geleenbeek, de Worm en de Rode Beek [Royal Haskoning, 2002].

Ten noorden van de Feldbiss (in het gebied van de Roerdalslenk) zijn de volgende grondwatersystemen te onderscheiden [Royal Haskoning, 2002]:

- Systeem van Limbricht

Dit is een langgerekt grondwatersysteem, dat aan de zuidkant wordt begrensd door de Feldbiss, aan de westkant door de Maas en aan de noordkant door de Rode Beek. Langs de Feldbiss vindt infiltratie plaats. Het grondwater in de diepere watervoerende pakketten stroomt in noordwestelijke richting af naar de Maas. Het grondwater in het ondiepe watervoerende pakket stroomt deels in zuidwestelijke richting naar de Geleenbeek en deels in noordelijke richting naar de Rode Beek en de Vloedgraaf.

- Systeem van Heerlen en de Brunssummerheide

Dit systeem wordt aan de zuidkant begrensd door de Feldbiss en aan de noordkant door de Rode Beek. Het ondiepe grondwater stroomt in noordelijke richting af naar de Rode Beek en in oostelijke richting naar de Worm. Een deel van het grondwater infiltreert naar diepere watervoerende pakketten, met name ten oosten van Brunssum, waar direct onder de deklaag de Kiezeloöliet-zanden liggen.

Er zijn een zestal grondwatersystemen ten zuiden van de Feldbiss te onderscheiden:

- Sventibold-systeem

Dit systeem wordt aan de noordzijde begrensd door de Feldbiss en aan de zuidzijde door de Heerlerheide-breuk. Het grondwater stroomt in noordwestelijke richting af naar de Maas en treedt uit in verschillende bronzones en in het winterbed van de Grensmaas.

- Hoge Roth-systeem

Dit grondwatersysteem wordt aan de noordkant begrensd door de Feldbiss en aan de west- en zuidzijde door de Geleenbeek. Het grondwater stroomt in het algemeen in westelijke richting af naar het dal van de Geleenbeek.

- Schrieversheide-systeem

Een redelijk omvangrijk systeem, dat aan de noordzijde wordt begrensd door de Feldbiss en aan de zuidzijde door de Heerlerheidebreuk. Het westelijke deel van het systeem watert af in de richting van de bovenlopen van de Caumerbeek en de Anselderbeek. Het oostelijke deel van het systeem stroomt af in de richting van de Schrieversheide. Dit heidegebied vormt het brongebied van de Rode Beek.

- Geleenbeek-systeem

Dit is een klein, ondiep systeem, ingeklemd tussen de Heerlerheidebreuk aan de noordoostkant en de ondoorlatende Kunraderbreuk aan de zuidwestkant. Het is het brongebied voor de Geleenbeek en de Caumerbeek.

- Systeem van het Centrale Plateau

Dit kalksteenplateau wordt aan de westkant begrensd door de steilrand van het Maasdal, aan de zuidkant door de Geul en aan de noordkant door het dal van de Geleenbeek. In tegenstelling tot het plateau van Margraten ligt hier plaatselijk op enige diepte (onder de pleistocene rivierafzettingen) de vrijwel ondoorlatende Rupel-klei. Deze geeft aanleiding tot schijngrondwatersystemen die ruim boven het watervoerende pakket van de kalksteenlagen kunnen liggen. Deze schijngrondwatersystemen voeden onder meer de bronzones op de flanken van het Geuldal en in het Bunderbos.

- Systeem van het Ubachsberg-plateau

Dit is een omvangrijk kalksteenplateau, gelegen tussen de Geul aan de westkant, de Geleenbeek aan de noordkant en de Selzer- en Eyserbeek aan de zuidkant. Het grootste deel van het grondwater stroomt in westelijke richting af in de richting van het Geuldal, deels door middel van karstwaterstelsels. Een kleiner deel van het grondwater stroomt af in de richting van de Geleenbeek, de Eyserbeek en de Selzerbeek. Plaatselijk in het Geuldal en de dalen van de Eyser- en Selzerbeek is sprake van bronnen of bronzones. Een aanzienlijk deel van het geïnfilteerde grondwater wordt afgevangen door grondwateronttrekkingen (o.m. Craubeek en Roodborn).

5.2. De hydrologische situatie (op hoofdlijnen) van Parkstad Limburg

De oppervlakkige afstroming verloopt via een stelsel van beken waarlangs bronnen en kwelzones kunnen voorkomen. De beeklopen zijn soms overkluisd en kleine bovenstrooms gelegen beekjes lopen soms leeg in het riool. Het onderzoeksgebied omvat delen van drie hoofdstroomgebieden, te weten:

- Worm
- Rode Beek
- Geleenbeek

Worm

De Worm ontspringt in de heuvels ten zuiden van Aken, stroomt vervolgens ten zuidoosten van Kerkrade Nederland binnen en stroomt bij Rimburch Duitsland weer in, om vervolgens nabij Kempen uit te monden in de Roer. De Worm heeft een totale lengte van 53 kilometer, waarvan ca. 5 kilometer grensscheidend is. Het stroomgebied van de Worm ligt in sterk verstedelijkt gebied dat een rijk mijnbouwverleden heeft, waardoor grote mijnsteenstorten aanwezig zijn. Door de grote hoogteverschillen in het stroomgebied hebben de aanwezige beekjes zich diep in het heuvel- en plateaulandschap ingesneden. Hierdoor liggen de dalbodems tot meer dan 50 meter lager dan het plateau.

Op de Worm monden twee beken uit, namelijk de Strijthagerbeek en de Anselderbeek met een gezamenlijk debiet van ca 700 l/s.

De Anselderbeek ontspringt in Duitsland (waar zij Amstelbach wordt genoemd) ten noorden van Aken en stroomt bij Bleijerheide Nederland binnen. Nadat de Crombacherbeek zich bij de Anselderbeek heeft gevoegd stroomt de beek richting het stuwmeer Craneweyer. Aan de andere zijde van het stuwmeer vervolgt de beek haar weg en mondt zij, via een overkluizing, bij Eyselshoven uit in de Worm.

De Anselderbeek is grotendeels genormaliseerd en is op sommige plaatsen nog betegeld. Onderweg passeert de beek een aantal stuwen, bodemvallen en overkluizingen. Bij regenval heeft de Anselderbeek te kampen met piekafvoeren. De toename van de afvoer wordt gedeeltelijk veroorzaakt door hoge afvoeren van de zijbeken en riooloverstorten. De beek heeft tot aan het stuwmeer Craneweyer het karakter van een bovenloop en daarna meer van een middenloop. Langs het stuwmeer liggen bronnen van deze beek, het meeste water van de Anselderbeek komt uit Duitsland [bron: waterschap Roer en Overmaas].

De Strijthagerbeek bestaat uit een hoofdbeek en een zijbeek (de zijtak Strijthagerbeek; ± 1150 meter lang). De Strijthagerbeek ontspringt in een vergraven bronzone op 130 meter boven NAP, aan de voet van een mijnsteenbergt ten noorden van de Winselerhof bij Terwinselen (Spekholzerheide). Ongeveer halverwege stroomt de beek door de Strijthagerplassen; een aantal kunstmatige visplassen. De beek mondt in Eyselshoven uit in de Anselderbeek.

De Strijthagerbeek wordt vooral gevoed door diverse bronnen in kwelzones oostelijk van de mijnterreinen Wilhelmina, Oranje Nassau II en westelijk van het mijnterrein Laura.

Rode Beek

De Rode Beek heeft twee bovenlopen (een Duitse en een Nederlandse bovenloop), die bij Mindergangelt bij elkaar komen. De Nederlandse bovenloop ontspringt op de Brunssummerheide in hoogveenengebied met bronnen en stroomt via Schinnen en Susteren nabij Oud-Roosteren uit in de Geleenbeek. De Duitse bovenloop ontspringt op de Tevenerheide ten westen van Geilenkirchen en wordt in dit gebied door verschillende zijbeken gevoed.

De totale lengte van de Rode Beek bedraagt ongeveer 25 kilometer; waarvan ongeveer 17 kilometer op Nederlands grondgebied. Het hoofdstroomgebied van de Rode Beek omvat een aantal beken die het gebied rond Brunssum in noordoostelijke richting ontwateren. Het beekstelsel ligt vrijwel geheel in de Roerdalslenk en de afzonderlijke beken komen in het grensgebied samen. De Rode Beek doorsnijdt het westelijk deel van de steenstort Emma/Hendrik en is hier overkluisd. Het debiet bedraagt hier ca 35 l/s. Iets verder stroomafwaarts liggen langs de oostoever enkele bronnen (Schutterspark).

Aan de noordzijde van de Emma/Hendrik ligt langs de Waubacherweg een kwelzone die in noordelijke richting de Ruischerbeek voedt. De Ruischerbeek stroomt door de Schinveldse bossen en mondt circa 4 kilometer stroomafwaarts (Schinveld) uit in de Rode Beek. Op de Ruischerbeek werd vroeger (tot 1985) effluent van de rioolwaterzuiveringsinstallatie (RWZI) geloosd. Tegenwoordig bedraagt het debiet bij Schinveld circa 25 l/s.

Iets verder stroomafwaarts mondt vanuit Duitsland de Rode Bach uit in de Rode Beek. Het debiet van de Rode Beek bedraagt ter hoogte van het dorpje Mindergangelt (D) gemiddeld 400 l/s.

Nabij de mijnsteen Emma/Hendrik ontspringt op de grens van Nederland en Duitsland de Krummelbach, die ongeveer evenwijdig aan de Ruischerbeek naar de Rode Bach stroomt.

Geleenbeek

De Geleenbeek is mede vanwege het mijnbouwverleden een grotendeels genormaliseerde en sterk overgedimensioneerde heuvellandbeek. De beek ontspringt nabij Benzenrade, ten zuiden van Heerlen en stroomt via het stedelijk gebied van Heerlen, Geleen en Sittard ter hoogte van Echt uit in de Maas. In de bovenloop ontvangt de Geleenbeek water van onder meer de Caumerbeek, de Retersbeek en de Hulsbergerbeek. Verder benedenstrooms (voorbij Sittard) monden onder meer de Middelsgraaf en de Rode Beek uit in de Geleenbeek. De Vloedgraaf is een zijtak van de Geleenbeek, speciaal gegraven om grote afvoerhoeveelheden van de Geleenbeek snel af te kunnen voeren naar de Maas. De totale lengte van Geleenbeek bedraagt circa 40 kilometer. Alleen de oostelijke bovenloop van het Geleenbeek ligt binnen Parkstad Limburg en omvat ongeveer 54 km². De bovenloop van de Geleenbeek wordt gevoed door het grondwater dat van het hoge kalkplateau van Ubachsberg afstroomt en wordt opgestuwd door de slecht doorlatende Kunraderbreuk. Aan de voet van de steilrand komen ten gevolge hiervan diverse kalkrijke bronnen voor die het bovenlopensysteem van de Geleenbeek voeden.

Een groot deel van het oppervlakkig afstromend water stroomt via het dal van de Caumerbeek nabij Hoensbroek in de Geleenbeek. De Caumerbeek doorsnijdt het mijnterrein Oranje Nassau III en is hier overkluisd. Even voor de monding heeft deze beek een gemiddeld debiet van 600-700 l/s, waarvan een aanzienlijk deel effluent van een RWZI. De Caumerbeek wordt momenteel ontkluisd en het afstromende rioolwater wordt afgekoppeld van de beek.

Westelijk van het mijnterrein Oranje Nassau III ligt een drassig gebied met meertjes en bronnen, die de Caumerbeek vermoedelijk voeden. Stroomopwaarts van het Oranje Nassau III terrein loopt de beek langs het terrein van de voormalige mijn Oranje Nassau I. In dit gebied liggen enkele bronnen en is mijnsteen gestort nadat eerst löss was afgegraven. Het bovenstroomse deel van de Geleenbeek zelf wordt vooral gevoed vanuit het gebied tussen Voerendaal en Nuth.

6. Opzet data-analyse

6.1. Verwachte stroombanen grondwater

Wanneer stoffen uitspoelen naar het grondwater is het van belang te weten waar dit grondwater naar toe stroomt, omdat de verwachting is dat de verontreiniging zich dan ook in die richting verspreidt. Om inzicht te krijgen in de richting van de stroombanen is gebruik gemaakt van de freatische grondwaterstanden in REGIS van TNO, de isohypsenkaarten van de gemeenten Heerlen en Brunssum, de stroombanenkaart van het Waterschap Roer en Overmaas en de gebiedskennis van de gemeenten Brunssum, Heerlen, Kerkrade en Landgraaf en het waterschap Roer en Overmaas. Door deze kaarten over elkaar heen te leggen is een nieuwe kaart met de verwachte stroombanen vanuit de mijnsteengebieden gemaakt. In figuur 6.1. zijn de verwachte stroombanen door middel van zwarte pijlen weergegeven.



© Provincie Limburg © 2010 dienst Kadaster Apeldoorn © Waterschap Roer en Overmaas

Figuur 6.1. Verwachte stroombanen grondwater.

Het mijnsteengebied van waaruit een stroombaan vertrekt, wordt hier verder "de bron" genoemd. De weg die het grondwater vervolgens aflegt vanaf het mijnsteengebied naar het oppervlaktewater wordt "het pad" genoemd en het oppervlaktewater is "het object".

6.2. Afwegingen bijeengebrachte data

Alle beschikbare digitale analyseresultaten van het grond- en oppervlaktewater (voor zover gerelateerd aan de onderzoeksdoelstelling) van de vier gemeenten, het Waterschap Roer en Overmaas en de Provincie Limburg zijn bij elkaar gebracht in een excelbestand (het verzamelbestand). De analyses zijn afkomstig van grondwateronderzoeken, grondwatermeetnetten en metingen in het oppervlaktewater. Metingen in bronnetjes of waterbodems zijn niet meegenomen.

Het verzamelbestand bevat zeer veel data en variabelen;

- De metingen zijn uitgevoerd vanaf 1983 tot en met 2010;
- In totaal zijn de analyseresultaten van 27 verschillende stoffen bij elkaar gebracht;
- De diepte van de grondwatermetingen varieert van 7 tot 193 meter + NAP.

Om vanuit de grote hoeveelheid data en variabelen een inzichtelijk beeld te verkrijgen is een aantal afwegingen gemaakt:

Meetperiode

Het bleek mogelijk om de meetresultaten van vier jaar in één kaartbeeld zichtbaar te maken. Op grond daarvan is gekozen voor de metingen uit periode 2006 tot en met 2009. Van het jaar 2010 zijn op het moment van het bij elkaar brengen van data niet genoeg gegevens voorhanden. Door deze periode te nemen, wordt de actuele situatie in kaart gebracht en wordt wellicht ook een verloop van concentraties van stoffen in het grond- of oppervlaktewater zichtbaar.

Normering

Het doel van deze pilot is het effect van mijnsteen op grond- en oppervlaktewater te bepalen. Met name het mogelijk negatief effect van mijnsteen. Om te bepalen wanneer er een mogelijk negatief effect optreedt, worden de gemeten stofconcentraties getoetst aan een normwaarde. Een overschrijding van de normwaarde kan een negatief effect opleveren.

De normering die voor het grondwater gebruikt is, zijn de streef- en interventiewaarden uit de Circulaire bodemsanering 2009 (verder Circulaire genoemd). In de Circulaire wordt voor de streefwaarde voor metalen onderscheid gemaakt tussen ondiep grondwater (<10 m-mv) en diep grondwater (>10 m-mv).

Om de gemeten concentraties op verschillende dieptes goed met elkaar te kunnen vergelijken, is het beter om dezelfde normering voor diep en ondiep grondwater te hanteren. In dit onderzoek is voor de metalen de streefwaarde voor diep grondwater genomen.

Om te kunnen bepalen waar mogelijk een negatief effect optreedt, zijn alle concentraties tevens getoetst aan de interventiewaarden.

De normering voor het oppervlaktewater zijn de normen uit de Vierde Nota Waterhuishouding 1998 (NW4). Er is gekozen voor dit toetsingskader omdat hier de meeste stoffen in zijn opgenomen. De NW4 maakt voor een aantal metalen onderscheid in het gehalte 'stof' opgelost in de waterfase en het totaalgehalte 'stof' opgelost in de waterfase plus de fractie gebonden aan het zwevend stof. Het gehalte aan opgeloste stof wordt pas sinds een aantal jaren gemeten. Om de oude metingen met de recentere metingen te kunnen vergelijken is ervoor gekozen om alleen het totaalgehalte stof te nemen.

Over het algemeen worden de oppervlaktewateren meerdere keren per jaar bemonsterd. Over een jaar wordt een 90 percentiel berekening uitgevoerd. De waarde die deze berekening oplevert wordt getoetst aan het maximaal toelaatbaar risiconiveau (MTR) uit de NW4.

De gemeente Heerlen heeft in 2006 vier keer enkele oppervlaktewateren bemonsterd. In onderliggend onderzoek is het gemiddelde van de vier metingen berekend en getoetst aan het MTR uit de NW4.

Voor de stoffen waarvoor geen normwaarde in de Circulaire en/of de NW4 staat, is de drinkwaternorm uit het Drinkwaterbesluit 2011 genomen.

Stoffen

Uit de in totaal 27 stoffen is een keuze gemaakt. Er is in eerste instantie gekeken naar stoffen die vaak gemeten zijn én die vaak de normwaarde overschreden. Van een elftal stoffen waren er veel meetresultaten én overschreden de gemeten concentraties vaak de norm. Dit zijn de stoffen:

- Arseen;
- Benzo(a)antraceen;
- Benzo(a)pyreen;
- Fluorantheen
- IJzer;
- Koper;
- Lood;
- Minerale olie;
- Nikkel;
- Sulfaat;
- Zink.

De analyseresultaten van deze stoffen zijn meegenomen in het onderzoek. Daarnaast zijn een vijftal stoffen meegenomen in het onderzoek waarvan een redelijk aantal metingen beschikbaar zijn. Dit zijn de stoffen:

- Aluminium;
- Cadmium;
- Chroom;
- Kwik;
- Naftaleen.

In totaal zijn dus de analyseresultaten van 16 stoffen in kaart gebracht.

Diepte grondwatermetingen

Ten behoeve van de vertaling van de meetresultaten naar de dataset en naar ArcGIS is een aantal keuzes gemaakt ten aanzien van de diepte van de grondwatermetingen.

De peilbuizen hebben één of meerdere filters van een bepaalde lengte. In dit onderzoek is de gemiddelde diepte per filter genomen voor de weergave van de diepte van een meting.

Deze diepte kan uitgedrukt worden in meters beneden maaiveld (m-mv) of in meters ten opzichte van NAP (m+NAP). Voor het maken van de kaarten is gekozen voor de diepte in m-mv. Gezien de geaccidenteerdeheid van het onderzoeksgebied geeft de diepte in m+NAP niet duidelijk weer of het filter zich in de ondiepe of diepe ondergrond bevindt. Dit is van belang omdat met deze pilot wordt getracht inzicht te krijgen in het effect van mijnsteen op het freatisch grondwater.

Tijdens de interpretatie van de analyseresultaten is wel de diepte in m+NAP gebruikt. Om meetresultaten met elkaar te kunnen vergelijken zijn deze gegevens immers wel van belang.

Om de verspreiding van een stof in de diepte te beoordelen, zijn de metingen van het grondwater verdeeld in een viertal klassen. De eerste klasse is van 0-10 meter. Dit is gebaseerd op de Wet bodembescherming waar voor de ondiepe ondergrond 0-10 meter wordt aangehouden en vanaf 10 meter onder maaiveld de diepe ondergrond begint. De overige drie klassen (10-20 meter, 20-30 meter en >30 meter) zijn bepaald aan de hand van de beschikbare meetresultaten en op basis van de overweging dat het overzichtelijk is om klassen van gelijke dieptetrajecten te hanteren.

Samenvatting

De gemaakte keuzes zijn samengevat in navolgende Tabel 6.1.

Tabel 6.1. Samenvatting van de gekozen parameters.

Meetperiode	Normering	Stoffen	Diepte
2006	Circulaire bodemsanering 2009	Aluminium	0 – 10 m-mv
2007	Vierde Nota Waterhuishouding 1998	Arseen	10 – 20 m-mv
2008	Drinkwaterbesluit 2011	Benzo(a)antraceen	20 – 30 m-mv
2009		Benzo(a)pyreen	> 30 m-mv
		Cadmium	
		Chroom	
		Fluorantheen	
		IJzer	
		Koper	
		Kwik	
		Lood	
		Minerale olie	
		Naftaleen	
		Nikkel	
		Sulfaat	
		Zink	

De normen per stof uit de drie normkaders waaraan bovenstaande stoffen getoetst zijn, staan vermeld in bijlage 3.

6.3. Digitale kaart

Het verzamelbestand met alle analyseresultaten van het grond- en oppervlaktewater is omgezet naar digitale kaartlagen in het programma ArcGIS. Per kaartlaag zijn per stof de meetlocaties aangegeven én is per locatie aangegeven of er wel of geen verhoogde concentratie gemeten is.

De meetlocaties zijn in dit geval de locaties van alle metingen, dus zowel in grondwater als oppervlaktewateren. Wanneer het een meting in het grondwater betreft, is dit een peilbuismeting. Heeft de meting in een oppervlaktewater plaatsgevonden, dan wordt dit een meetpunt genoemd.

Aangezien voor het grondwater een andere normering geldt dan voor het oppervlaktewater, wordt hierin in de kaart ook onderscheid gemaakt.

In paragraaf 6.2. is aangegeven dat de meetresultaten vanaf het jaar 1983 tot en met het jaar 2010 verzameld zijn en dat alleen de resultaten van de periode 2006 tot en met 2009 gebruikt zijn voor het onderzoek. De meetlocaties van de metingen die buiten de onderzoeksperiode vallen zijn als volgt in kaart gebracht; de peilbuismetingen zijn weergegeven met een zwarte ruit (◆) en de meetpunten met een grijze ruit (◇).

De metingen die wel in de periode 2006 tot en met 2009 verricht zijn, zijn weergegeven met een vierkant icoontje voor de oppervlaktewaterringen met een rond icoontje voor de grondwatermetingen:

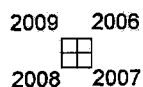


Oppervlaktewater



Grondwater

De twee icoontjes zijn onderverdeeld in vier kwadranten. Deze kwadranten geven de gemeten concentraties aan van de jaren 2006 tot en met 2009. Het kwadrant rechtsboven is het jaar 2006 en vervolgens met de klok mee het jaar 2007, 2008 en linksboven staat voor 2009:



Daarnaast hebben de kwadranten een kleur of is het kwadrant wit:



Een wit kwadrant geeft aan dat er in het desbetreffende jaar geen meting van de stof heeft plaatsgevonden. Een andere mogelijkheid is dat het kwadrant groen, oranje of rood gekleurd is. De kleur geeft de indeling van de gemeten concentratie van een stof in een van de volgende drie klassen;

- groen: concentratie < streefwaarde;
- oranje: streefwaarde < concentratie < MTR-waarde (oppervlaktewater) of interventiewaarde (grondwater);
- rood: concentratie > MTR-waarde of interventiewaarde

Voor een aantal stoffen is geen streefwaarde, MTR en/of interventiewaarde vastgesteld. Dit zijn de stoffen aluminium, ijzer en sulfaat (grondwater). Voor deze stoffen is de drinkwaternorm gekozen als klassegrens en eventueel een tweede klassegrens op basis van de variatie in gemeten concentraties. In

deze situatie is een concentratie beneden de drinkwaternorm als groen gekleurd kwadrant weergegeven en bij overschrijding van de drinkwaternorm als oranje gekleurd kwadrant.

Indien een tweede klassegrens is bepaald, wordt het kwadrant rood gekleurd weergegeven als deze tweede klassegrens wordt overschreden.

In een icoontje kan een witte stip zichtbaar zijn in één of meerdere kwadranten.



Wanneer in een kwadrant een witte stip zichtbaar is betekent dit dat de gemeten concentratie een detectiegrens betrof.

Elk icoontje is gelabeld. Indien de meetlocatie een meting in het grondwater is, staat in het label 'PB' omdat het een peilbuis betreft. Heeft de meting in het oppervlaktewater plaatsgevonden dan staat in het label 'MP' van meetpunt.



MP

Oppervlaktewater



PB

Grondwater

In het kader van het onderhavige project zijn de peilbuizen en meetpunten voorzien van nummers. Daarbij zijn de peilbuizen en de meetpunten apart genummerd. Het nummer van de desbetreffende meetlocatie staat ook in het label.

7. Interpretatie gegevens

De verzamelde data is zichtbaar gemaakt in digitale kaartlagen in ArcGIS. Aan de hand van deze kaarten worden de analyseresultaten geïnterpreteerd. De analyse gebeurt per mijnsteengebied waarbij steeds een korte omschrijving van het gebied gegeven wordt, gevolgd door een bespreking van de meetresultaten en een interpretatie van de beïnvloeding van het grond- en oppervlaktewater door mijnsteen. Elke paragraaf wordt afgesloten met enkele conclusies.

De interpretatie van de beïnvloeding van het grond- en oppervlaktewater wordt gedaan aan de hand van het bron-pad-object model (Figuur 7.1.). In dit model wordt eerst de bron van de verontreiniging besproken, dat is in dit geval de mijnsteen en/of mijnslik. Daarna wordt het pad besproken. Dit pad verbindt de bron van de verontreiniging met het object. In het geval van dit onderzoek wordt het pad gevormd door grondwaterstroming vanuit het mijnsteengebied naar de oppervlaktewaterlichamen in de omgeving. Tijdens de stroming door dit pad vinden chemische en fysische processen plaats die effect hebben op de samenstelling van het grondwater. Het object is, in dit onderzoek, het oppervlaktewater in de omgeving. Het verspreidingsgedrag van de uit de mijnsteen vrijkomende stoffen en de processen die zich hierbij in de bodem en het grondwater voordoen, is beschreven in een literatuuronderzoek uitgevoerd door Witteveen+Bos. Dit onderzoek is gebruikt bij de interpretatie van de analysegegevens in dit hoofdstuk en als bijlage 2 aan dit rapport toegevoegd.



Figuur 7.1. Het bron-pad-object model.

Om het pad goed te kunnen beschrijven is kennis nodig van de ondergrond. Deze kennis is verkregen van het DINOloket. DINO staat voor Data en Informatie van de Nederlandse Ondergrond. Op het DINOloket worden het regionaal geologisch model en het regionaal geohydrologisch model van Limburg en boringen gepresenteerd. Aan de hand van deze informatie is per deelgebied de geologie en de geohydrologie beschreven in een tabel. De afkortingen die in de kolom van de geohydrologie vermeld worden, betekenen het volgende:

- mdl staat voor matig doorlatende laag;
- wvp staat voor watervoerend pakket;
- sdl staat voor slecht doorlatende laag.

In verband met het benodigde overzicht over de data worden ten behoeve van de interpretatie de relevante meetresultaten in met name tabellen en kaartuitsneden gepresenteerd. Als de gemeten waarde beneden "het detectieniveau" lag, is de waarde ook opgenomen in de tabel met de afkorting "BD". In de kaartuitsneden is deze waarde te herkennen aan de witte stip in het desbetreffende kwadrant (zie § 6.3).

De kaartuitsneden zijn gemaakt om met name de meetlocaties weer te geven waar overschrijding van de drinkwaternorm, interventiewaarde (voor grondwater) of MTR (voor oppervlaktewater) waargenomen is. De legenda van de kaarten is terug te vinden in bijlage 3. Door deze bijlage open te klappen heeft men altijd de legenda van de kaarten uit hoofdstuk 7 bij de hand.

7.1. Mijnsteenbergr Emma/Hendrik

De Staatsmijnen Emma en Hendrik voerden hun mijnsteen af naar het steenstort in de Brunssummerheide op het terrein van Staatsmijn Hendrik. Het storten van mijnsteen is hier in 1914 begonnen op een heuvelachtig heideterrein dat een ondergrond heeft van zandlagen met kleilagen. Behalve mijnstenen die door elkaar werden gestort, zijn op afzonderlijke stortplaatsen ook steenslik, vliegashoudend, sintels en puin gestort [PBI (deelrapport B), 1985].

Op de zuidwestelijke punt van het steenstort is woningbouw gepleegd. Op de berg ligt een geëgaliseerd terrein. Dit terrein is een industrieterrein. Midden op het plateau ligt een NAVO-depot met ten zuiden ervan bijbehorende sportvelden. Aan de oostzijde grenst de mijnsteenbergr aan Duitsland.

Ten noorden van het depot is de mijnsteenbergr nog aanwezig. Om plaats te maken voor klei-ontginning wordt de steenbergr sinds 1966 afgegraven [PBI (deelrapport B), 1985] en vanaf 1996 moet de mijnsteen weer ter plaatse toegepast worden in de ontstane groeve [Provincie Limburg, 1996].

Het grondwater bevindt zich in het noorden van het steenstort op circa 3 meter beneden maaiveld, maar plaatselijk ook op 1,5 tot 2 meter beneden maaiveld. Het gaat hier wel om hangend grondwater als gevolg van de slechte doorlatendheid van de bodem. Het grondwater zit in feite dieper. In het zuidwesten, rondom de Rode Beek, bevindt het grondwater zich op circa 1 meter beneden maaiveld [bron: gemeente Brunssum].

Het grondwater stroomt vanuit de mijnsteenbergr in zuidwestelijke en noordwestelijke richting naar de Rode Beek. Waarschijnlijk stroomt het grondwater ook richting het oosten, maar dat is niet bekend. De steenbergr is gedeeltelijk afgedekt door het NAVO-depot, woningbouw en bedrijventerreinen.

7.1.1. Analyseresultaten

Verdeling meetlocaties

Op het mijnsterrein bevinden zich alleen peilbuizen in het noorden van het gebied (De Bouwbergr). Deze peilbuizen zijn niet bemonsterd in de periode 2006-2009. Er zijn dus geen analyseresultaten van het brongebied uit de onderzoeksperiode van deze pilot.

Een aantal peilbuizen ligt aan de rand van het mijnsteengebied, ook weer alleen in het noorden rond De Bouwbergr. Geen van deze peilbuizen is bemonsterd in de periode 2006-2009. Er bevindt zich één peilbuis in het pad en dat is PB60. Verder liggen enkele peilbuizen in het overige gebied van de mijnsteenbergr. Dit zijn PB3 en PB1. Deze twee zijn in 2008 en 2009 bemonsterd.

In het omringende oppervlaktewater liggen redelijk veel meetpunten. Slechts enkele zijn gebruikt voor bemonstering in de periode 2006-2009. Dit zijn de meetpunten MP24, MP28, MP29, MP31 en MP36 die allemaal het object vormen. Verder liggen er twee meetpunten in het overig gebied, namelijk MP26 en MP27.

Overschrijdingen

De peilbuis die in het pad ligt, PB60, vertoont een overschrijding van de drinkwaternorm voor aluminium en sulfaat in 2006. In PB3 is ook een overschrijding van de drinkwaternorm voor aluminium gemeten, maar dan in 2009. In PB1 is in 2008 en 2009 een verhoogde concentratie ijzer gemeten.

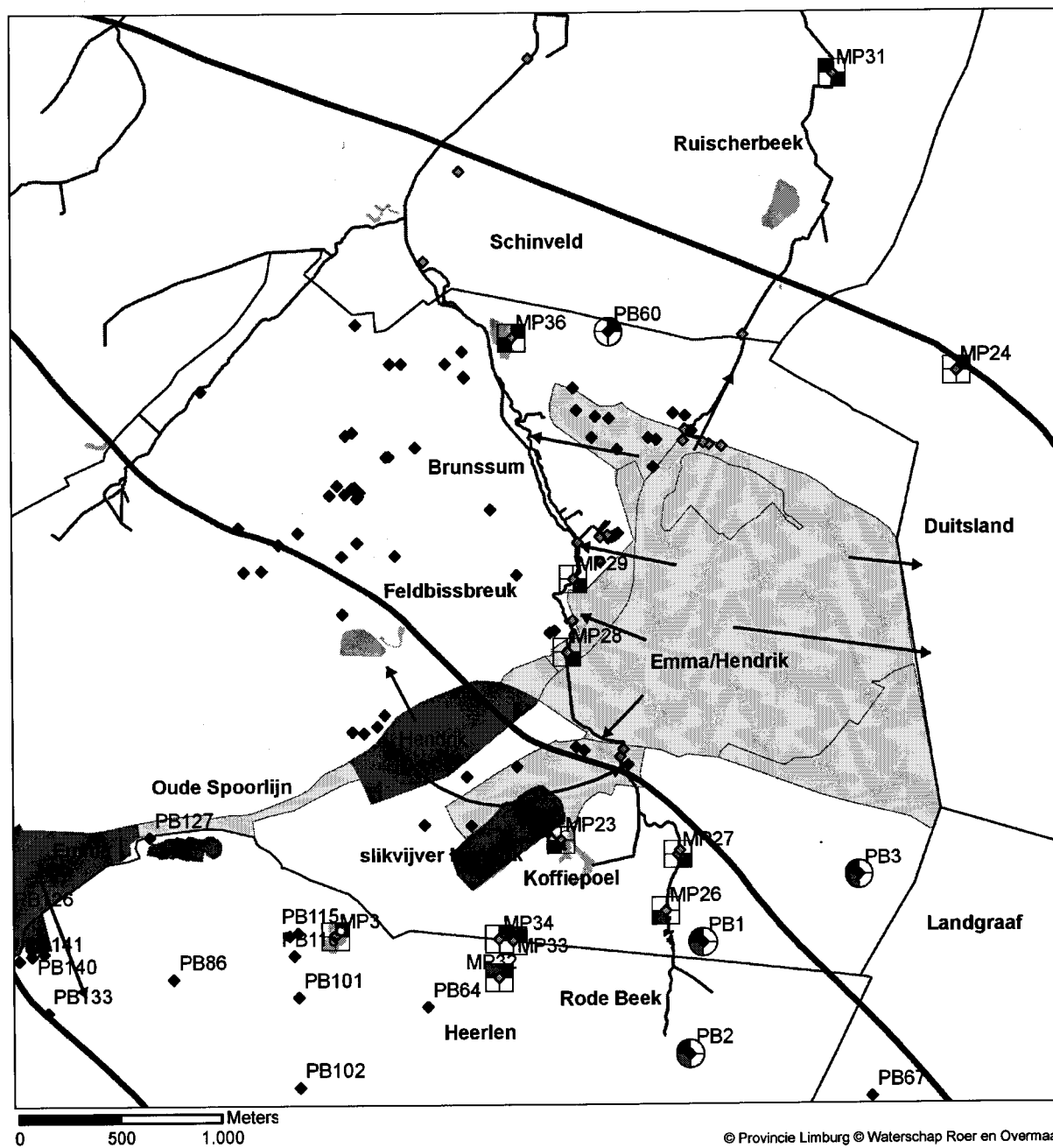
In het oppervlaktewater zijn voor een viertal stoffen overschrijdingen van de MTR-waarde aangetroffen, namelijk voor koper, nikkel, zink en sulfaat.

In onderstaande tabel 7.1. zijn de relevante meetwaarden opgenomen. In de figuren 7.2. t/m 7.7. zijn de meetlocaties weergegeven met de normoverschrijdingen.

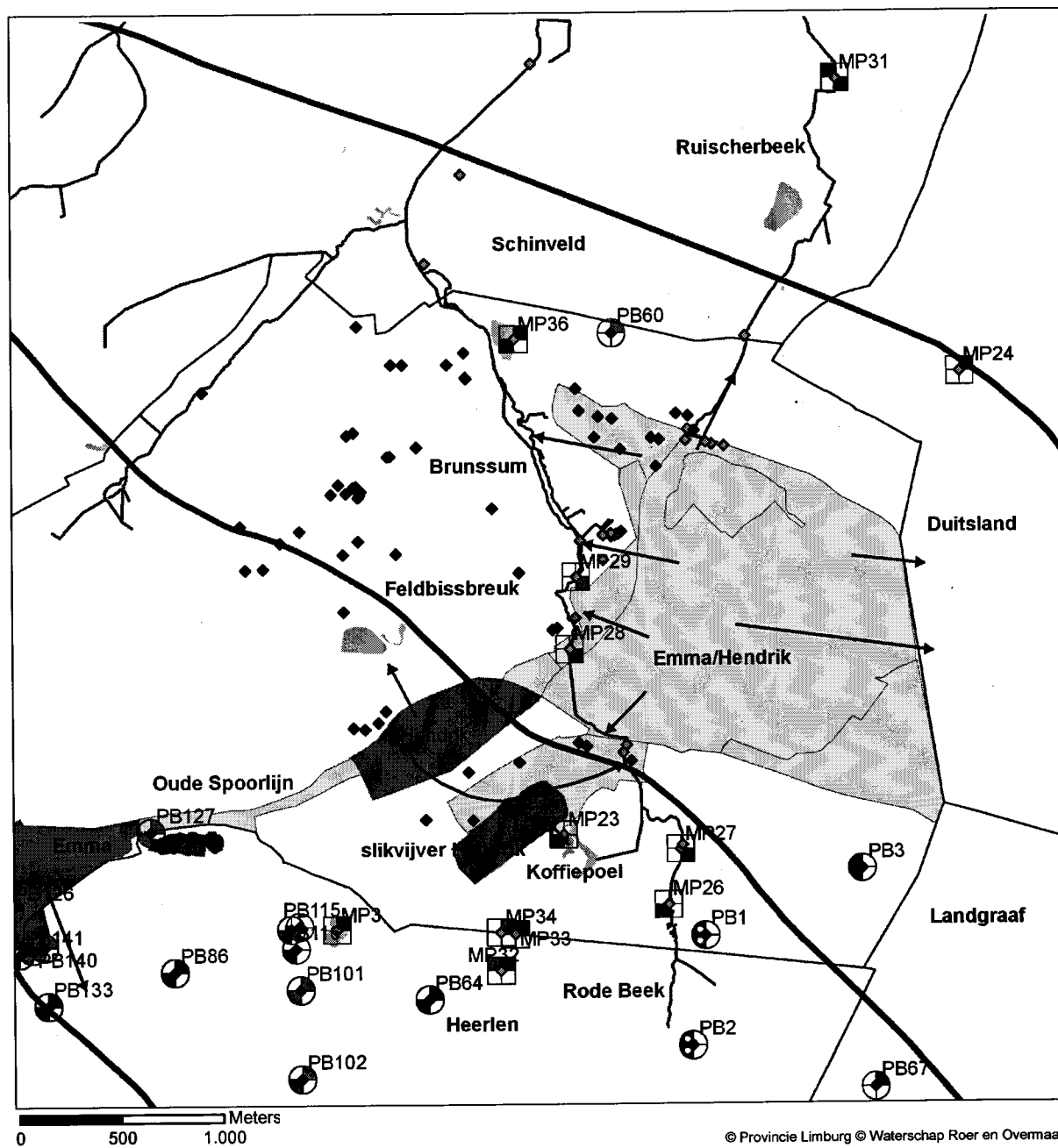
Tabel 7.1. Samenvatting van analyse gegevens van grond- en oppervlaktewater in de nabijheid van Mijnsteenb erg Emma/Hendrik:

				Relevante meetwaarden (incl. jaar van meting)		
	PB/MP	Diepte m+NAP	Diepte m-mv	Circulaire bodemsanering	NW4	Drinkwaternor m
Bron						
Pad	PB60	72,36	10,25	pH 4,58 2006 EC 920 µS/cm 2006 As 5,28 µg/l 2006 Cd 2,43 µg/l 2006 Cr 0,51 µg/l 2006 Cu BD 2006 Ni 45,10 µg/l 2006 Pb BD 2006 Zn 105 µg/l 2006		Al 1950 µg/l 2006 SO ₄ 379,49 mg/l 2006 Fe 89,30 µg/l 2006
Object	MP24				SO ₄ 314,2 mg/l 2006	
	MP28				SO ₄ 55,5 mg/l 2007	
	MP29				SO ₄ 88,4 mg/l 2007	
	MP31				Cd 0,38 µg/l 2009 Cr 14,56 µg/l 2009 Cu 13,88 µg/l 2009 Pb 2,08 µg/l 2009 Ni 128,29 µg/l 2009 SO ₄ 3400 mg/l 2007 SO ₄ 1926,6 mg/l 2009 Zn 133,54 µg/l 2009	

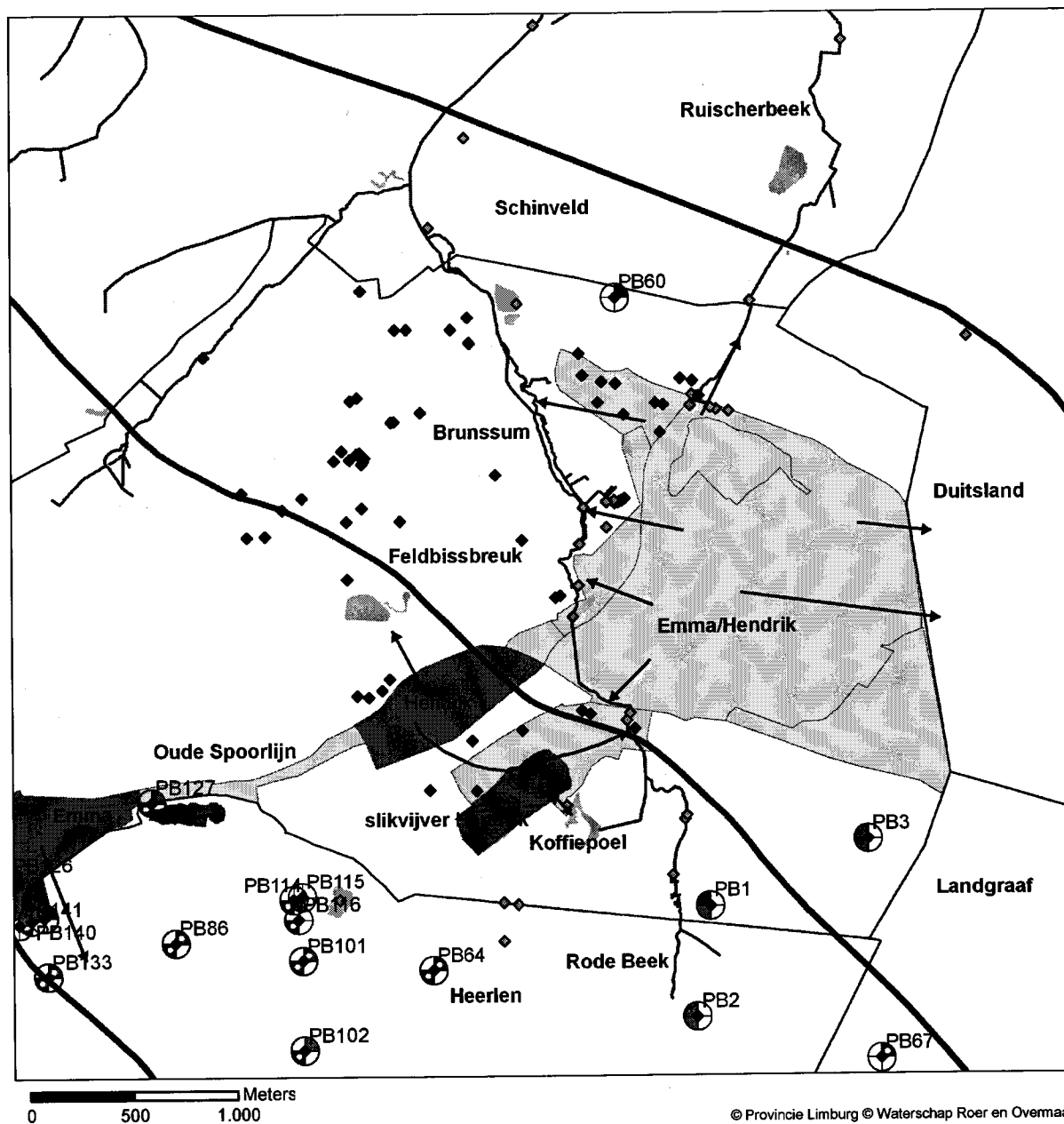
	MP36				Cd BD 2006, 2008 Cr 3,16 µg/l 2006 Cr BD 2008 Cu 2,09 µg/l 2006 Cu BD 2008 Pb BD 2006, 2008 Ni 9,59 µg/l 2006 Ni 10,73 µg/l 2008 SO ₄ 259 mg/l 2006 SO ₄ 269 mg/l 2008 Zn 24,16 µg/l 2006 Zn 38,7 µg/l 2008	
Overig gebied	PB1	82,21	0,25	pH 6,31 2008 pH 6,6 2009 EC 387 µS/cm 2008 EC 550 µS/cm 2009		Al 214 µg/l 2008 Al 140 µg/l 2009 Fe 621 µg/l 2008 Fe 9900 µg/l 2009 SO ₄ BD 2008 SO ₄ BD 2009
	PB3	106,27	0,94	pH 5,62 2008 pH 4,6 2009 EC 111 µS/cm 2008 EC 120 µS/cm 2009		Al 350 µg/l 2008 Al 740 µg/l 2009 Fe 1140 µg/l 2008 Fe 4000 µg/l 2009 SO ₄ 21,60 mg/l 2008 SO ₄ 20 mg/l 2009
	MP26				Cd 1,28 µg/l 2008 Cr BD 2008 Cu 0,51 µg/l 2008 Pb 1,49 µg/l 2008 Ni 13,63 µg/l 2008 SO ₄ 41,8 mg/l 2008 Zn 131,46 µg/l 2008	
	MP27				SO ₄ 43 mg/l 2007	



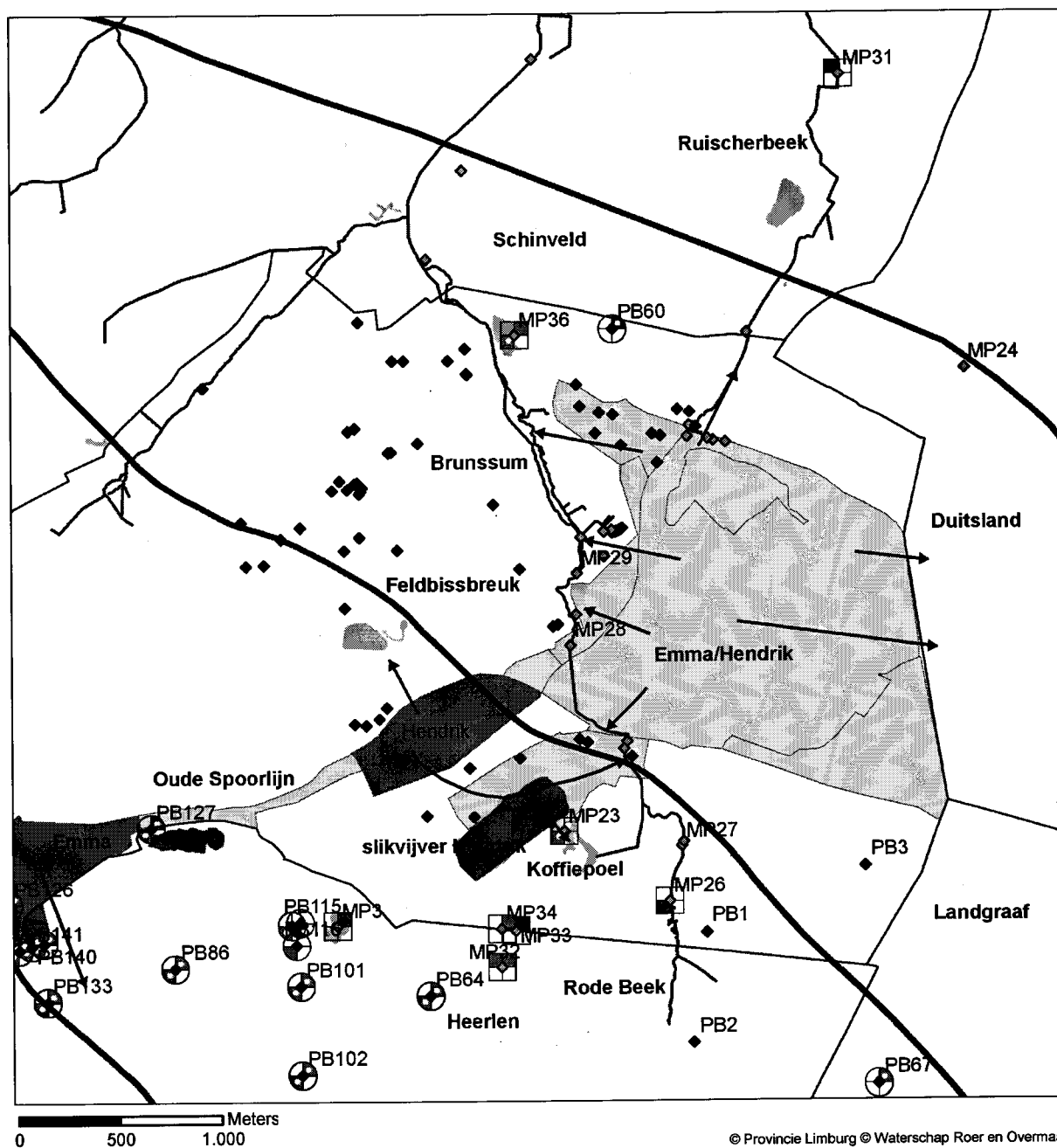
Figuur 7.2. Overschrijding drinkwaternorm aluminium (oranje en rood).



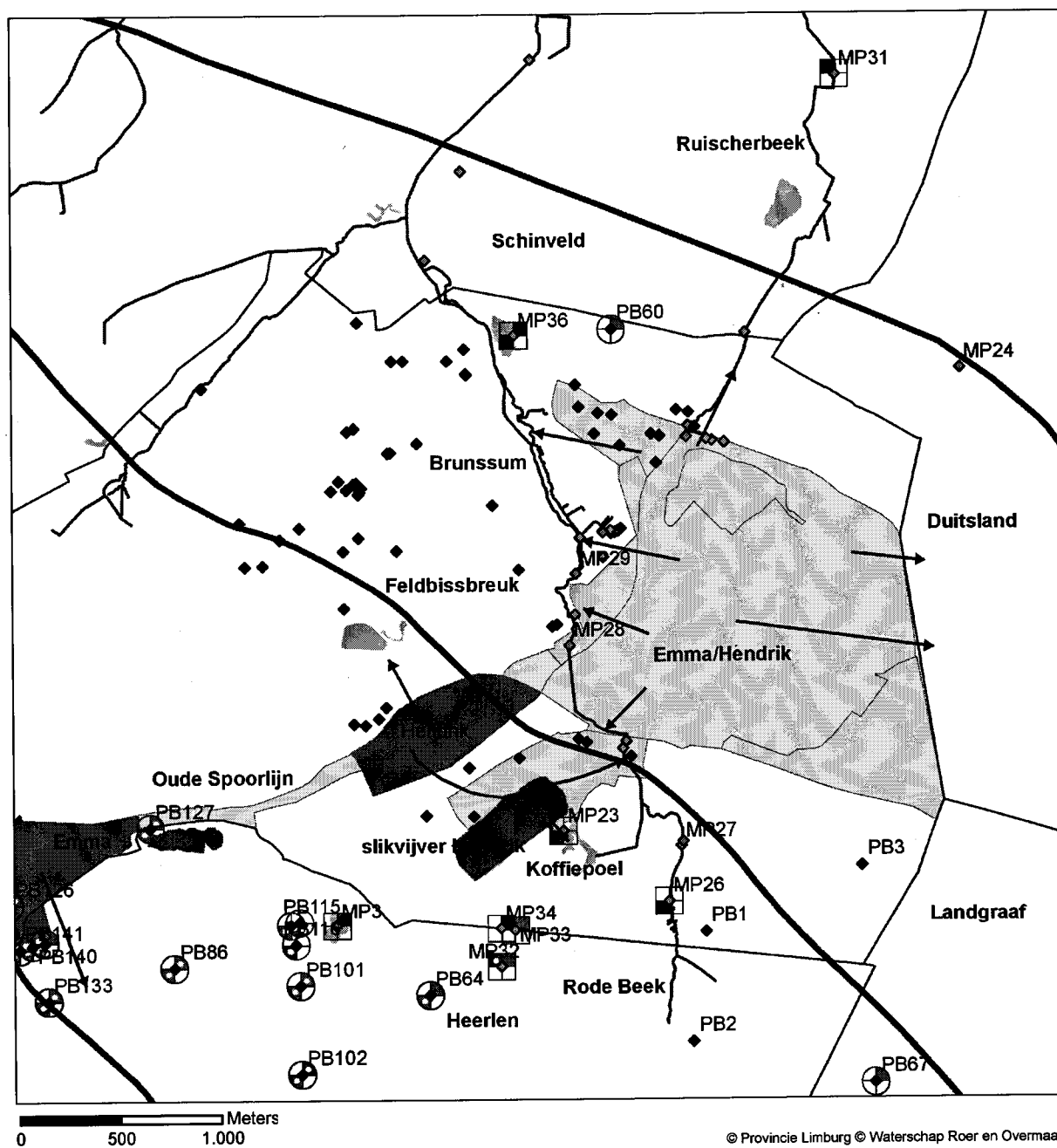
Figuur 7.3. Overschrijdingen drinkwaternorm en MTR sulfaat (oranje en rood).



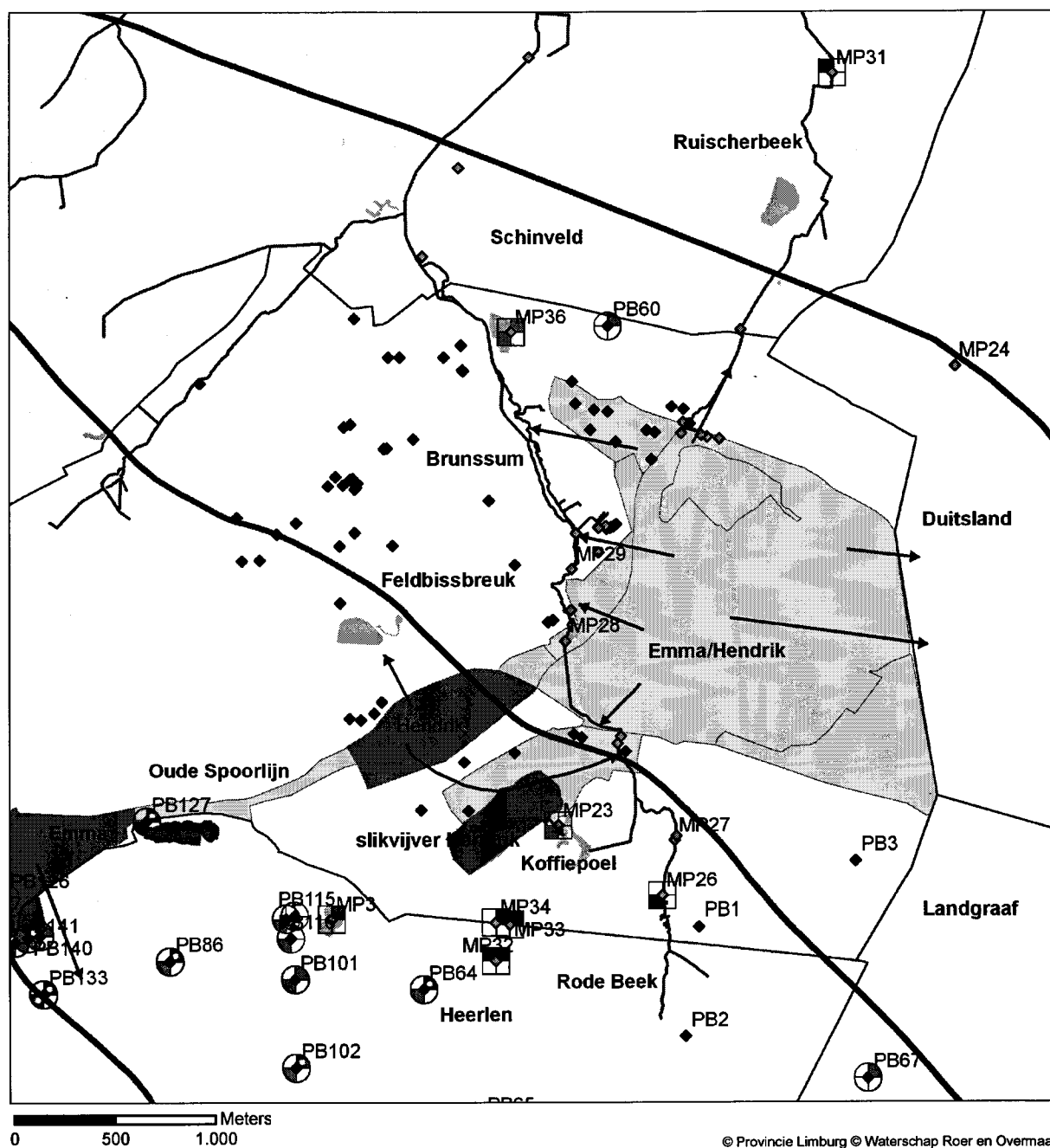
Figuur 7.4. Overschrijdingen drinkwaternorm ijzer (oranje en rood).



Figuur 7.5. Overschrijding MTR koper (rood).



Figuur 7.6. Overschrijdingen MTR nikkel (rood).



Figuur 7.7. Overschrijdingen MTR zink (rood).

7.1.2. Conceptueel model

Bron

De bron van de stoffen is in dit geval de mijnsteen die aanwezig is op de mijnsteenberga Emma/Hendrik.

Pad

Het gebied vormt een hoogte in het landschap, waardoor er geen grondwater uit de omgeving naar het gebied stroomt. Hemelwater is daarom de enige voeding voor het grondwater in de mijnsteenberga. De geologie wordt bepaald door de Feldbissbreuk, deze doorsnijdt het gebied en daarom is de bodemopbouw weergegeven in twee tabellen, één ten zuiden en één ten noorden van de breuk.

Tabel 7.2.: Schematische weergave van bodemopbouw in omgeving van de mijnsteenberga Emma/Hendrik ten zuiden van de Feldbissbreuk:

Diepte (meters t.o.v. NAP)		Lithologie	Formatie	Geohydrologie
Van	tot			
82	80	Geel grijs zand zwak grindig	Boxtel	
80	40	Zand met bruinkoollagen	Breda	sdl1b
		Zand		wvp1c
40	-65	Zand	Rupel	sdl2
-65	-105	Klei	Tongeren	

Tabel 7.3.: Schematische weergave van bodemopbouw in omgeving van de mijnsteenberga Emma/Hendrik ten noorden van de Feldbissbreuk:

Diepte (meters t.o.v. NAP)		Lithologie	Formatie	Geohydrologie
Van	tot			
100	10	Zand en grind	Kiezeloöliet	wvp2a
10	-150	Zand	Breda	wvp 3a; 3b en 3c
-150	-360	Zand	Rupel	sdl

Ten noorden van de Feldbissbreuk heeft een daling plaatsgevonden waardoor formaties circa 100 meter dieper liggen dan ten zuiden van de breuk. Ten noorden van de breuk is daarom de Kiezeloöliet Formatie wel aanwezig terwijl deze ten zuiden van de breuk niet aanwezig is.

Ten zuiden van de breuk ligt, op een diepte van circa 80 m+NAP, een slecht doorlatende laag die bestaat uit bruinkollagen van de formatie van Breda. Deze laag zal grondwaterstroming naar dieper gelegen lagen beperken. Onduidelijk is of de weerstand van deze laag groot genoeg is om stroming in zijn geheel tegen te houden.

Ten noorden van de breuk is geen slecht doorlatende in de ondergrond aanwezig, percolaat uit de mijnsteenbergt kan daardoor naar de ondergrond toestromen.

Grondwater stroomt vanuit de mijnsteen naar de omgeving. Uit de aanwezige informatie wordt opgemaakt dat de grondwaterstromingsrichting ter plaatse van de mijnsteenbergt Emma/Hendrik radiaal is. Voor de interpretatie is alleen de stroming naar de Rode beek en het Ruischerbeekje bekeken omdat alleen daarvan meetgegevens beschikbaar zijn.

Object

Object is het oppervlaktewater in de omgeving; de Rode beek en de Ruischerbeek.

7.1.3. Interpretatie beïnvloeding grond- en oppervlaktewater

Bron

Er zijn geen peilbuizen aanwezig ter plaatse van de bron.

Pad

Peilbuis PB60 is de enige peilbuis die langs een stroombaan van het grondwater ligt uit de mijnsteenbergt Emma/Hendrik. Uit de waterkwaliteit kan worden opgemaakt dat het grondwater hier lijkt te worden beïnvloed door de mijnsteenbergt: de pH is laag, sulfaatconcentratie is hoog en er zijn verschillende zware metalen in opgelost. Ook ijzer is in oplossing, wat aangeeft dat er hier een anaeroob milieu heerst.

In het grondwater heerst een lage pH van 4,58 en het heeft een EC van 920 $\mu\text{S}/\text{cm}$. De lage pH geeft aan dat het grondwater hier niet wordt gebufferd door calciet. Buffering vindt plaats door aluminiummineralen zoals aluminiumsilicaten. Deze mineralen zijn weinig gevoelig voor vertering in neutrale pH omstandigheden maar kunnen onder zure omstandigheden verteren en daarbij komt aluminium vrij [Appelo & Postma, 1993]. Door deze vertering is de aluminiumconcentratie in het grondwater hoog (1950 $\mu\text{g}/\text{l}$). Door deze lage pH kunnen ook andere zware metalen zoals nikkel, chroom, cadmium en arseen in oplossing blijven.

Peilbuizen in de omgeving

De relatie met het mijnsteengebied Emma/Hendrik en de verhogingen gemeten in de bovenstrooms gelegen peilbuizen PB1 en PB3 is niet duidelijk. Deze meetlocaties liggen namelijk niet in het verwachte pad of object. De verhogingen van metalen op deze meetlocaties zijn waarschijnlijk het gevolg van zure regen in het gebied. Deze gebieden worden namelijk gevoed door hemelwater.

De omvang van de grondwaterverontreiniging in dit gebied is niet in beeld gebracht. Daarvoor zijn er te weinig gegevens bekend.

Object

MP31 heeft een hoog sulfaatgehalte en er komen ook veel zware metalen in voor (zie tabel 7.1.). Dit meetpunt ligt in de Ruischerbeek. Deze beek ontspringt aan de voet van de mijnsteenbergr Emma/Hendrik. Gezien de ligging van de beek en de hoge sulfaatconcentratie in combinatie met de aanwezigheid van zware metalen kan worden opgemaakt dat dit water wordt beïnvloed door mijnsteen.

De grondwaterstroming geeft aan dat MP24 (Krummelbach) en MP36 (Kattekoelenvijver) beiden water ontvangen dat afkomstig is uit de mijnsteenbergr. Sulfaatconcentraties die gemeten zijn bedragen MP24 314,2 mg/l en MP36 259 + 269 mg/l. Deze concentraties duiden op invloed van mijnsteenwater. Daarnaast zijn er in het water van MP36 nikkel, zink, chroom en koper aanwezig. De sulfaatconcentratie geeft aan dat de invloed van mijnsteen hier lager is dan bij MP31, toch wordt er vanuit gegaan dat dit water wordt beïnvloed.

De Rode Beek wordt beïnvloed door de mijnsteenbergr Emma/Hendrik, de slikvijver Hendrik, voormalig Hendrikterrein en de oude spoorlijn (§ 7.2.) tezamen. Daarom is ervoor gekozen om de invloed op dit oppervlaktewater te beschrijven aan het einde van paragraaf 7.2.

7.1.4. Conclusie

Uit de analyse van de beschikbare data kan het volgende worden geconcludeerd:

- De grondwaterkwaliteit in de omgeving van de mijnsteenbergr Emma/Hendrik lijkt te worden beïnvloed door de mijnsteen;
- In de periode 2006-2009 zijn in het grondwater ten opzichte van de drinkwatermorm verhoogde gehalten aluminium en sulfaat gemeten;
- Gezien de beperkte beschikbaarheid van gegevens kan de verontreiniging in horizontale richting niet goed worden afgeperkt;
- Ten zuiden van de Feldbissbreuk ligt, op een diepte van circa 80 m+NAP, de slecht doorlatende bruinkoollagen in de formatie van Breda. Het watervoerend pakket is een paar meter dik. De invloed van de mijnsteen zal daarom waarschijnlijk niet dieper gaan dan de bruinkoollagen van in de formatie van Breda;
- Ten noorden van de Feldbissbreuk is geen slecht doorlatende laag in de ondergrond aanwezig, percolaat uit de mijnsteenbergr kan daardoor naar de ondergrond toestromen en de invloed in verticale richting kan daarom niet worden afgeperkt;
- De waterkwaliteit in de Ruischerbeek, de Krummelbach en de Kattekoelenvijver is beïnvloed door de mijnsteen;
- In de periode 2006-2009 zijn in de Ruischerbeek overschrijdingen van het MTR voor zink, nikkel, koper en sulfaat gemeten. In de Krummelbach een MTR overschrijding voor sulfaat en in de Kattekoelenvijver zijn overschrijdingen van het MTR voor nikkel en sulfaat gemeten;
- Conclusies met betrekking tot de Rode Beek worden beschreven in paragraaf 7.2.4.

7.2. Voormalig Hendrikterrein, slikvijver Hendrik en oude spoorlijn

De Staatsmijn Hendrik bevond zich in de gemeente Brunssum en is in 1973 gesloten. Hier lag het fabrieksterrein van de mijn. De geproduceerde mijnsteen werd afgevoerd naar het steenstort Emma/Hendrik. Na de sluiting van de mijn werd over dit deel van het terrein een mijnsteenpakket van 5 tot 10 meter dikte aangelegd [PBI (deelrapport B), 1985]. Tegenwoordig is het terrein in gebruik als hoofdkwartier van de centrale strijdkrachten in Europa JFC HQ Brunssum (toenmalig AFCENT).

Ten zuiden van dit voormalig fabrieksterrein en ten westen van de Koffiepoel ligt de slikvijver Hendrik. Er is hier destijds mijnslik van de Hendrikmijn gestort. Het mijnslik is deels hergebruikt voor de baksteenproductie van nabijgelegen steenfabrieken.

De oude spoorweg tussen de mijnterreinen van de Staatsmijnen Emma en Hendrik is opgevuld met mijnsteen voor de aanleg van een weg, de Emmaweg. Ten zuiden van de Emmaweg bevindt zich een slikvijver.

De drie terreinen zijn redelijk afgedekt met bebouwing en/of wegen.

De grondwaterstroming loopt vanuit het fabrieksterrein noordelijk naar de Stadsvijver in Brunssum en zuidoostelijk naar de Rode Beek. Het grondwater ter plaatse van de slikvijver loopt ook richting de Rode Beek. De grondwaterstromingsrichting ter plaatse van de oude spoorlijn is niet in kaart gebracht, maar vermoedelijk loopt het grondwater hier richting de slikvijver ten zuiden van dit gebied.

7.2.1. Analyseresultaten

Verdeling meetlocaties

Er liggen weinig peilbuizen en meetpunten in en rondom het totale gebied. Een aantal peilbuizen ligt in het brongebied van de slikvijver, verder liggen er geen peilbuizen in de brongebieden. In het pad vanuit de drie terreinen liggen enkel bij het voormalig fabrieksterrein enkele peilbuizen in de noordelijke richting en enkele in de zuidoostelijke richting en er ligt één peilbuis in het pad vanuit de oude spoorlijn. Verder ligt alleen in het object, de Koffiepoel, één meetlocatie (MP23).

In de periode 2006-2009 is alleen de peilbuis in het pad vanuit de oude spoorlijn bemonsterd (PB127), namelijk in 2006 en in 2008. Het meetpunt in de Koffiepoel is in 2008 bemonsterd.

Peilbuis 127 heeft twee filters, één filter op 5 meter beneden maaiveld (96,16 m+NAP) en één filter op 20,5 meter diepte (80,66 M+NAP).

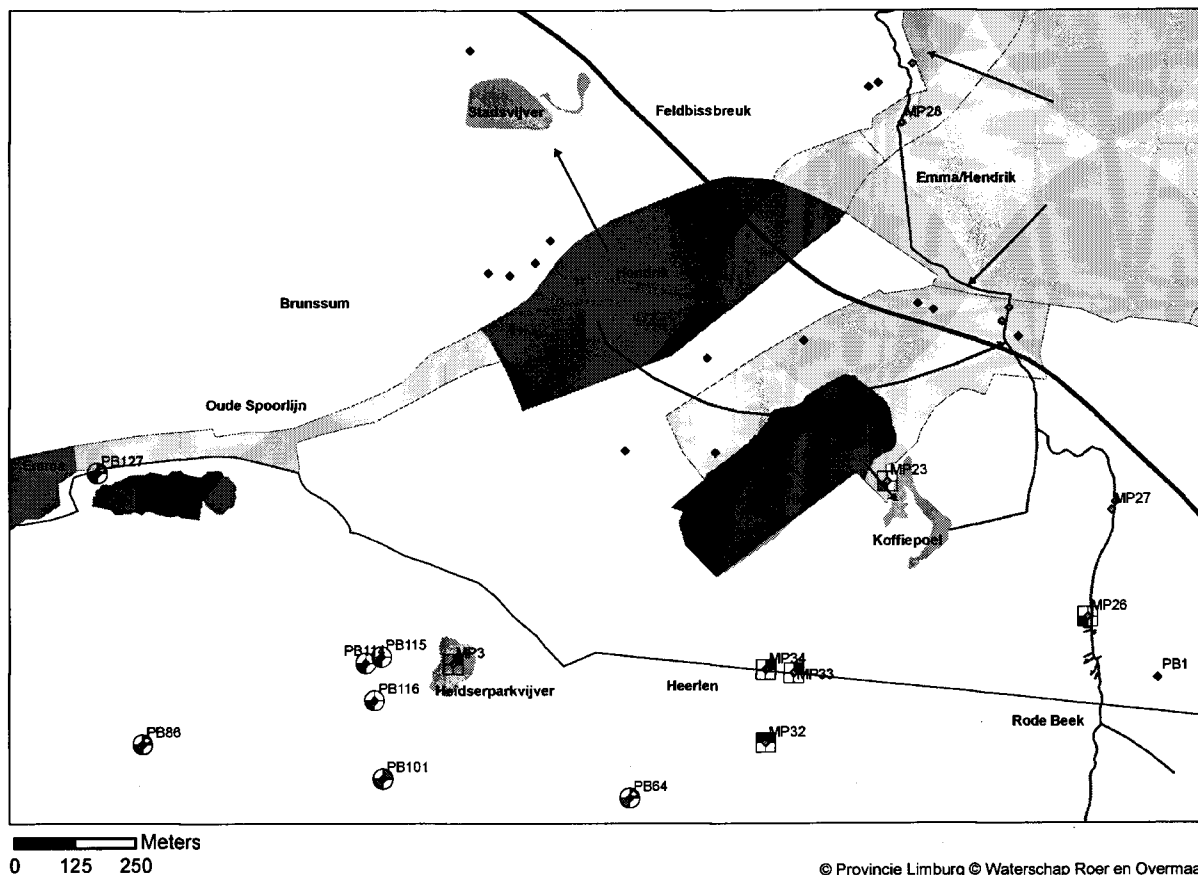
Overschrijdingen

Er is één overschrijding gemeten, namelijk in 2008 is in PB127 een concentratie zink boven de interventiewaarde gemeten. Deze concentratie is gemeten in de diepste filter (20,5 m-mv).

In onderstaande tabel 7.4. zijn de relevante meetwaarden opgenomen. In figuur 7.8. zijn de meetlocaties weergegeven met de normoverschrijdingen voor zink.

Tabel 7.4. Samenvatting van analyse gegevens van grond- en oppervlaktewater in de nabijheid van het Voormalig Hendrikterrein, slikvijver Hendrik en oude spoorlijn:

				Relevante meetwaarden (incl. jaar van meting)		
	PB/MP	Diepte m+NAP	Diepte m-mv	Circulaire bodemsanering	NW4	Drinkwaternorm
Bron						
Pad	PB127	80,66	20,5	As BD 2006 As 8,00 µg/l 2008 Cd BD 2006 Cd 1,30 µg/l 2008 Cu BD 2006, 2008 Ni BD 2006, 2008 Pb BD 2006, 2008 Zn BD 2006 Zn 2500 µg/l 2008 Minerale olie BD 2008 pH 7,1 2008 EC 790 µS/cm 2008		Fe 2200 µg/l 2006 Fe BD 2008 SO ₄ 330 mg/l 2006 SO ₄ 180 mg/l 2008
Object	MP23				Cd BD 2008 Cr 3,68 µg/l 2008 Cu BD 2008 Pb 1,74 µg/l 2008 Ni 1,15 µg/l 2008 SO ₄ 64,8 mg/l 2008 Zn 23,51 µg/l 2008	
Overig gebied						



Figuur 7.8. Overschrijding interventiewaarde zink (rood).

7.2.2. Conceptueel model

Bron

De bron van de stoffen is in dit geval de mijnsteen die aanwezig is op het voormalig Hendrikterrein, de oude spoorlijn en de slikvijver Hendrik.

Pad

Voor dit gebied geldt hetzelfde conceptuele model als dat geldt voor de mijnsteen berg Emma/Hendrik. Ook dit gebied wordt in tweeën gedeeld door de Feldbissbreuk (zie tabel 7.2. en 7.3.).

Object

Het object is het oppervlaktewater in de omgeving; de Rode Beek en de Koffiepoel.

7.2.3. Interpretatie beïnvloeding grond- en oppervlaktewater

Bron

Er zijn geen meetgegevens beschikbaar over de grondwaterkwaliteit in de bron.

Pad

De verhoogde concentratie zink gemeten in PB127 kan afkomstig zijn van de mijnsteen op het terrein van de Oude Spoorlijn. Het gegeven dat ijzer in oplossing is geeft aan dat er hier een anaeroob milieu heerst. Er zijn echter te weinig metingen en meetlocaties om dit te onderbouwen. De omvang van de verontreiniging van de drie deelgebieden van de mijn Hendrik is daarom niet in kaart gebracht met de beschikbare data uit 2006 t/m 2009.

Object

De interpretatie van oppervlaktewaterkwaliteit is uitgevoerd voor de mijnsteenbergr Emma/Hendrik in combinatie met voormalig Hendrikterrein, slikvijver Hendrik en oude spoorlijn. Deze keuze is gemaakt omdat uit beide gebieden grondwater in de richting van de Rode Beek stroomt en beide gebieden daarom invloed hebben op dezelfde oppervlaktewaterkwaliteit.

MP23 is een meetpunt in het oppervlaktewater Koffiepoel. In dit meetpunt worden zware metalen aangetroffen, er worden geen verhoogde sulfaatconcentraties aangetroffen in dit monster. Het water lijkt niet kenmerkend voor mijnsteenwater. Hierbij moet worden opgemerkt dat verdunning in het oppervlaktewater een belangrijke rol kan spelen waardoor de effecten van mijnsteen niet meer goed zichtbaar zijn. Er kan daarom geen conclusie worden getrokken of dit oppervlaktewater wel of niet wordt beïnvloed door mijnsteen.

MP26 en MP27 liggen in de Rode Beek stroomopwaarts van de mijnsteenbergr. Sulfaatconcentraties in deze meetpunten zijn MP26 41,8 mg/l en MP27 43 mg/l. MP28 en MP29 liggen stroomafwaarts van de mijnsteenbergr in de Rode Beek. Sulfaatconcentraties hier zijn MP28 55,5 mg/l en MP29 88,4 mg/l. De verschillen in sulfaatconcentratie zijn te gering om te concluderen dat of er wel of geen invloed van de mijnsteen is.

Concentraties zware metalen zijn stroomopwaarts van de mijnsteenbergr vergelijkbaar met stroomafwaarts van de mijnsteenbergr. Daarom kan er geen trend uit worden afgeleid.

7.2.4. Conclusie

Uit de analyse van de beschikbare data kan het volgende worden geconcludeerd:

- De grondwaterkwaliteit in de omgeving van het voormalig Hendrikterrein, slikvijver Hendrik en oude spoordijk kan beïnvloed zijn door de mijnsteen, maar er zijn te weinig gegevens beschikbaar om dit te onderbouwen;
- In de periode 2006-2009 is in het grondwater een ten opzichte van de interventiewaarde verhoogd gehalte zink gemeten;
- Op basis van de beschikbare gegevens lijkt de mijnsteen de waterkwaliteit van de Rode Beek niet zichtbaar te hebben beïnvloed, enige invloed kan echter niet worden uitgesloten;
- Op basis van de beschikbare gegevens lijkt de mijnsteen de waterkwaliteit van de Koffiepoel niet te hebben beïnvloed, enige invloed kan echter niet worden uitgesloten;
- Ten zuiden van de Felddissbreuk ligt, op een diepte van circa 80 m+NAP, de slecht doorlatende bruinkoollagen in de formatie van Breda. Het watervoerend pakket is een paar meter dik. De invloed van de mijnsteen zal daarom waarschijnlijk niet dieper gaan dan de bruinkoollagen van in de formatie van Breda;
- Het is niet mogelijk om invloed van de mijnsteengebieden in de horizontale richting af te perken.

7.3. Voormalig Emmaterrein en slikvijver Emma

Het mijnsterrein van de voormalige Staatsmijn Emma ligt grotendeels in de gemeente Brunssum en deels in Hoensbroek (gemeente Heerlen) en bestond uit een gebouwensterrein, spooremlacement en opslagsterrein. De Staatsmijn Emma was de op een na grootste kolenmijn van Nederland. Op het terrein heeft in het verleden een cokes-fabriek en een elektriciteitscentrale gestaan. De geproduceerde mijnsteen werd afgevoerd naar het steenstort Emma/Hendrik. Het is waarschijnlijk dat onder andere zuurter en fenolen op het mijnsterrein gestort zijn als gevolg van de cokesfabriek [PBI (deelrapport B), 1985]. Het waswater met daarin chemicaliën werd als afvalwater via de droogdalen langs ondermeer de Heisterberg naar de laagtes in Hoensbroek afgevoerd [bron: gemeente Heerlen].

In 1973 werd de Staatsmijn Emma definitief gesloten.

Er heeft op het Emmaterrein ophoging plaatsgevonden met een dik pakket mijnsteen. Na sanering is op het grote terrein van deze voormalige mijn de woonwijk "Emma", het Emma-park en bedrijventerrein Emma III gevestigd.

Het gebied is door de woonwijk en bedrijventerrein grotendeels afgedekt, waardoor hemelwater moeilijk infiltreert in dit gebied. Het Emma-park daarentegen is nagenoeg niet afgedekt en hemelwater kan hier direct in de bodem infiltreren.

De slikvijver Emma maakt deel uit van het mijnsterrein van de voormalige Staatsmijn Emma en ligt in de gemeente Heerlen. Hier werd vroeger het slik afkomstig van de Staatsmijn Emma gestort. Later is de slikvijver gevuld met verontreinigde grond afkomstig van de sanering van het Emmaterrein in de gemeente Brunssum. Nadat de vijver opgevuld was heeft de gemeente Heerlen het depot afgedekt met een laag mijnsteen en een meter schone grond.

De locatie van de slikvijver is nu braakliggend. De slikvijver ligt niet in of aan het grondwater en de onderzijde ligt op circa 84 meter boven NAP [bron: gemeente Heerlen]. Het grondwater stroomt naar verwachting in zuid-zuidoostelijke richting.

7.3.1. Analyseresultaten

Verdeling meetlocaties

Op het mijnsterrein, in de bron, bevindt zich één peilbuis (PB126). Daarnaast ligt er een drietal peilbuizen aan de rand van het mijnsterrein in de (zuidwestelijke) stromingsrichting van het grondwater (PB147, PB148 en PB149) en ligt een serie peilbuizen in dezelfde stromingsrichting maar dan verder van het mijnsteengebied af (PB100 en PB124). In het overig gebied rondom het mijnsteengebied ligt nog een peilbuis (PB125). Er ligt geen meetpunt in de Caumerbeek, het object.

In de slikvijver, de bron, zijn geen metingen verricht. Er is geen oppervlaktewater (object) in de omgeving van de slikvijver aanwezig. Er ligt wel een aantal peilbuizen in het pad (PB139, PB140, PB141, PB133 en PB123) en één in het overig gebied (PB86).

Er zijn geen analyse gegevens ten noorden van de mijnsteenbergh bekend, ook hier stroomt grondwater naar toe, dit is onderdeel van het noordelijke pad.

Alle peilbuizen zijn bemonsterd in 2006 en/of 2008, daarnaast zijn PB147, PB148 en PB149 ook in 2009 bemonsterd.

Overschrijdingen

Er zijn overschrijdingen van de drinkwaternorm voor sulfaat en ijzer waargenomen in 2006 én in 2008. Daarnaast is er een interventiewaarde overschrijding van benzo(a)pyreen gemeten in 2008 in PB148. In onderstaande tabel 7.5. zijn de relevante meetwaarden opgenomen. In de figuren 7.9. t/m 7.11. zijn de meetlocaties weergegeven met de normoverschrijdingen.

Tabel 7.5. Samenvatting van analyse gegevens van grond- en oppervlaktewater in de nabijheid van het Emmaterrein:

				Relevante meetwaarden (incl. jaar van meting)		
	PB/MP	Diepte m+NAP	Diepte m-mv	Circulaire bodemsanering	NW4	Drinkwaternorm
Bron	PB126	77,8	23,94	pH 6,9 2008 EC 2500 µS/cm 2008 As 9,2 µg/l 2006 As 11 µg/l 2008 Cd BD 2006, 2008 Cu BD 2006, 2008 Ni BD 2006, 2008 Pb BD 2006, 2008 Zn 34 µg/l 2006 Zn 130 µg/l 2008 Minerale olie BD 2008		SO ₄ 700 mg/l 2006 SO ₄ 1500 mg/l 2008 Fe 11000 µg/l 2006 Fe BD 2008
Pad Zuid-Oost	PB139	82,01	5,9	As 6 µg/l 2006 As 5,6 µg/l 2008 Cd BD 2006, 2008 Cu BD 2006, 2008 Ni 11 µg/l 2006 Ni BD 2008 Pb BD 2006, 2008 Zn 56 µg/l 2006 Zn 61 µg/l 2008 Minerale olie 2006, 2008		SO ₄ 310 mg/l 2006 SO ₄ 250 mg/l 2008 Fe 5800 µg/l 2006
		75,91	12	As 5,4 µg/l 2006 As BD 2008 Cd BD 2006, 2008 Cu BD 2006, 2008 Ni BD 2006, 2008 Pb BD 2006, 2008 Zn BD 2006 Zn 44 µg/l 2008 Minerale olie 2006, 2008		Fe 2700 µg/l 2006 SO ₄ 110 mg/l 2006 SO ₄ 6,60 mg/l 2008

PB140	76,01	12,65	pH 6,4 2008 EC 920 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 2008 As BD 2006, 2008 Cd BD 2006, 2008 Cu BD 2006, 2008 Ni BD 2006, 2008 Pb BD 2006, 2008 Zn BD 2006 Zn 52 $\mu\text{g}/\text{l}$ 2008 Minerale olie 2006, 2008		SO ₄ 420 mg/l 2006 SO ₄ 450 mg/l 2008 Fe 4400 $\mu\text{g}/\text{l}$ 2006 Fe BD 2008
PB141	83,58	6,5	As 13,00 $\mu\text{g}/\text{l}$ 2006 As 7,50 $\mu\text{g}/\text{l}$ 2008 Cd BD 2006, 2008 Cu BD 2006, 2008 Ni BD 2006, 2008 Pb BD 2006, 2008 Zn 68 $\mu\text{g}/\text{l}$ 2006 Zn 49 $\mu\text{g}/\text{l}$ 2008 Minerale olie 2006, 2008		SO ₄ 120 mg/l 2006 SO ₄ 180 mg/l 2008 Fe 270 $\mu\text{g}/\text{l}$ 2006
	73,08	17	As BD 2006, 2008 Cd BD 2006, 2008 Cu BD 2006, 2008 Ni 0,10 $\mu\text{g}/\text{l}$ 2006 Ni BD 2008 Pb BD 2006, 2008 Zn 33 $\mu\text{g}/\text{l}$ 2006 Zn 190 $\mu\text{g}/\text{l}$ 2008 Minerale olie 2006, 2008		SO ₄ 960 mg/l 2006 SO ₄ 1100 mg/l 2008 Fe 2700 $\mu\text{g}/\text{l}$ 2006
PB133	82,08	5,0	pH 7 2008 EC 810 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 2008 As 5,0 $\mu\text{g}/\text{l}$ 2006 As BD 2008 Cd BD 2006, 2008 Cu BD 2006, 2008 Ni BD 2006, 2008 Pb BD 2006, 2008 Zn BD 2006, 2008 Minerale olie BD 2006, 2008		Fe BD 2006 Fe BD 2008 SO ₄ 20 mg/l 2006 SO ₄ 84 mg/l 2008
	76,58	10,5	pH 7 2008 EC 740 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 2008 As BD 2006 As 7,4 $\mu\text{g}/\text{l}$ 2008		Fe 230 $\mu\text{g}/\text{l}$ 2006 Fe 190 $\mu\text{g}/\text{l}$ 2008 SO ₄ 90 mg/l 2006 SO ₄ 87 mg/l 2008

				Cd BD 2006, 2008 Cu BD 2006, 2008 Ni BD 2006, 2008 Pb BD 2006, 2008 Zn BD 2006, 2008 Minerale olie BD 2008		
	PB123	70,80	6.5	As BD 2008 Cd BD 2008 Cu BD 2008 Ni BD 2008 Pb BD 2008 Zn 110 µg/l 2008 Minerale olie BD 2008 pH 7 2008 EC 480 µS/cm 2008		SO ₄ 37 mg/l 2008 Fe 13000 mg/l 2008
Pad Zuid-West	PB147		20	As BD 2006, 2008, 2009 Cd BD 2006, 2008, 2009 Cr BD 2006, 2008, 2009 Cu BD 2006, 2008, 2009 Hg BD 2006, 2008, 2009 Ni BD 2006, 2008, 2009 Pb BD 2006, 2008, 2009 Zn 58 mg/l 2006 Zn 100 mg/l 2008 Zn BD 2009 Minerale olie BD 2006, 2008, 2009 Naftaleen BD 2006, 2008, 2009 pH 6,6 2009		
			26,5	As 11,4 µg/l 2006 As BD 2008, 2009 Cd BD 2006, 2008, 2009 Cr BD 2006, 2008, 2009 Cu BD 2006, 2008 Cu 47 mg/l 2009 Hg BD 2006, 2008, 2009 Ni BD 2006, 2008, 2009		

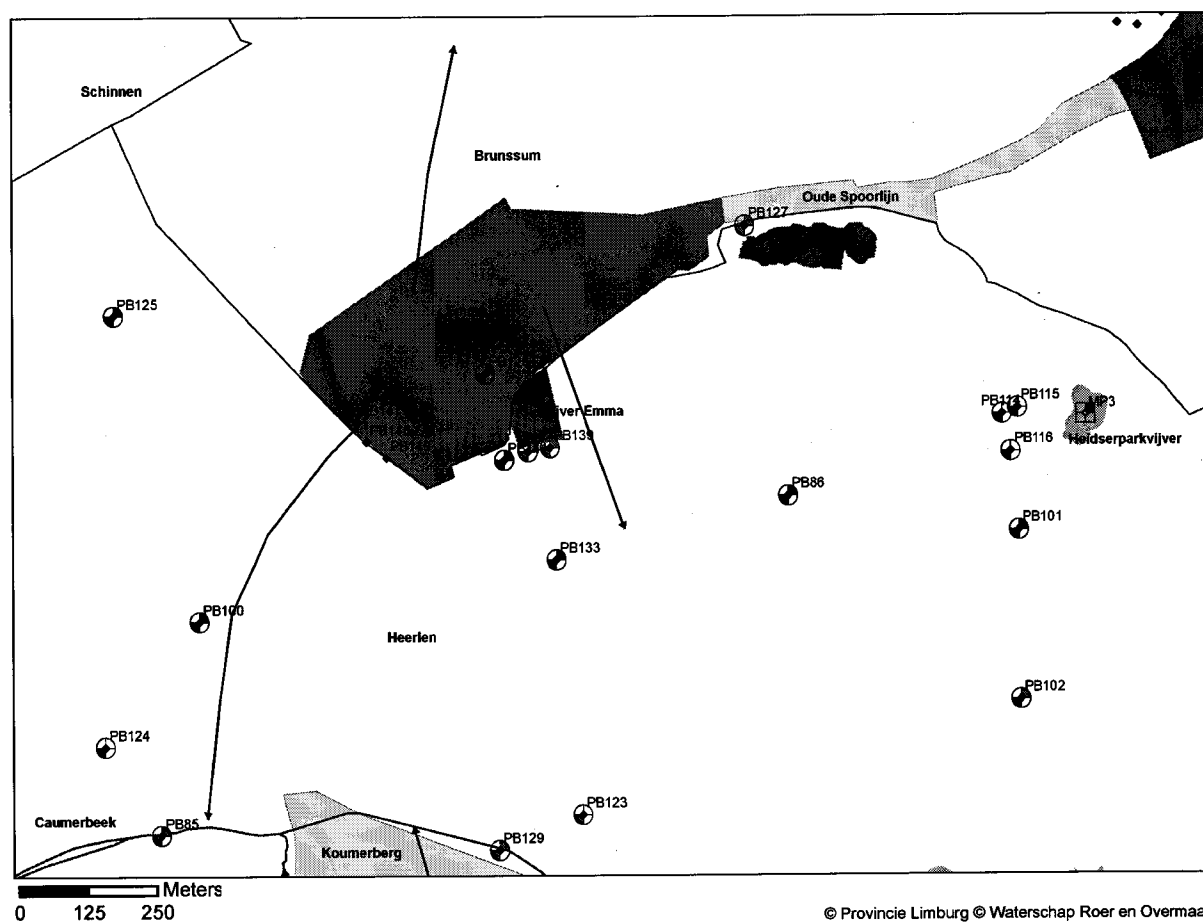
		26,5	As 11,4 µg/l 2006 As BD 2008, 2009 Cd BD 2006, 2008, 2009 Cr BD 2006, 2008, 2009 Cu BD 2006, 2008 Cu 47 mg/l 2009 Hg BD 2006, 2008, 2009 Ni BD 2006, 2008, 2009 Pb BD 2006, 2008, 2009 Zn 66 mg/l 2006 Zn 217 mg/l 2008 Zn BD 2009 Minerale olie BD 2006, 2008, 2009 Naftaleen BD 2006, 2009 Naftaleen 0,10µg/l 2008 pH 6,7 2009	
--	--	------	--	--

PB148		19	As BD 2006, 2008, 2009 Cd BD 2006, 2008, 2009 Cr BD 2006, 2008, 2009 Cu BD 2006, 2008, 2009 Hg BD 2006, 2008, 2009 Ni BD 2006, 2008, 2009 Pb BD 2006, 2008, 2009 Zn BD 2006, 2009 Zn 84 µg/l 2008 Minerale olie BD 2006, 2008, 2009 Naftaleen BD 2006, 2008, 2009 pH 6,9 2009		
		26,5	As BD 2006, 2009 As 6,7 µg/l 2008 Cd BD 2006, 2008, 2009 Cr BD 2006, 2008, 2009 Cu BD 2006, 2008, 2009 Hg BD 2006, 2008, 2009 Ni BD 2006, 2008, 2009 Pb BD 2006, 2008, 2009 Zn BD 2006 Zn 90 µg/l 2008 Zn 130 µg/l 2009 Minerale olie BD 2006, 2008, 2009 Naftaleen BD 2006, 2008, 2009 B(a)p 0,05 µg/l 2008 pH 6,4 2009		

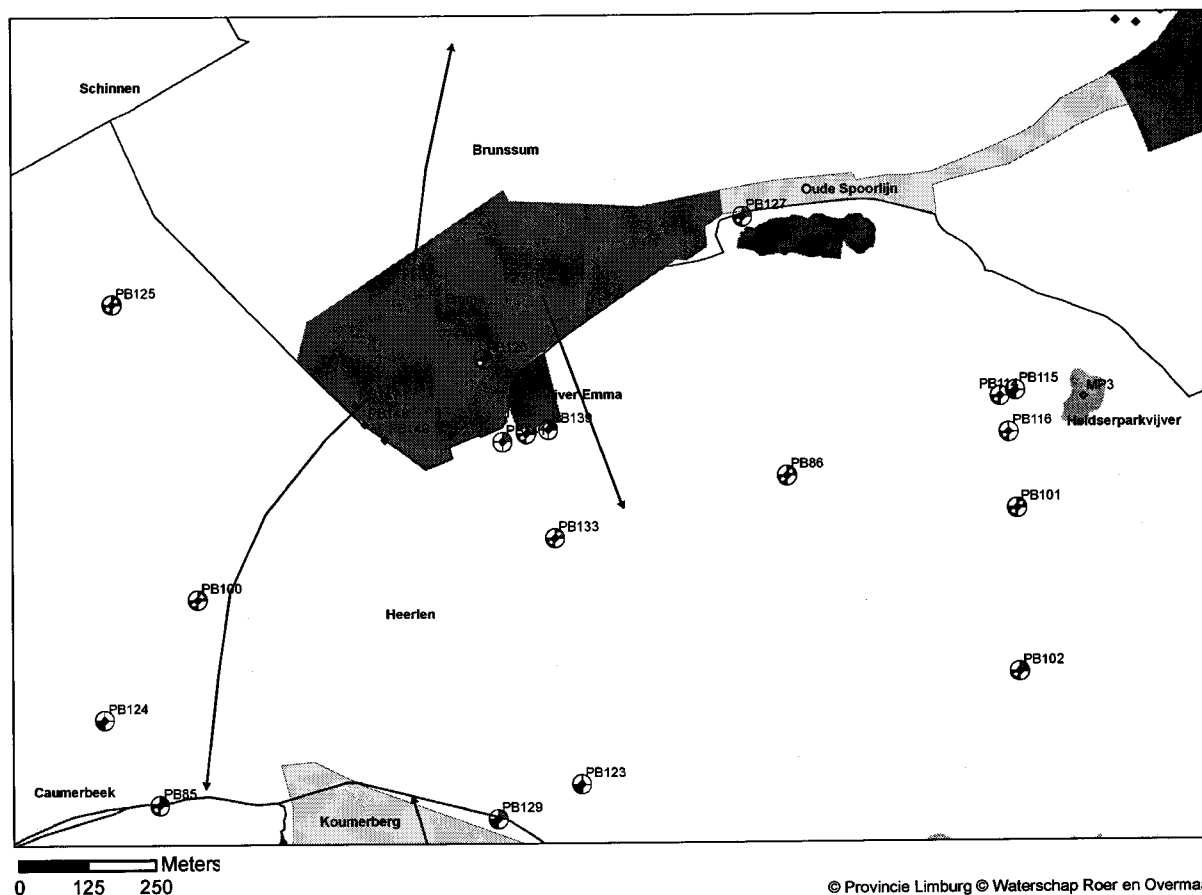
	PB149		20	As BD 2006, 2008, 2009 Cd BD 2006, 2008, 2009 Cr BD 2006, 2008, 2009 Cu BD 2006, 2008, 2009 Hg BD 2006, 2008, 2009 Ni BD 2006, 2008, 2009 Pb BD 2006, 2008, 2009 Zn 21 µg/l 2006 Zn 73 µg/l 2008 Zn BD 2009 Minerale olie BD 2006, 2008, 2009 Naftaleen BD 2006, 2008, 2009 pH 6,9 2009		
			23.5	As 16 µg/l 2006 As 6,5 µg/l 2008 As BD 2009 Cd BD 2006, 2008, 2009 Cr BD 2006, 2008, 2009 Cu BD 2006, 2008, 2009 Hg BD 2006, 2008, 2009 Ni BD 2006, 2008, 2009 Pb BD 2006, 2008, 2009 Zn BD 2006, 2009 Zn 180 µg/l 2008 Minerale olie BD 2006, 2008, 2009 Naftaleen BD 2006, 2008, 2009 pH 6,1 2009		
	PB100	73,91	5	As BD 2006, 2008 Cd BD 2006, 2008 Cu BD 2006, 2008 Ni BD 2006, 2008 Pb BD 2006, 2008		SO ₄ 100 mg/l 2006 SO ₄ 120 mg/l 2008 Fe BD 2006, 2008

	PB100	73,91	5	As BD 2006, 2008 Cd BD 2006, 2008 Cu BD 2006, 2008 Ni BD 2006, 2008 Pb BD 2006, 2008 Zn BD 2006 Zn 130 µg/l 2008 Minerale olie BD 2008 pH 6,9 2008 EC 650 µS/cm 2008		SO ₄ 100 mg/l 2006 SO ₄ 120 mg/l 2008 Fe BD 2006, 2008
	PB124	69,86	2,5	As 19,00 µg/l 2008 Cd BD 2008 Cu BD 2008 Zn BD 2008 Minerale olie BD 2008 EC 530 µS/cm 2008 pH 7,3 2008		SO ₄ 29 mg/l 2008 Fe 6600 µg/l 2008
Object						
Overig gebied	PB86	81,42	2,5	As BD 2006, 2008 Cd BD 2006, 2008 Cu BD 2006, 2008 Ni BD 2006, 2008 PB BD 2006, 2008 Zn BD 2006 Zn 32 µg/l 2008 Minerale olie BD 2008 pH 6,5 2008 EC 290 µS/cm 2008		SO ₄ 28 mg/l 2006 SO ₄ 26 mg/l 2008 Fe BD 2006, 2008
	PB125	100,6	2,5	As BD 2008 Cd BD 2008 Cu BD 2008 Ni BD 2008 PB BD 2008 Zn 34 µg/l 2008 Minerale olie BD 2008 pH 7,2 2008 EC 950 µS/cm 2008		SO ₄ 40 mg/l 2008 Fe BD 2008
		84,6	18,5	As BD 2006 Cd BD 2006		SO ₄ 43 mg/l 2006 Fe BD 2006

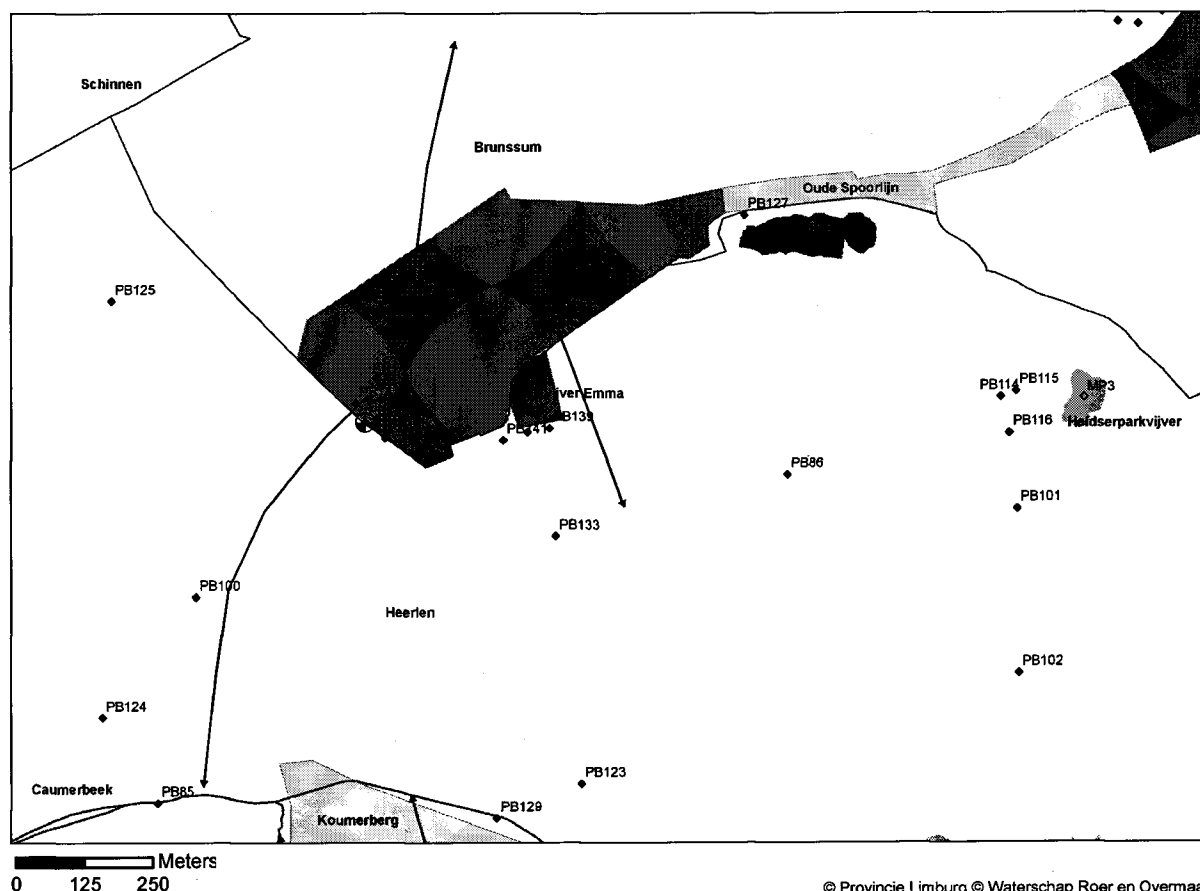
				Cu BD 2006		
				Ni BD 2006		
				PB BD 2006		
				Zn BD 2006		



Figuur 7.9. Overschrijdingen drinkwaternorm sulfaat (oranje en rood).



Figuur 7.10. Overschrijdingen drinkwaternorm ijzer (oranje en rood).



Figuur .7.11. Overschrijding interventiewaarde benzo(a)pyreen (rood).

7.3.2. Conceptueel model

Bron

De bron van de stoffen in dit geval is de mijnsteen die aanwezig is op het Emmaterrein.

Pad

Het gebied vormt een hoogte in het landschap, waardoor er geen grondwater uit de omgeving naar het gebied stroomt. Hemelwater is daarom de enige voeding voor het grondwater in de mijnsteen. Hemelwater infiltreert in de mijnsteen en stroomt naar het grondwater en vervolgens, ondergronds, naar oppervlaktewaterlichamen in de omgeving.

Tabel 7.6. Schematische weergave van bodemopbouw in omgeving van het Emmaterrein:

Diepte (meters t.o.v. NAP)		Lithologie	Formatie	Geohydrologie
van	tot			
100	93	Geel grijs zand zwak grindig	Boxtel	mdl1b
93	90	Zand	Beegden	wvp1a
90	75	Groen grijs zand, zwak grindig	Breda – Ville Breda Z2	wvp1b
75	70	Bruinkool	Breda – Ville Bruinkool 1	sdl1a
70	25	Zand	Breda – Ville Breda Z3	wvp1b
25	20	Bruinkool	Breda – Ville Bruinkool 2	sdl1b
20	-20	Zand	Breda – Ville Breda Z4	wvp1c
-20	-50	Zand	Rupel – Rupel Z2	sdl2
-50	-90	Klei	Rupel – Rupel K2	sdl2

Onder de mijnsteen ligt, op een diepte van 75 m+NAP, een slecht doorlatende laag. Grondwater beneden deze laag zal daarom niet worden beïnvloed door de mijnsteen.

Grondwater stroomt vanuit de mijnsteen naar de omgeving. Uit de aanwezige informatie wordt opgemaakt dat de grondwaterstromingsrichting ter plaatse van het Emmaterrein semi-radiaal is. Vanuit de mijnsteen stroomt het grondwater naar het noorden, zuiden en westen. Voor de interpretatie zijn drie paden onderscheiden:

1. **Pad Zuid-Oost**
2. **Pad Zuid-West**
3. **Pad Noord**

Voor het noordelijk pad zijn geen gegevens beschikbaar van de grondwaterkwaliteit, deze wordt daarom niet meer besproken.

Object

Object is de Caumerbeek, het oppervlaktewater in de omgeving.

7.3.3. Interpretatie beïnvloeding grond- en oppervlaktewater

Omdat de grondwaterstroming semi-radiaal wordt verondersteld zal ook de verplaatsing van de verontreinigingen radiaal zijn. Zoals besproken zijn er twee paden gekozen waarlangs de kwaliteitsgegevens van het grondwater worden geïnterpreteerd. Namelijk pad Zuid-Oost en pad Zuid-West.

Bron

De analyseresultaten van grondwater in de bron geven aan dat het grondwater hier wordt beïnvloed door mijnsteen. In het water worden hoge sulfaatconcentraties aangetroffen (700 mg/l en 1500 mg/l). Ook is er een hoge ijzerconcentratie gemeten (11000 µg/l) en worden arseen en zink aangetroffen in het grondwater. De pH van het water is 6,9.

Bovenstaande grondwaterkwaliteit is het resultaat van het oxideren van pyriet. Bij deze oxidatie komen sulfaat, ijzer, zware metalen en protonen in oplossing. De pH van het water is neutraal wat aangeeft dat het water is gebufferd. Deze buffering vindt waarschijnlijk plaats door de aanwezigheid van calciëet. De hoge ijzerconcentratie in het water geeft aan dat het milieu reducerend is, hierdoor kunnen ook andere zware metalen die vrijkomen bij de oxidatie van pyriet in oplossing blijven.

Paden

Zuid-Oost

De analyseresultaten voor pad zuidoost zijn weergegeven in tabel 7.5. De peilbuizen die langs de stroombaan liggen zijn:

- Het groepje PB140, PB141, PB139;
- PB 133;
- PB 123.

In enkele van de grondwatermonsters worden de metalen arseen en zink aangetroffen. Omdat beide metalen niet voor alle onderzoeken zijn geanalyseerd kan geen trend worden vastgesteld. Ook worden sulfaat en ijzer in de monsters aangetroffen.

De waterkwaliteit die wordt aangetroffen in de bovenstaande peilbuizen, behalve PB123, is het gevolg van grondwater dat uit de mijnsteen naar de omgeving stroomt. De sulfaatconcentratie in deze peilbuizen is lager dan de sulfaatconcentratie in het Emmaterrein. De verlaging kan het gevolg zijn van verdunning en/of reduceren van ijzer en sulfaat tot pyriet. De reductie tot pyriet kan plaatsvinden omdat er op deze locatie nog steeds een reducerend milieu heerst. Dit wordt afgeleid uit het gegeven dat er ijzer in oplossing aanwezig is.

PB123 ligt langs een stroombaan die uit een gebied komt waar geen mijnsteen ligt. Het grondwater uit peilbuis PB123 heeft een lage sulfaatconcentratie (37 mg/l) en een EC van 480 µS/cm. De ijzerconcentratie in PB123 is wel hoog, namelijk 13.000 µg/l. Hieruit kan worden opgemaakt dat hier een anaeroob milieu heerst.

Zuid-West

De analyseresultaten voor pad zuidwest zijn weergegeven in tabel 7.5. De peilbuizen die langs de stroombaan liggen zijn:

- Het groepje PB147, PB148, PB149;
- PB100;
- PB124.

In het grondwater bij het groepje peilbuizen PB147, PB148 en PB149 heerst een pH die varieert tussen 6,1 en 6,9. Zink wordt in alle grondwatermonsters aangetroffen met een maximum waarde van 217 µg/l, arseen wordt in drie peilbuizen aangetroffen met een maximale concentratie van 16 µg/l en koper wordt in één peilbuis (PB147) aangetroffen met een concentratie van 47 µg/l.

Sulfaat en ijzer zijn niet geanalyseerd wat het trekken van conclusies bemoeilijkt. Toch zijn er in het grondwater wel zware metalen aangetroffen. Met name arseen geeft aan dat dit water wordt beïnvloed door mijnsteen.

Op afstand van het Emmaterrein liggen de peilbuizen PB100 en PB124. In PB100 worden licht verhoogde sulfaatconcentraties aangetroffen (100 – 120 mg/l) en wordt ook zink aangetroffen (130 µg/l). In het water is geen ijzer opgelost. De EC waarde is 650 µS/cm. De afwezigheid van ijzer geeft aan dat hier een aerob milieu heerst. Dit water wordt waarschijnlijk niet beïnvloed door mijnsteen.

De zinkconcentratie van 130 µg/l in PB100 wordt ook aangetroffen in PB147, PB148 en PB149.

In peilbuis PB124 wordt arseen en ijzer aangetroffen. De aanwezigheid van arseen wijst op invloed van mijnsteen. De hoge ijzerconcentratie van 6600 µg/l geeft aan dat hier een anaerob milieu heerst. In een dergelijk milieu kan reductie optreden van ijzer en sulfaat tot pyriet, wat de lage sulfaatconcentratie kan verklaren. Deze peilbuis ligt in een laagte in het gebied. Vroeger werd het proceswater van de mijn naar deze laagte geleid [bron: gemeente Heerlen]. Dit kan verklaren waarom hier hoge gehalten arseen en ijzer gemeten zijn. Het grondwater in deze peilbuis wordt waarschijnlijk niet beïnvloed door het mijnsteengebied, gelet ook op de meetresultaten van PB100.

Naast deze stroombanen staan peilbuizen PB86 en PB125 in de nabijheid van de mijnsteen maar niet langs een stroombaan. De EC van het grondwater in peilbuis PB86 is 290 µS/cm en de sulfaatconcentratie is 26 tot 28 mg/l. Arseen is niet aangetroffen in dit grondwater. Hieruit wordt afgeleid dat dit water niet wordt beïnvloed door mijnsteen. In het water wordt wel zink gemeten.

De EC in peilbuis PB125 is 950 uS/cm, de sulfaatconcentratie is 40 mg/l en ook hier is arseen beneden de detectiewaarde aangetroffen. In het grondwater in deze put wordt wel zink aangetroffen 34 µg/l. Bij de analyse van de metaalconcentraties in het grondwater wordt opgemerkt dat zink in bijna alle monsters in meer of mindere mate wordt aangetroffen. Hieruit wordt geconcludeerd dat zink ook in het water voor kan komen als het grondwater niet wordt beïnvloed door mijnsteen.

Het is niet duidelijk of de verhoogde concentratie benzo(a)pyreen gemeten in PB148 in 2008 afkomstig is van het mijnsteengebied. Daarvoor zijn te weinig metingen verricht. Daarnaast is benzo(a)pyreen een additionele verontreiniging en wordt daarom in dit verband buiten beschouwing gelaten.

Object

De Caumerbeek is het object. Er zijn geen gegevens beschikbaar voor het oppervlaktewater. De gemeten concentraties in PB100 en PB123 tonen aan dat het grondwater in deze peilbuizen waarschijnlijk niet beïnvloed wordt door mijnsteen. Hierdoor kan men verwachten dat de Caumerbeek ook niet beïnvloed wordt door dit mijnsteengebied.

7.3.4. Conclusie

Uit de analyse van de beschikbare data kan het volgende worden geconcludeerd:

- De grondwaterkwaliteit in de directe omgeving is beïnvloed door de mijnsteen die aanwezig is ter plaatse van het voormalig Emmaterrein en slikvijver Emma;
- In de periode 2006-2009 zijn in het grondwater ten opzichte van de drinkwaternorm verhoogde gehalten sulfaat en ijzer gemeten;
- Zink is in veel van de beschikbare grondwatermonsters aangetroffen. Zink lijkt niet in alle gevallen gerelateerd aan mijnsteen;
- Gezien de ligging van de peilbuizen en de filters is de verontreiniging in horizontale richting ten zuiden en ten westen van het Emmaterrein redelijk goed in beeld gebracht;
- Het gebrek aan peilbuizen ten noorden en oosten van het Emmaterrein zorgt ervoor dat de beïnvloeding van mijnsteen in die richtingen niet goed in beeld is gebracht;
- Voor de periode 2006-2009 zijn geen meetgegevens beschikbaar van de Caumerbeek. Omdat geen invloed van mijnsteen in PB100 en PB123 is gemeten, is de invloed van dit mijnsteengebied op de Caumerbeek niet waarschijnlijk;
- De bovenste bodemlagen worden als watervoerend pakket aangeduid. De eerste slecht doorlatende laag bevindt zich op een diepte van 75 m+NAP. Verwacht wordt dat de beïnvloeding niet verder reikt dan de 25 meter dikke bodemlaag boven deze slecht doorlatende laag.

7.4. Beaujean

Op dit terrein in de gemeente Heerlen bevindt zich de zilverzandgroeve "Beaujean", van Zilverzand Exploitatie Beaujean BV. Hier wordt momenteel mioceenzand ontgonnen. De winning vindt plaats in het zuidelijke deel van het terrein, in de in de groeve aanwezige centrale plas. Het noordelijk gedeelte, ter grootte van circa 8 ha, is inmiddels ontgrond en in gebruik als depot voor mijnsteen. Deze mijnsteen is afkomstig van de steenberg van de Oranje Nassau I. De mijnsteen is afgedekt met grond [Provincie Limburg, 2011].

Het mijnsteengebied is nagenoeg niet afgedekt met bebouwing of wegen. Het is niet bekend of de mijnsteen nabij of in het grondwater ligt, vermoedelijk is dit niet het geval [bron: gemeente Heerlen]. Het grondwater stroomt naar alle waarschijnlijkheid in noordwestelijke richting.

7.4.1. Analyseresultaten

Verdeling meetlocaties

Er bevindt zich een beperkt aantal peilbuizen en meetpunten in en rondom dit mijnsteengebied. Er ligt één peilbuis in de bron (PB104) en één in het pad (PB122). Daarnaast liggen er drie meetpunten in het overig gebied, in de omringende plassen.

Eén meetpunt in het overig gebied is niet bemonsterd in de periode 2006 – 2009. De overige twee meetpunten (MP4 + MP16) zijn in 2006 bemonsterd, evenals PB104 en PB122. PB104 is ook in 2008 bemonsterd.

De filter van peilbuis 122 ligt op een diepte van 6,5 meter beneden maaiveld (86,93 m +NAP) en die van peilbuis 104 ligt 13,5 meter beneden maaiveld (86,79 m+NAP).

Overschrijdingen

In het grondwater zijn op een tweetal meetlocaties overschrijdingen van de drinkwaternorm aangetroffen, namelijk voor de stoffen sulfaat en ijzer.

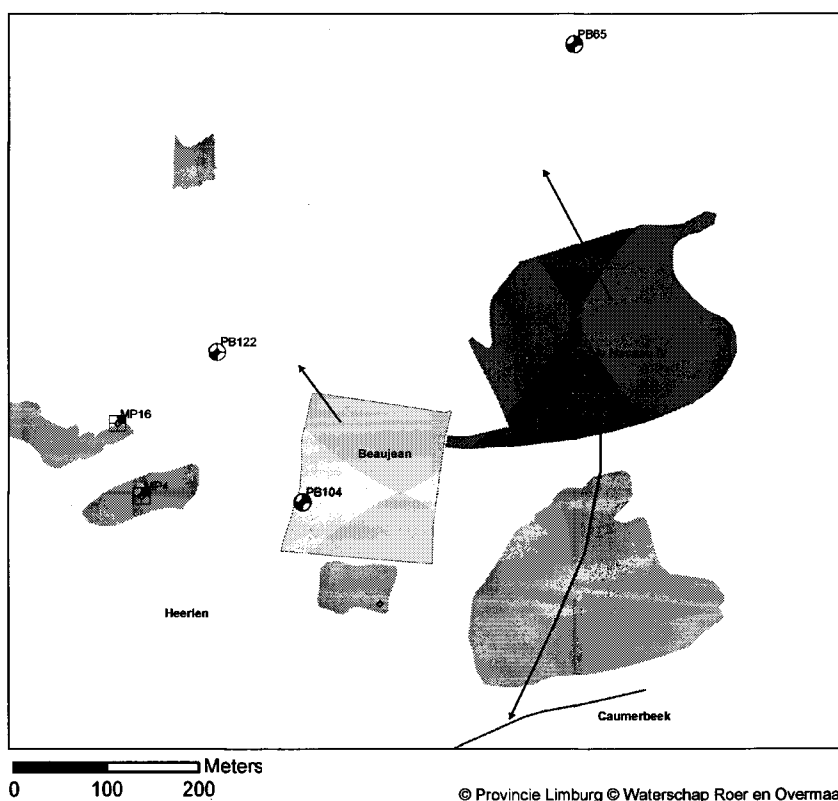
In onderstaande tabel 7.7 zijn de relevante meetwaarden opgenomen.

In de figuren 7.12. en 7.13. zijn de meetlocaties weergegeven met de overschrijdingen van respectievelijk de drinkwaternorm voor sulfaat en de drinkwaternorm voor ijzer.

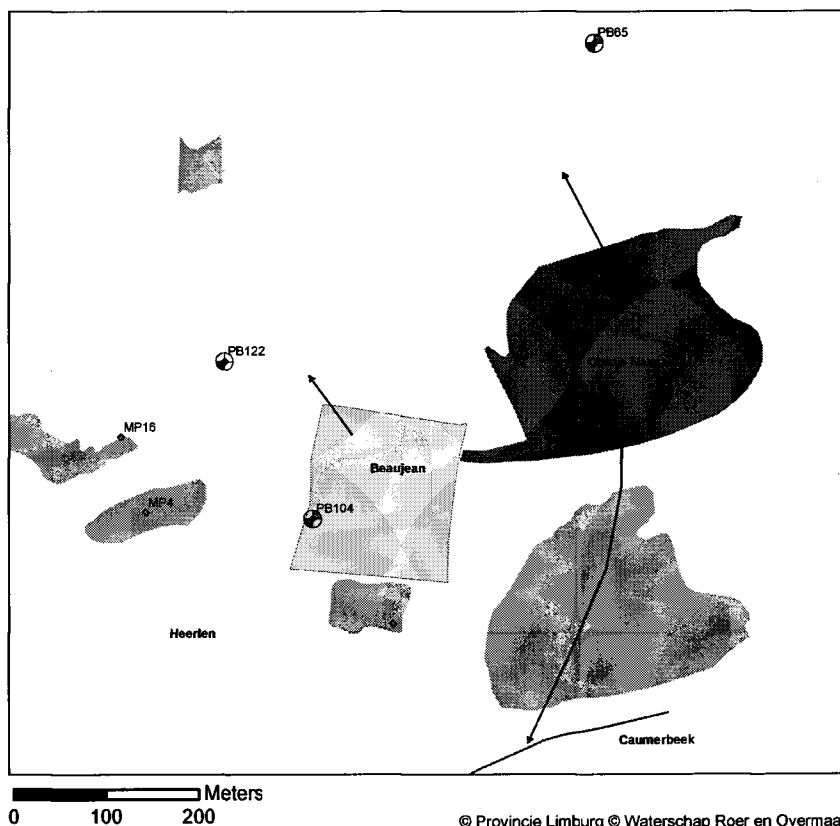
Tabel 7.7. Samenvatting van analyse gegevens van grond- en oppervlaktewater in de nabijheid van Beaujean:

				Relevante meetwaarden (incl. jaar van meting)		
	PB/MP	Diepte m+NAP	Diepte m-mv	Circulaire bodemsanering	NW4	Drinkwaternorm
Bron	PB104	86,79	13,5	pH 6,9 2008 EC 1200 µS/cm 2008 As BD 2006, 2008 Cd BD 2006, 2008 Cu BD 2006, 2008 Ni BD 2006, 2008 Pb BD 2006, 2008 Zn BD 2006 Zn 160 µg/l 2008 Minerale olie BD 2008		SO ₄ 1300 mg/l 2006 SO ₄ 64 mg/l 2008 Fe 240 µg/l 2006 Fe 63 µg/l 2008
Pad	PB122	86,93	6,5	pH 6,5 2008 EC 640 µS/cm 2008 As BD 2008 Cd BD 2008 Cu BD 2008 Ni BD 2008 Pb BD 2008 Zn BD 2008 Minerale olie BD 2008		Fe 28000 µg/l 2008 SO ₄ 59 mg/l 2008

Object						
Overig gebied	MP4				Al BD 2006 Cd 0,02 µg/l 2006 Cr 1,98 µg/l 2006 Cu 0,41 µg/l 2006 Ni 0,59 µg/l 2006 Pb BD 2006 Zn 2,56 µg/l 2006	SO ₄ 62,75 mg/l 2006
	MP16				SO ₄ 38 mg/l 2006	



Figuur 7.12. Overschrijdingen drinkwaternorm sulfaat (rood).



Figuur 7.13. Overschrijdingen drinkwaternorm ijzer (oranje en rood).

7.4.2. Conceptueel model

Bron

De bron van de stoffen in dit geval is de mijnsteen die aanwezig is op het terrein van Beaujean.

Pad

Uit de geologische analyse blijkt dat onder het gebied de formaties van Breda aanwezig is. Dit vormt een watervoerend pakket met daarin enkele slecht doorlatende lagen. Op 25 m+NAP bevindt zich de slecht doorlatende basis (Tabel 7.8.).

Tabel 7.8. Schematische weergave van bodemopbouw in omgeving van Beaujean:

Diepte (meters t.o.v. NAP)		Formatie	Geohydrologie
van	tot		
110	105	Boxtel-Boxtel Schimmert k1	mdl1b
105	90	Breda-Ville Breda z2	wvp1a
90	80	Breda-Ville bruinkool 1	sdl1a
80	50	Breda-Ville Breda z3	wvp1b
50	45	Breda-Ville bruinkool 2	sdl1b
45	25	Breda-Ville Breda z4	wvp1c
25	-30	Rupel-Rupel z2	sdl2
-30	-40	Rupel- Rupel k2	sdl2
-40	-60	Rupel-Rupel z3	sdl2
-60	-75	Tongeren-Tongeren Goudsberg k1	sdl2
-75	-110	Tongeren-Tongeren z2	sdl2

Onder de mijnsteen ligt, op een diepte van 90 m+NAP, een slecht doorlatende laag van de Formatie van Breda. Grondwater beneden deze laag zal daarom waarschijnlijk niet worden beïnvloed door de mijnsteen.

Object

De grondwaterstroming in dit gebied komt niet uit in een nabijgelegen oppervlaktewater.

7.4.3. Interpretatie beïnvloeding grond- en oppervlaktewater

Bron

De verhoogde concentratie sulfaat die in 2006 in de bron (PB104) gemeten is, is waarschijnlijk afkomstig van de aanwezige mijnsteen. De eenmalige verhoging, in 2008 werd geen verhoging van sulfaat meer gemeten, kan gerelateerd zijn aan het grondverzet dat in 2006 hier heeft plaatsgevonden [bron: gemeente Heerlen].

PB104 staat in de bron, omdat er maar één peilbuis is kan er niet vanuit worden gegaan dat deze peilbuis een juiste weergave is van de grondwaterkwaliteit in de bron.

Pad

De overschrijding van de drinkwaternorm van ijzer in peilbuis 122, kan gerelateerd zijn aan de mijnsteen. De verhoging in 2006 in PB122 is wellicht ook het gevolg van het grondverzet dat toen plaatsgevonden heeft. De aanwezigheid van ijzer in oplossing geeft aan dat hier een anaeroob milieu heerst.

Object

Geen object aanwezig.

7.4.4. Conclusie

Uit de analyse van de beschikbare data kan het volgende worden geconcludeerd:

- De grondwaterkwaliteit is waarschijnlijk beïnvloed door de mijnsteen die aanwezig is ter plaatse van Beaujean;
- In de periode 2006-2009 zijn in het grondwater ten opzichte van de drinkwaternorm verhoogde gehalten sulfaat en ijzer gemeten;
- De omvang van het beïnvloedingsgebied kan aan de hand van de beschikbare gegevens niet bepaald worden. Wel kan worden geconcludeerd dat de verticale beïnvloeding beperkt is tot 90 m+NAP door de slecht doorlatende bruinkoollagen in de formatie van Breda. Het watervoerend pakket dat beïnvloed kan worden is ongeveer 20 meter dik.

7.5. Voormalig Oranje Nassau I terrein

Het mijnsterrein van de voormalige mijn Oranje Nassau I (ON I) ligt in de gemeente Heerlen. De ON I was de oudste en op een na grootste van de in totaal vier Oranje Nassau-mijnen. Op dit terrein van de mijn waren naast de mijngebouwen ook diverse wasserijen en een grote elektrische centrale gevestigd. In eerste instantie werd op dit terrein mijnsteen gestort op een steenberg. Midden in dit mijnsteengebied hebben slikvijvers gelegen. In 1974 is de ON I mijn gesloten. In het kader van de saneringsoperatie van de mijnsterreinen is in 1978 begonnen met het volledig afgraven van de steenberg van de ON I. Een groot gedeelte van het materiaal is gebruikt om het terrein op te hogen. Over het hele gebied is hierdoor mijnsteen aanwezig. Daarnaast werden hier vliegas en sintels gestort. De ondergrond van dit mijnsterrein is leemhoudend materiaal [PBI (deelrapport B), 1985].

Op het voormalig mijnsterrein heeft inmiddels woningbouw plaatsgevonden, de wijk "Zeswegen" is hier gerealiseerd. Er vinden hier ruimtelijke ontwikkelingen plaats, met name de nieuwbouw van het CBS-gebouw aan de zuid-oostzijde.

De noordwestzijde van het mijnsteengebied is ongeveer voor 60% afgedekt met bebouwing en verharding, terwijl de zuidoostzijde maar voor 20% verhard is [bron: gemeente Heerlen].

De mijnsteen op dit terrein bevindt zich nagenoeg aan het grondwaterpeil, zeker bij peilfluctuaties; de onderkant van het mijnsteenpakket ligt op circa 93 meter boven NAP en het grondwater ligt hier op circa 92 meter boven NAP [bron: gemeente Heerlen].

Het grondwater stroomt vanuit het mijnsteengebied in noordelijke richting naar de Caumerbeek en in zuidwestelijke richting naar de Geleenbeek.

7.5.1. Analyseresultaten

Verdeling meetlocaties

In het mijnsteengebied, de bron, liggen drie peilbuizen (PB81, PB142 en PB143). Vanuit de mijnsteen stroomt het grondwater naar het noordwesten, het noord-noordwesten, en het zuidwesten.

Eén peilbuis ligt in het pad noord-noordwesten richting de Caumerbeek (PB87), in het pad naar het noordwesten liggen de peilbuizen PB80, PB144, PB145 en PB146. Het pad naar het zuidwesten ligt de peilbuis PB 95. Er liggen zes peilbuizen in het overig gebied (PB58, PB117 t/m PB119 en PB10). Er zijn geen meetpunten in de objecten, de Caumerbeek en de Geleenbeek.

PB81, PB80, PB87 en PB142 t/m PB146 zijn allemaal bemonsterd in 2006 en 2008. De peilbuizen 117 t/m 119 zijn alleen in 2008 bemonsterd en peilbuis 58 is alleen in 2006 bemonsterd. Peilbuis 10 is in 2008 en 2009 bemonsterd.

De diepte van de filters van de peilbuizen staan in tabel 7.9.

Overschrijdingen

In een aantal peilbuizen is een overschrijding van de drinkwaternorm voor sulfaat en/of ijzer gemeten. In één peilbuis is een interventiewaarde overschrijding gemeten voor koper. In navolgende tabel 7.9. staan de relevante meetwaarden. In de figuren 7.14., 7.15. en 7.16. staan de meetlocaties met de overschrijdingen van respectievelijk de drinkwaternorm voor sulfaat, de drinkwaternorm voor ijzer en de interventiewaarde voor koper.

Tabel 7.9. Samenvatting van analyse gegevens van grond- en oppervlaktewater in de nabijheid van het voormalige Oranje Nassau I terrein:

				Relevante meetwaarden (incl. jaar van meting)		
	PB/MP	Diepte m+NAP	Diepte m-mv	Circulaire bodemsanering	NW4	Drinkwaternor m
Bron	PB81	93,08	15,5	As BD 2006 As 7,4 µg/l 2008 Cd BD 2006, 2008 Cu BD 2006, 2008 Ni BD 2006, 2008 Pb BD 2006, 2008 Zn BD 2006 Zn 93 µg/l 2008 Minerale olie BD 2008 pH 7,3 2008 EC 1200 µS/cm 2008		SO ₄ 160 mg/l 2006 SO ₄ 200 mg/l 2008 Fe BD 2006 Fe 52 µg/l 2008

PB142	92,28	15	Cu 340 µg/l 2006 Cu BD 2008 As BD 2006 As 11 µg/l 2008 Cd 1,10 µg/l 2006 Cd 0,7 2008 Zn 220 µg/l 2006 Zn 200 µg/l 2008 Ni 12 µg/l 2006 Ni BD µg/l 2008 Pb BD 2006, 2008 Minerale olie BD 2008 pH 6,9 2008 EC 2600 µS/cm 2008		SO ₄ 1600 mg/l 2006 SO ₄ 1100 mg/l 2008 Fe BD 2006, 2008
	87,78	19,5	Cu BD 2006, 2008 As BD 2006 As 13 µg/l 2008 Cd BD 2006 Cd 0,44 µg/l 2008 Zn 78 µg/l 2006 Zn 150 µg/l 2008 Ni 12 µg/l 2006 Ni 12 µg/l 2008 Pb BD 2006, 2008 Minerale olie BD 2008 pH 6,8 2008 EC 3500 µS/cm 2008		SO ₄ 2000 mg/l 2006 SO ₄ 1900 mg/l 2008 Fe BD 2006 Fe 140 µg/l 2008
PB143	90,91	16,7	As BD 2006 As 18 µg/l 2008 Cd 0,9 µg/l 2006 Cd 0,6 µg/l 2008 Cu BD 2006, 2008 Ni 37 µg/l 2006 Ni BD 2008 Pb BD 2006, 2008 Zn 190 µg/l 2006 Zn 210 µg/l 2008 Minerale olie BD 2008 pH 6,7 2008 EC 3700 µS/cm 2008		SO ₄ 1400 mg/l 2006 SO ₄ 1900 mg/l 2008 Fe BD 2006, 2008

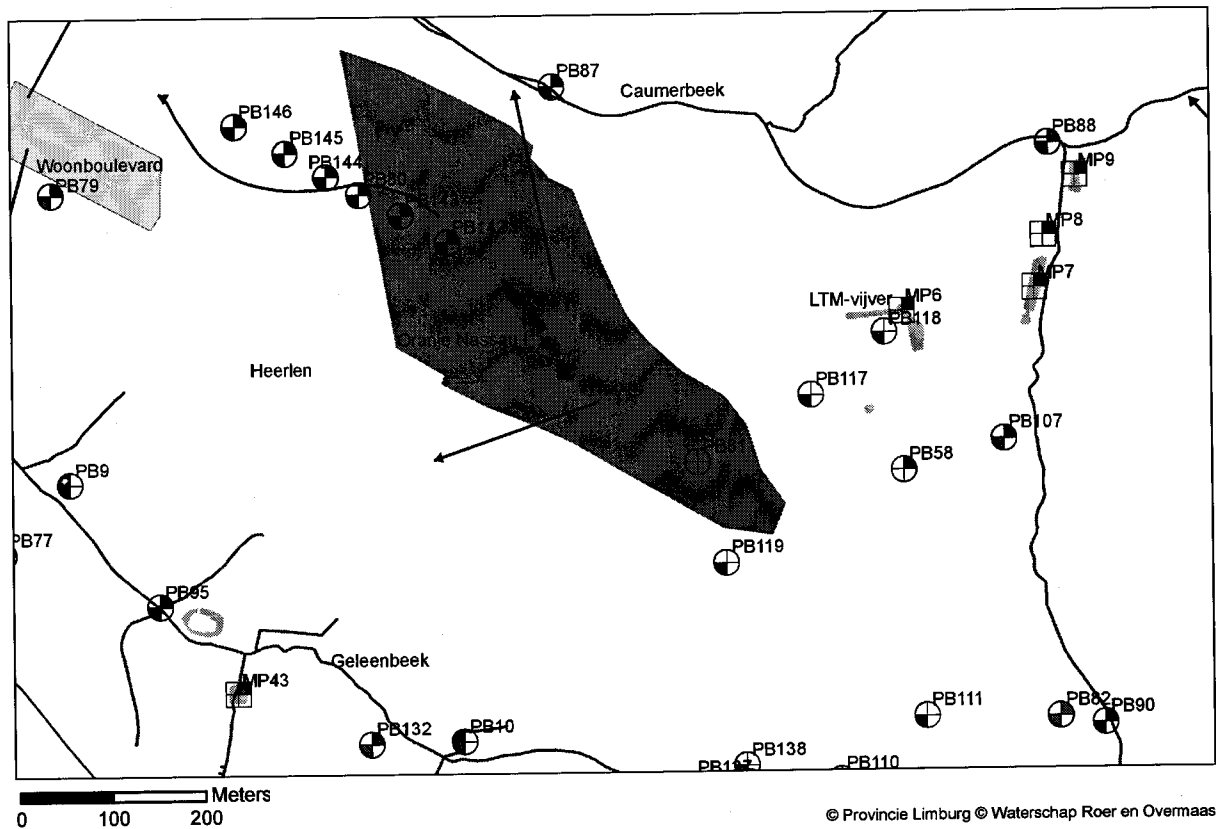
		87,11	20,5	As BD 2006, 2008 Cd BD 2006 Cd 0,41 µg/l 2008 Cu BD 2006, 2008 Ni BD 2006, 2008 Pb BD 2006, 2008 Zn 55 µg/l 2006 Zn 43 µg/l 2008 Minerale olie BD 2008 pH 6,8 2008 EC 1200 µS/cm 2008		SO ₄ 1800 mg/l 2006 SO ₄ 330 mg/l 2008 Fe BD 2006, 2008
Pad noordwest	PB80	86,98	10,5	As BD 2006 As 20 µg/l 2008 Cd BD 2006 Cd 0,56 µg/l 2008 Cu 930 2006 Cu BD 2008 Ni BD 2006, 2008 Pb BD 2006, 2008 Zn 180 µg/l 2006 Zn 33 µg/l 2008 Minerale olie BD 2008 pH 6,9 2008 EC 3400 µS/cm 2008		SO ₄ 1600 mg/l 2006 SO ₄ 1600 mg/l 2008 Fe BD 2006, 2008
	PB144	89,46	3,0	As BD 2006 As 13 µg/l 2008 Cd BD 2006, 2008 Cu BD 2006, 2008 Ni BD 2006, 2008 PB BD 2006, 2008 Zn BD 2006 Zn 30 µg/l 2008 Minerale olie BD 2008 pH 7,1 2008 EC 1800 µS/cm 2008		SO ₄ 610 mg/l 2006 SO ₄ 550 mg/l 2008 Fe BD 2006 Fe 240 µg/l 2008

		86,26	6,2	As BD 2006 As 11 µg/l 2008 Cd BD 2006, 2008 Cu BD 2006, 2008 Ni BD 2006, 2008 Pb BD 2006, 2008 Zn BD 2006, 2008 Minerale olie BD 2008 pH 7,1 2008 EC 1700 µS/cm 2008		SO ₄ 610 mg/l 2006 SO ₄ 540 mg/l 2008 Fe BD 2006, 2008
	PB145	87,18	4	As BD 2006 As 7,5 µg/l 2008 Cd BD 2006, 2008 Cu BD 2006, 2008 Ni BD 2006, 2008 Pb BD 2006, 2008 Zn 26 µg/l 2006 Zn 90 µg/l 2008 Minerale olie BD 2008 pH 7,2 2008 EC 1200 µS/cm 2008		SO ₄ 120 mg/l 2006 SO ₄ 110 mg/l 2008 Fe BD 2006, 2008
		84,18	7	As BD 2006 As 5,2 µg/l 2008 Cd BD 2006, 2008 Cu BD 2006, 2008 Ni BD 2006, 2008 Pb BD 2006, 2008 Zn BD 2006 Zn 120 µg/l 2008 Minerale olie BD 2008 pH 7,2 2008 EC 1200 µS/cm 2008		SO ₄ 130 mg/l 2006 SO ₄ 120 mg/l 2008 Fe BD 2006, 2008

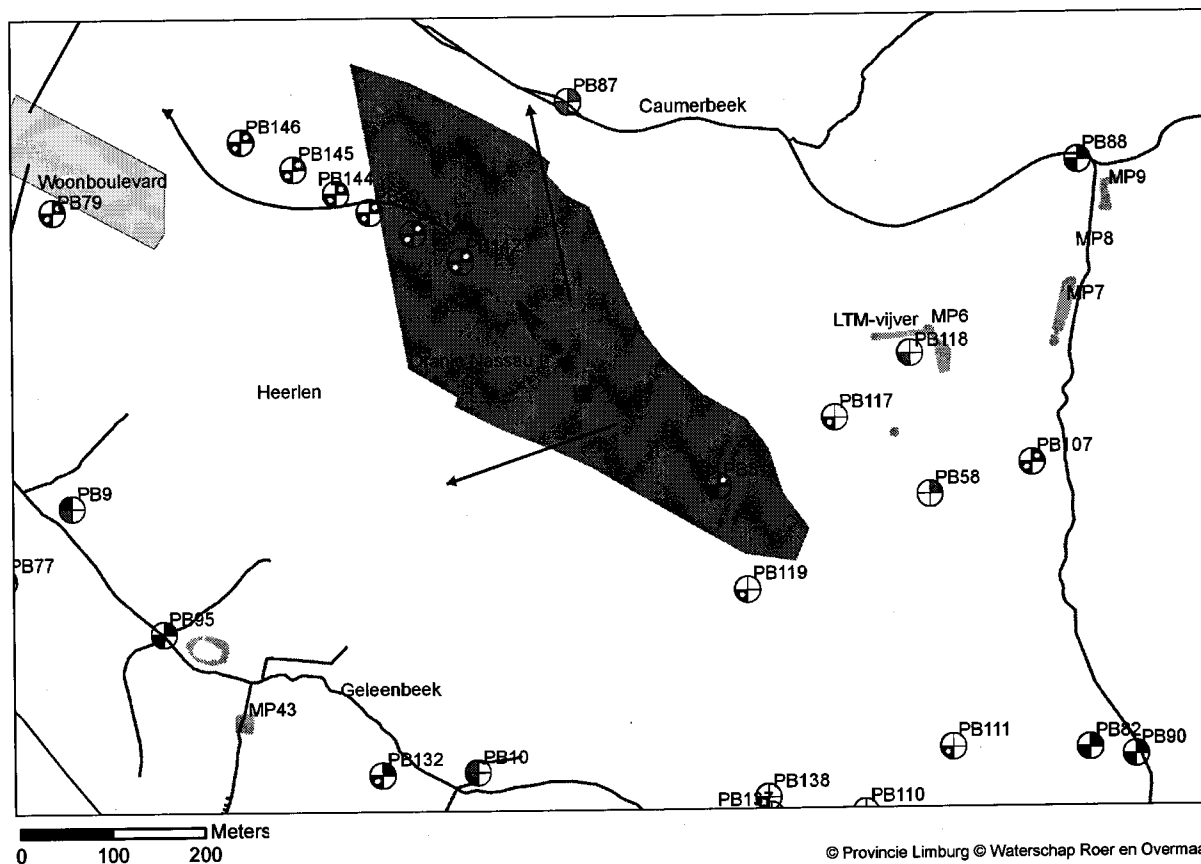
	PB146	85,34	4,5	As BD 2006 As 8,1 µg/l 2008 Cd BD 2006, 2008 Cu BD 2006, 2008 Ni BD 2006, 2008 Pb BD 2006, 2008 Zn 30 µg/l 2006 Zn 110 µg/l 2008 Minerale olie BD 2008 pH 7,3 2008 EC 1200 µS/cm 2008		SO ₄ 93 mg/l 2006 SO ₄ 87 mg/l 2008 Fe BD 2006, 2008
		82,74	7,1	As BD 2006, 2008 Cd BD 2006, 2008 Cu BD 2006, 2008 Ni BD 2006, 2008 Pb BD 2006, 2008 Zn BD 2006 Zn 88 µg/l 2008 Minerale olie BD 2008 pH 7,2 2008 EC 970 µS/cm 2008		SO ₄ 110 mg/l 2006 SO ₄ 100 mg/l 2008 Fe BD 2006, 2008
Pad Noord-noordwest	PB87	82,8	2,5	As BD 2006 As 24 µg/l 2008 Cd BD 2006, 2008 Cu BD 2006, 2008 Ni BD 2006, 2008 Pb BD 2006, 2008 Zn BD 2006 Zn 290 µg/l 2008 Minerale olie BD 2008 pH 7 2008 EC 4500 µS/cm 2008		SO ₄ 1100 mg/l 2006 SO ₄ 2000 mg/l 2008 Fe 1500 µg/l 2006 Fe 1500 µg/l 2008
Pad Zuidwest	PB95	79,16	4	As BD 2006 As 8,5 µg/l 2008 Cd BD 2006, 2008 Cu BD 2006, 2008 Ni BD 2006, 2008		SO ₄ 130 mg/l 2006 SO ₄ 140 mg/l 2008 Fe 8300 µg/l 2006 Fe 7200 µg/l 2008

	PB95	79,16	4	As BD 2006 As 8,5 µg/l 2008 Cd BD 2006, 2008 Cu BD 2006, 2008 Ni BD 2006, 2008 Pb BD 2006, 2008 Zn BD 2006 Zn 89 µg/l 2008 Minerale olie BD 2008 pH 6,9 2008 EC 1200 µS/cm 2008		SO ₄ 130 mg/l 2006 SO ₄ 140 mg/l 2008 Fe 8300 µg/l 2006 Fe 7200 µg/l 2008
Object						
Overig gebied	PB58	97,2	12,6	As BD 2006 Cr 4,36 µg/l 2006 Cd BD 2006 Cu BD 2006 Ni 3,67 µg/l 2006 Pb BD 2006 Zn 20,20 µg/l 2006 pH 6,93 2006 EC 1100 µS/cm 2006		Al 10,50 µg/l 2006 SO ₄ 86,5 mg/l 2006 Fe 29,2 µg/l 2006
		90,8	19	As 8,76 µg/l 2006 Cd 0,41 µg/l 2006 Cr 0,52 µg/l 2006 Cu 3,01 µg/l 2006 Ni 7,67 µg/l 2006 Pb BD 2006 Zn 73,89 µg/l 2006 pH 7,01 2006 EC 910 µS/cm 2006		Al 62,5 µg/l 2006 SO ₄ 144,53 mg/l 2006 Fe 505,52 µg/l 2006

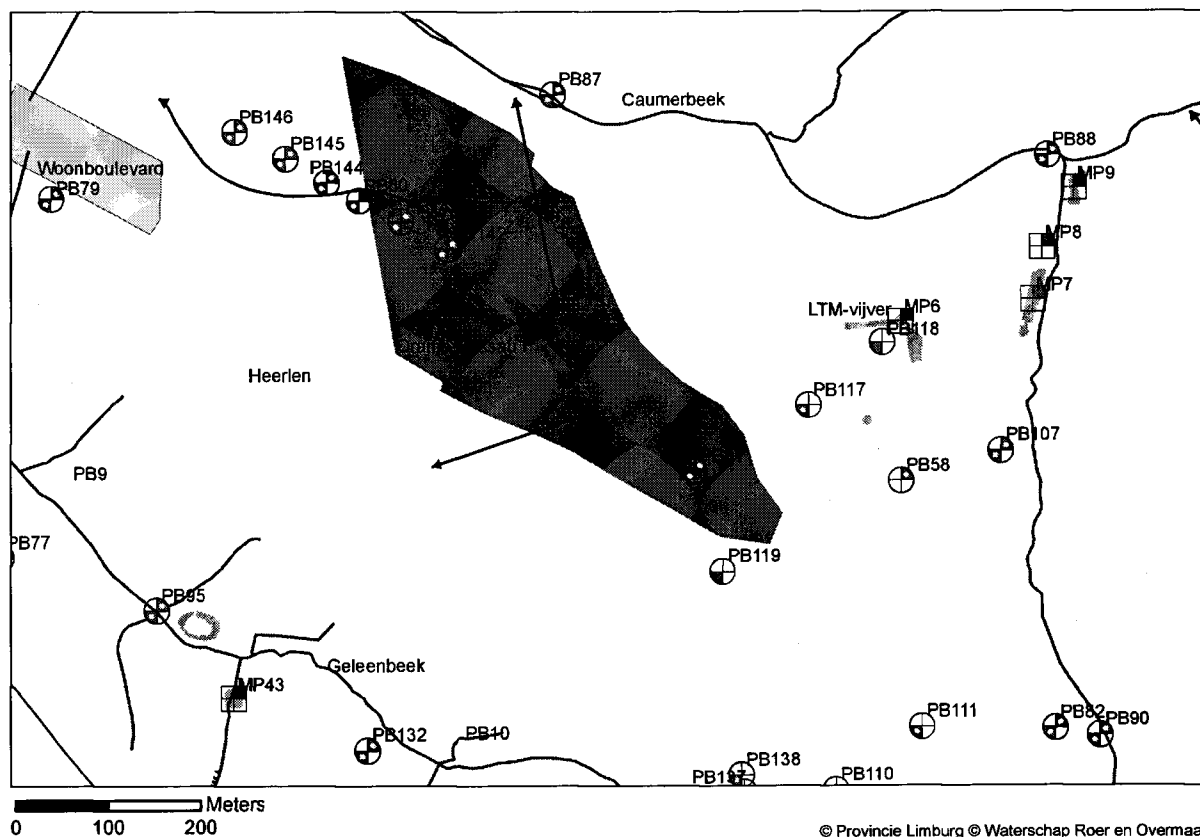
	PB117		14	As 6,2 µg/l 2008 Cd 0,43 µg/l 2008 Cu BD 2008 Ni BD 2008 Pb BD 2008 Zn 150 µg/l 2008 Minerale olie BD 2008 pH 7,00 2008 EC 890 µS/cm 2008		SO ₄ 110 mg/l 2008 Fe BD 2008
	PB118	93,53	7	As 6,4 µg/l 2008 Cd 0,47 µg/l 2008 Cu 11 µg/l 2008 Ni BD 2008 Pb BD 2008 Zn BD 2008 Minerale olie BD 2008 pH 7,5 2008 EC 630 µS/cm 2008		SO ₄ 47 mg/l 2008 Fe 290 µg/l 2008
	PB119		13,8	As BD 2008 Cd BD 2008 Cu 6,0 µg/l 2008 Ni BD 2008 Pb BD 2008 Zn 140 µg/l 2008 Minerale olie BD 2008 pH 7,1 2008 EC 830 µS/cm 2008		SO ₄ 89 mg/l 2008 Fe BD 2008
	PB10		0,83	pH 7,2 2009 EC 950 µS/cm 2009		Al 18,3 µg/l 2008 Al 14,0 µg/l 2009 SO ₄ 125 mg/l 2008 SO ₄ 140 mg/l 2009 SO ₄ 130 mg/l 2009 Fe 460 µg/l 2008 Fe 160 µg/l 2008 Fe 330 µg/l 2009



Figuur 7.14. Overschrijdingen drinkwaternorm sulfaat (oranje en rood).



Figuur 7.15. Overschrijdingen drinkwaternorm ijzer (oranje en rood).



Figuur 7.16. Overschrijdingen interventiewaarde koper (rood).

7.5.2. Conceptueel model

Bron

De bron van de stoffen in dit geval is de mijnsteen die aanwezig is op het Oranje Nassau I terrein.

Pad

De bodemopbouw beneden het Oranje Nassau I terrein is beschreven in tabel 7.10.

Tabel 7.10. Schematische weergave van bodemopbouw in omgeving van het Oranje Nassau I terrein:

Diepte (meters t.o.v. NAP)		Lithologie	Formatie	Geohydrologie
van	tot			
87,4	85	Leem met daaronder zand	Boxtel	mdl1b
85	55	Afwisselend klei en zandlagen	Rupel	sdl2
55	10	Afwisselend klei met daaronder het Tongeren zand	Tongeren	
10	-15	Kalksteen	Maastricht	wvp2a
-15	-32	Afwisselend klei en zandlagen	Vaals	mdl2a

De mijnsteen is door een woonwijk en andere bebouwing grotendeels afgedekt, waardoor hemelwater moeilijk infiltreert in dit gebied. Een aantal aangelegde parken is nagenoeg niet afgedekt en hemelwater kan hier direct in de bodem infiltreren. Vanuit de mijnsteen stroomt het grondwater naar de omgeving.

Onder de mijnsteen ligt op een diepte van 85 m+NAP tot 10 m+NAP de formatie van Rupel en Tongeren. Deze oligocene afzettingen staan bekend als zeer slecht doorlatend. Het is daarom niet waarschijnlijk dat grondwater naar de Formatie van Maastricht zal infiltreren. Het percolaat zal vanuit de mijnsteen naar de formatie van Boxtel infiltreren en daarna horizontaal afstromen in de richting van het drainerende oppervlaktewater.

Het mijnsteengebied ligt juist op een grondwaterscheiding waardoor de grondwaterstroming zuidwestelijk en noordwestelijk kan stromen. Hemelwater is de enige voeding voor het lokale grondwater, er stroomt namelijk geen grondwater naar dit gebied toe. Uit de aanwezige informatie wordt opgemaakt dat het grondwater ter plaatse van Oranje Nassau I in drie hoofdrichtingen stroomt. Vanuit de mijnsteen stroomt het grondwater naar het noordwesten, het noord-noordwesten, en het zuidwesten. Voor de interpretatie zijn daarom de volgende drie paden onderscheiden:

- Pad Zuid-West
- Pad Noordwest
- Pad Noord-noordwest

De noordwestelijke stroombaan bestaat uit een groep stroombanen die ontstaan bovenop de afwaterscheiding en vervolgens naar het zuiden en naar het noorden stromen. De noordwestelijke stroombaan stroomt daarom niet langs alle peilbuizen maar wijkt na enige afstand af in noordelijke of juist in zuidelijke richting (figuur 7.14.).

Object

Object zijn de oppervlaktewaterlichamen in de omgeving, namelijk de Caumerbeek en de Geleenbeek.

7.5.3. Interpretatie beïnvloeding grond- en oppervlaktewater

Ten behoeve van de interpretatie zijn de beschikbare gegevens in een tabel gezet (tabel 7.9.). In deze tabel zijn alle relevante meetresultaten opgenomen, alsmede de filterdieptes van de relevante peilbuizen.

Omdat het grondwater in drie hoofdrichtingen stroomt zal ook het transport van verontreiniging in die drie richtingen plaats vinden. Zoals besproken zijn er drie paden gekozen waarlangs de kwaliteitsgegevens van het grondwater worden geïnterpreteerd.

Bron

De analyseresultaten van grondwater in de bron geven aan dat het grondwater hier wordt beïnvloed door mijnsteen. In het water worden hoge sulfaatconcentraties aangetroffen (160 mg/l tot 2000 mg/l). In dit water is geen hoge ijzerconcentratie gemeten, in de meeste monsters wordt geen ijzer aangetroffen. Arseen, koper, cadmium, nikkel en zink worden allemaal in meer en mindere mate aangetroffen in het grondwater. De pH van het water varieert tussen 6,7 en 7,3 en EC waarden variëren tussen 1200 $\mu\text{S/cm}$ en 3700 $\mu\text{S/cm}$.

Bovenstaande grondwaterkwaliteit is het resultaat van het oxideren van pyriet. Bij deze oxidatie komen sulfaat, ijzer, zware metalen en protonen in oplossing. De pH van het water is neutraal wat aangeeft dat het water is gebufferd. Deze buffering vindt plaats door de aanwezigheid van calciet. Door deze processen komen er veel stoffen in oplossing en is de EC waarde van het water hoog. Er wordt geen ijzer aangetroffen in het grondwater. Hieruit wordt afgeleid dat er een aeroob milieu heerst. Het ijzer dat vrijkomt bij de oxidatie van pyriet oxideert tot drie-waardig ijzer en slaat neer. Sulfaat blijft in oplossing en ook zware metalen die vrijkomen bij de oxidatie van pyriet blijven in oplossing.

Paden

Pad Noordwest

Vier peilbuizen liggen langs een raai ten noordwesten van de mijnsteen (PB80; PB144; PB145 en PB146). Zoals besproken zal de stroombaan die uit de mijnsteen stroomt niet precies langs deze raai stromen maar afbuigen naar het noorden of naar het zuiden. De volgende analyseresultaten zijn beschikbaar:

- Sulfaatconcentraties nemen in PB80 en PB142 t/m PB146 af van 1600 mg/l tot circa 100 mg/l;
- IJzer wordt alleen aangetroffen in peilbuis PB144 met een concentratie van 240 $\mu\text{g/l}$;
- EC waarden nemen in PB80 en PB142 t/m PB146 af van 3400 $\mu\text{S/cm}$ naar circa 1000 $\mu\text{S/cm}$;
- pH waarden variëren tussen 6,9 en 7,3;
- Arseen wordt in alle peilbuizen aangetroffen en concentraties variëren van 20 $\mu\text{g/l}$ nabij de mijnsteen tot 5,2 $\mu\text{g/l}$ op grotere afstand van de mijnsteen;
- Zink is ook in alle peilbuizen aanwezig, de concentratie varieert van 26 $\mu\text{g/l}$ tot 180 $\mu\text{g/l}$;
- Naast deze twee zware metalen wordt in peilbuis PB80 ook koper en cadmium aangetroffen, deze komen in de andere peilbuizen niet voor.

Uit deze waarden wordt afgeleid dat de grondwaterkwaliteit wordt beïnvloed door mijnsteen. Deze invloed is waarneembaar in de eerste twee peilbuizen (PB80 en PB144). In deze peilbuizen is de sulfaatconcentratie en EC hoog, ook worden ijzer en zware metalen in dit water aangetroffen.

In de andere twee peilbuizen (PB145 en PB146) is de invloed van de mijnsteen veel minder zichtbaar. In deze peilbuizen vertonen de grondwatermonsters diffuus verhoogde waarden (zie tekst onder '*Overig gebied*'). De diffuus verhoogde waarden in de omgeving zijn bij benadering als volgt: EC circa 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$; sulfaat circa 100 mg/l en pH 7.

De concentratie van de zware metalen arseen, koper en cadmium neemt af tussen peilbuizen PB80 en PB144, dit is het gevolg van chemische processen die in de ondergrond plaatsvinden zoals kation uitwisseling en binding van metalen aan bodemmateriaal. Bij kation uitwisseling worden metalen die in oplossing zijn gewisseld met metalen die aan het bodemmateriaal zijn gehecht.

Pad Zuid-West

Er is één peilbuis aanwezig op deze stroombaan, namelijk PB95. Deze staat heel dichtbij de beek en onduidelijk is aan welke kant van de beek deze peilbuis staat. In deze peilbuis zijn de concentraties van sulfaat (130 – 140 mg/l) en de concentraties van ijzer (8300 - 7200 $\mu\text{g}/\text{l}$). Daarnaast zijn in dit grondwater ook arseen (8,5 $\mu\text{g}/\text{l}$) en zink (89 $\mu\text{g}/\text{l}$) aanwezig. De pH van dit water is 6,9 en de EC 1200 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Uit de samenstelling van dit grondwater kan de invloed van mijnsteen niet direct afgeleid worden. De concentraties in deze peilbuis liggen dicht bij de diffuus verhoogde waarden die worden beschreven aan het einde van deze paragraaf.

Pad Noord-noordwest

Er is één peilbuis aanwezig op deze stroombaan, namelijk PB87. Deze peilbuis ligt aan de rechteroever van de Caumerbeek. In deze peilbuis zijn de concentraties van zowel sulfaat (1100 – 2000 mg/l) als ijzer (1500 $\mu\text{g}/\text{l}$) hoog. Daarnaast zijn in dit grondwater ook arseen (24 $\mu\text{g}/\text{l}$) en zink (290 $\mu\text{g}/\text{l}$) aanwezig. De pH van dit water is 7 en de EC 4500 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

In deze waterkwaliteit is de invloed van mijnsteen goed zichtbaar; de sulfaatconcentraties en de EC-waarden zijn hoog.

Overig gebied

Aan de oostzijde van het mijnsteengebied liggen vier peilbuizen (PB58, PB117, PB118 en PB119). De samenstelling van het grondwater van al deze peilbuizen is vergelijkbaar. Er wordt een EC van rond de 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ gemeten en de sulfaatconcentratie is circa 100 mg/l. Deze waterkwaliteit is zeer vergelijkbaar met de waterkwaliteit die wordt aangetroffen in PB146, PB95 en PB10. Deze laatste peilbuis ligt circa één kilometer naar het zuidwesten van peilbuis PB95. In het grondwater van deze laatste peilbuis zijn aluminium, sulfaat, ijzer, EC en pH gemeten. Omdat deze waterkwaliteit ook wordt aangetroffen in peilbuizen die niet worden beïnvloed door mijnsteen wordt er vanuit gegaan dat deze waterkwaliteit een achtergrondkwaliteit weergeeft. Ter controle is de kwaliteit van het grondwater van een aantal peilbuizen die op grotere afstand liggen op het oog vergeleken met de hier aangetroffen kwaliteit. Ook hieruit blijkt dat de diffuus verhoogde waarden in de omgeving bij benadering als volgt zijn: EC circa 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$; sulfaat circa 100 mg/l en pH 7.

Object

De Caumerbeek en de Geleenbeek zijn de objecten. Met de bovenstaande analyse is aangegeven dat de mijnsteen het grondwater ten noorden en ten westen van het Oranje Nassau I terrein beïnvloedt.

Hoge concentraties sulfaat en ijzer maar ook de aanwezigheid van zware metalen arseen en zink bevestigen dit. De verspreiding van de verontreiniging van sulfaat en ijzer beperkt zich niet tot net buiten het mijnsterrein. Er zijn geen gegevens beschikbaar van de Caumerbeek ten noorden van Oranje Nassau I. De invloed van mijnsteen op dit object is daarom niet duidelijk. Gezien de invloed die de mijnsteen heeft op het grondwater op die locatie (PB87) wordt verwacht dat hier ook het oppervlaktewater wordt beïnvloed. Hierbij is geen rekening gehouden met de processen die in de beekbodem plaatsvinden.

De samenstelling van het grondwater in PB95 ten zuiden van het mijnsteengebied, dichtbij de Geleenbeek, toont geen invloed van mijnsteen aan. Er is daarom ook geen bewijs dat de Geleenbeek wordt beïnvloed door de mijnsteen van het Oranje Nassau I terrein.

7.5.4. Conclusie

Uit de analyse van de beschikbare data kan het volgende worden geconcludeerd:

- De grondwaterkwaliteit is beïnvloed door de mijnsteen die aanwezig is ter plaatse van het voormalig Oranje Nassau I terrein;
- In de periode 2006-2009 zijn in het grondwater ten opzichte van de drinkwaternorm verhoogde gehalten sulfaat en ijzer gemeten;
- In peilbuis 80 is in 2006 een verhoogde concentratie koper gemeten;
- Gezien de ligging van de peilbuizen en de filters is de verontreiniging in horizontale richting ten noorden en ten westen van het Oranje Nassau I terrein redelijk goed in beeld gebracht. In het noorden is het grondwater tot aan de Caumerbeek beïnvloed, in het westen tot voorbij peilbuis PB144;
- Ten zuiden van het Oranje Nassau I terrein is geen bewijs voor beïnvloeding gevonden. Hier is de hoeveelheid gegevens echter erg beperkt;
- Naar het oosten wordt geen invloed van dit terrein verwacht omdat de grondwaterstroming vanuit het mijnsteengebied de andere kant op is gericht;
- De slecht doorlatende laag op een diepte van 85 m+NAP zorgt ervoor dat verontreinigingen zich niet dieper kunnen verspreiden dan tot aan die laag. Het watervoerend pakket boven deze slecht doorlatende laag is maar een paar meter dik. Hiermee is de verticale beïnvloeding afgeperkt;
- In dit gebied lijkt een grondwaterkwaliteit te heersen met de volgende eigenschappen: EC circa 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, sulfaat circa 100 mg/l, pH circa 7 en een aantal zware metalen in oplossing. Deze waterkwaliteit wordt in de nabijheid, maar ook op grote afstand van het mijnsteengebied aangetroffen;
- Voor de periode 2006-2009 zijn geen meetgegevens beschikbaar van de Caumerbeek en de Geleenbeek. Gezien de invloed van de mijnsteen op de grondwaterkwaliteit in de nabijheid van de Caumerbeek wordt verwacht dat hier ook het oppervlaktewater is beïnvloed. Aangezien er geen bewijs is voor beïnvloeding van de grondwaterkwaliteit ten zuiden van het mijnsteengebied, dichtbij de Geleenbeek, is er ook geen bewijs dat de Geleenbeek wordt beïnvloed door de mijnsteen van het Oranje Nassau I terrein.

7.6. Voormalig Oranje Nassau III terrein

Het mijnsterrein van de voormalige mijn Oranje Nassau III (ON III) ligt in de gemeente Heerlen. Het terrein is in drie gebieden te verdelen; een plateaustort, een puntstort en een fabrieksterrein. In het oosten lag voorheen het fabrieksterrein [bron: gemeente Heerlen]. Hier vond in eerste instantie ook steenstort plaats, maar de mijnsteen is later afgegraven. De ondergrond van dit gebied bestaat uit leemhoudend materiaal [PBI (deelrapport B), 1985]. Op dit voormalig fabrieksterrein is de woonwijk "Rennemig" gerealiseerd.

In het zuiden ligt het plateaustort dat met mijnsteen is verhoogd en geëgaliseerd. Dit deel is tegenwoordig in gebruik als bedrijventerrein "De Koumen". Dit bedrijventerrein is circa 48 hectare groot en wordt gekenmerkt door een gemêleerde samenstelling van bedrijven met zowel zware industrie als perifere detailhandel, maar waar ook kleinschalige ambachtelijke en handelsbedrijven gevestigd zijn.

Een tweede steenstort werd gerealiseerd in het noordelijke gebied van dit mijnsterrein. Dit steenstort bestaat nog steeds en staat bekend als de mijnsteenbergr "De Koumerberg". Deze steenberg ligt op een moerasachtige bodem en is zelfs gedeeltelijk in een bestaande vijver gestort [PBI (deelrapport B), 1985]. De steenberg is uiteindelijk gemodelleerd, ingepast in een groenplan en heeft nu een recreatieve functie. Op dit mijnsteengebied werd de gehele mijnsteenproductie van ON I en ON III gestort en een gedeelte van de mijnsteenproductie van de ON IV. Het huidige bedrijventerrein "De Koumen" is gebouwd op een plateaustort van zuivere mijnsteen, wasserijsteen en puin. De onderlaag van dit stort is huisvuil afkomstig van Hoensbroek. De Koumerberg bestaat volledig uit wasserijsteen.

De Koumerberg is nagenoeg niet afgedekt maar begroeid, waardoor hemelwater goed infiltreert in de bodem. De mijnsteen ligt nabij en in het grondwater, met name aan de noordzijde van de Koumerberg. De onderzijde van het mijnsteenpakket ligt naar schatting op 72 meter boven NAP.

Het bedrijventerrein "De Koumen" is voor circa 60 % afgedekt en de mijnsteen in dit gebied ligt grotendeels in het grondwater waarbij de onderzijde van het mijnsteenpakket op 74 meter boven NAP ligt.

De woonwijk "Rennemig" is grotendeels bedekt met woningen en wegen. Hemelwater infiltreert minder gemakkelijk in dit gebied. De mijnsteen op dit terrein ligt waarschijnlijk niet in het grondwater en de onderzijde van dit pakket ligt variërend van circa 77 meter boven NAP tot 85 meter boven NAP [bron: gemeente Heerlen].

7.6.1. Analyseresultaten

Verdeling meetlocaties

Er ligt een beperkt aantal meetlocaties in en rondom dit mijnsteengebied. In de bron ligt één peilbuis (PB103). Er liggen drie peilbuizen net buiten het mijnsteengebied; één in het pad (PB129) en twee in het overig gebied (PB108 + PB123).

Ten westen van het mijnsteengebied liggen twee vijvers; "De Koumen Noord" en "De Koumen Zuid". Er bevindt zich in elke vijver één meetpunt (MP41 en MP42 vormen een 'object'). Daarnaast ligt er nog een meetpunt in de Lotbroekerbeek ten westen van het mijnsteengebied (ook een 'object').

In de periode 2006 tot en met 2009 zijn nagenoeg alle meetpunten geanalyseerd, behalve het meetpunt in de Lotbroekerbeek.

Overschrijdingen

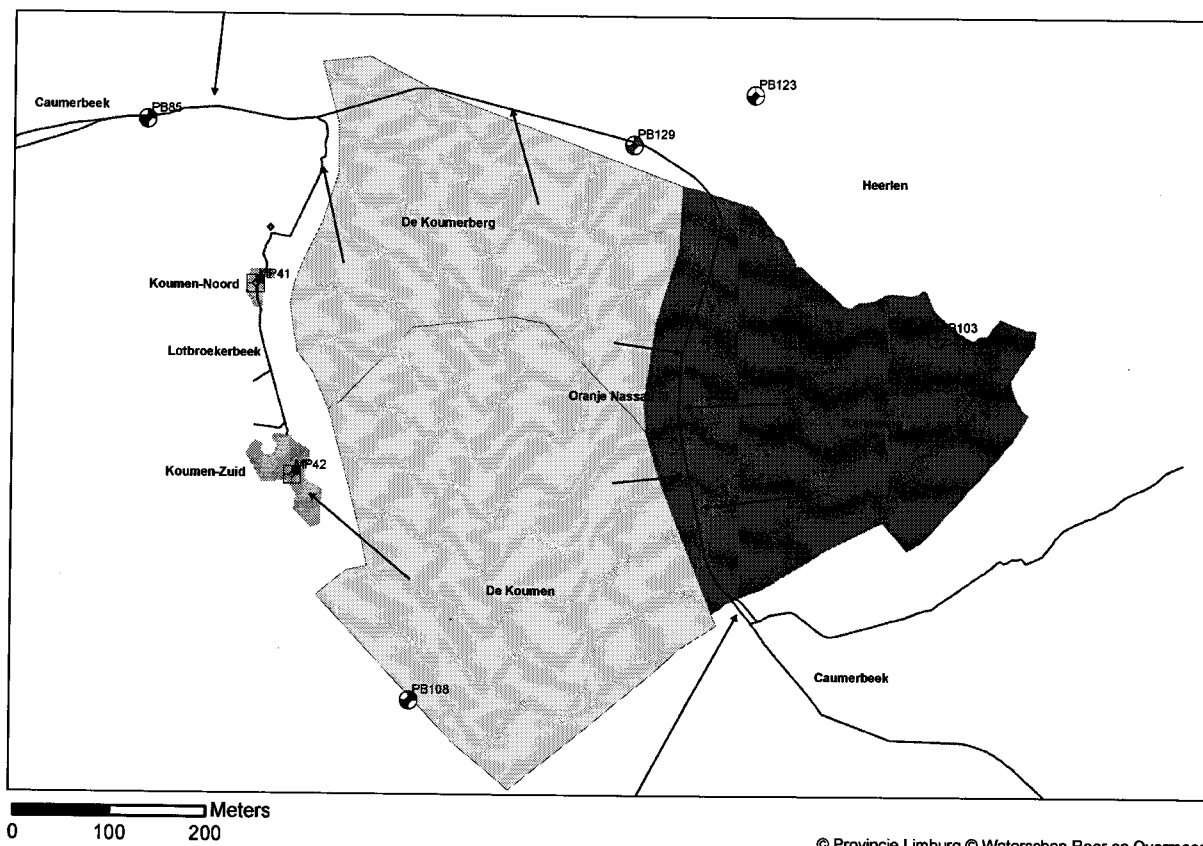
In het grondwater zijn op een aantal meetlocaties overschrijdingen van de drinkwaternorm aangetroffen, namelijk voor de stoffen sulfaat en ijzer. In het oppervlaktewater is alleen voor sulfaat een overschrijding van het MTR aangetroffen.

In navolgende tabel 7.11. zijn de relevante meetwaarden opgenomen. In de figuren 7.17. en 7.18. zijn de meetlocaties weergegeven met de overschrijdingen van respectievelijk de drinkwaternorm en het MTR voor sulfaat en de drinkwaternorm voor ijzer.

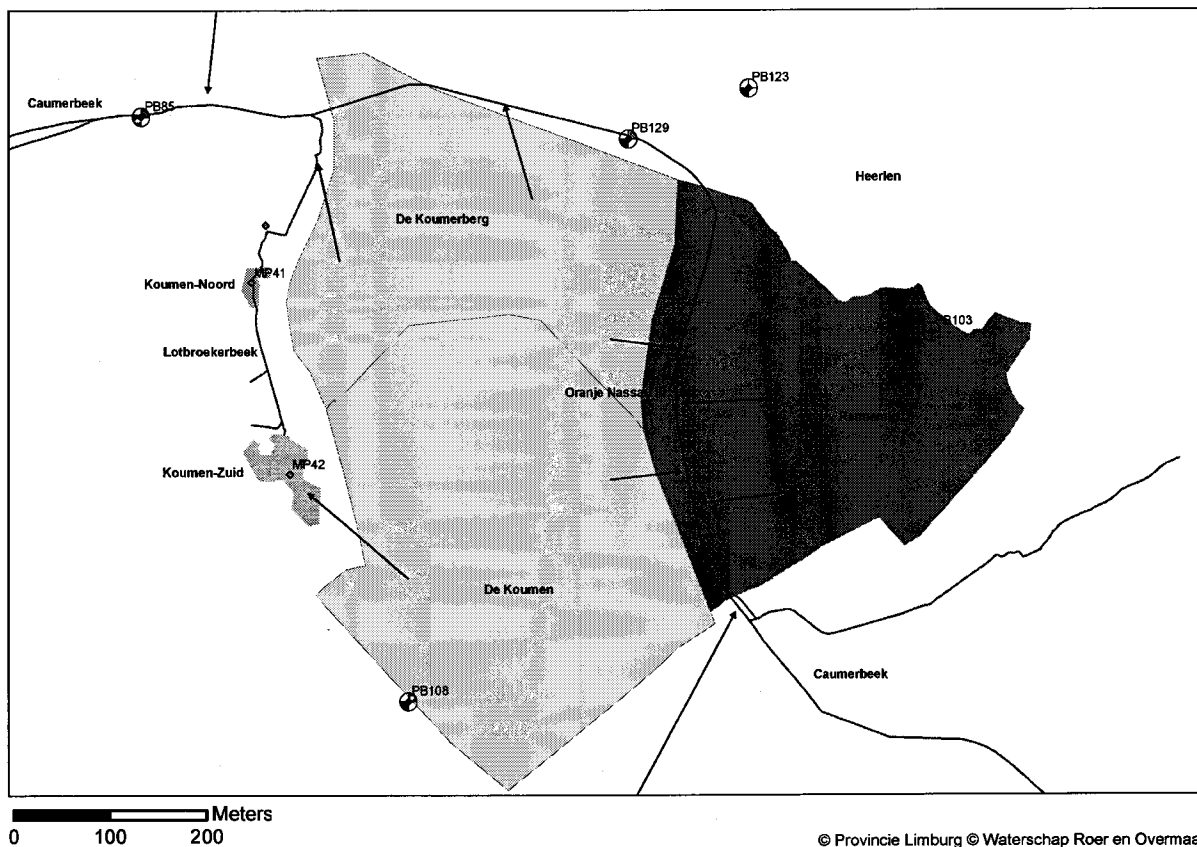
Tabel 7.11. Samenvatting van analyse gegevens van grond- en oppervlaktewater in de nabijheid van het Oranje Nassau III terrein:

				Relevante meetwaarden (incl. jaar van meting)		
	PB/MP	Diepte m+NAP	Diepte m-mv	Circulaire bodemsanering	NW4	Drinkwaternor m
Bron	PB103	81,39	11,70	pH 6,6 2008 EC 1300 µS/cm 2008 As 20 µg/l 2006 As BD 2008 Cd BD 2006, 2008 Cu BD 2006, 2008 Ni 12 µg/l 2006 Ni BD 2008 Pb BD 2006, 2008 Zn 71 µg/l 2006 Zn 270 µg/l 2008 Minerale olie BD 2008		SO ₄ 440 mg/l 2006 SO ₄ 209 mg/l 2008 Fe 1200 µg/l 2006 Fe 440 µg/l 2008
Pad	PB129	67,45	6,47	pH 7,3 2008 EC 890 µS/cm 2008 As BD 2006, 2008 Cd BD 2006, 2008 Cu BD 2006, 2008 Ni BD 2006, 2008 Pb BD 2006, 2008 Zn BD 2006, 2008 Minerale olie BD 2008		SO ₄ 170 mg/l 2006 SO ₄ 180 mg/l 2008 Fe 3000 µg/l 2006 Fe 5100 µg/l 2008

Object				Al 53 µg/l 2006 Cd BD 2006 Cr 5,33 µg/l 2006 Cu 0,53 µg/l 2006 Ni 1,48 µg/l 2006 Pb BD 2006 SO ₄ 336,25 mg/l 2006 Zn 7 µg/l 2006		
	MP42				Al BD 2006 Cd BD 2006 Cr 5,28 µg/l 2006 Cu 0,42 µg/l 2006 Ni 1,33 µg/l 2006 Pb BD 2006 SO ₄ 185,5 mg/l 2006 Zn 5,93 µg/l 2006	
Overig gebied	PB108	74,63	9,5	pH 7,3 2008 EC 930 µS/cm 2008 As BD 2006, 2008 Cd BD 2006, 2008 Cu BD 2006, 2008 Ni BD 2006, 2008 Pb BD 2006, 2008 Zn BD 2006 Zn 40 µg/l 2008 Minerale olie BD 2008		Fe BD 2006 Fe 57 µg/l 2008 SO ₄ 130 mg/l 2006 SO ₄ 93 mg/l 2008
	PB123	70,8	6,5	pH 7 2008 EC 480 µS/cm 2008 As BD 2008 Cd BD 2008 Cu BD 2008 Ni BD 2008 Pb BD 2008 Zn 110 µg/l 2008 Minerale olie BD 2008		Fe 13000 µg/l 2008 SO ₄ 37 mg/l 2008



Figuur 7.17. Overschrijdingen drinkwaternorm en MTR sulfaat (oranje en rood).



Figuur 7.18. Overschrijdingen drinkwaternorm ijzer (oranje en rood).

7.6.2. Conceptueel model

Bron

De bron van de stoffen in dit geval is de mijnsteen die aanwezig is op het Oranje Nassau III terrein.

Pad

De bodemopbouw beneden het Oranje Nassau III terrein is beschreven in Tabel 7.12.

Tabel 7.12. Schematische weergave van bodemopbouw in omgeving van het Oranje Nassau III terrein:

Diepte (meters t.o.v. NAP)		Lithologie	Formatie	Geohydrologie
van	tot			
85	80		Boxtel	mdl1b
80	55	Leem, bruin, zwak grindig	Rupel	sdl2
55	15	klei	Tongeren	sdl2
15	-15	klei	Maastricht	wvp2a
-15	-60	kalksteen	Vaals	mdl2a

Onder de mijnsteen ligt op een diepte van 80 m+NAP tot 15 m+NAP de formatie van Rupel en Tongeren. Deze oligocene afzettingen staan bekend als zeer slecht doorlatend. Het is daarom niet waarschijnlijk dat grondwater naar de Formatie van Maastricht zal infiltreren. Het percolaat zal vanuit de mijnsteen naar de formatie van Boxtel infiltreren en daarna horizontaal afstromen in de richting van het drainerende oppervlaktewater.

Het water in de mijnsteen is voor een groot deel afkomstig van geïnfiltreerd hemelwater. In het geval van het Oranje Nassau III terrein stroomt er echter ook grondwater vanuit het zuiden naar het mijnsteengebied toe.

Object

De verwachte grondwaterstroming vanuit dit mijnsteengebied is richting de objecten; de Caumerbeek, die dit gebied doorkruist, de vijvers Koumen-Noord en Koumen-Zuid en de Lotbroekerbeek.

7.6.3. Interpretatie beïnvloeding grond- en oppervlaktewater

Bron

In PB103 wordt een verlaagde pH gemeten van 6,6; een sulfaatconcentratie van 209 mg/l tot 440 mg/l en ijzerconcentraties van 440 µg/l tot 1200 µg/l. Daarnaast wordt er arseen, nikkel en zink aangetroffen. Ook wordt er een hoge EC gemeten van 1300 µS/cm. Deze concentraties zijn niet zo hoog als bij andere mijnsteenbergen is gemeten maar toch geeft de combinatie lage pH, hoge sulfaatconcentratie en hoge EC aan dat dit water wordt beïnvloed door mijnsteen. De aanwezigheid van ijzer geeft aan dat hier een anaeroob milieu heerst.

Pad

Er is maar één grondwatermonster genomen langs een stroombaan uit het mijnsteen. In deze PB129 is de pH 7,3 en zijn twee sulfaatconcentraties gemeten van 170 en 180 mg/l. Ook zijn er ijzerconcentraties gemeten van 3000 µg/l en 5100 µg/l. Deze concentraties geven aan dat er wel enige invloed kan zijn van de mijnsteen, maar de concentraties zijn niet zo kenmerkend dat deze invloed met grote zekerheid kan worden vastgesteld. Er worden ook geen zware metalen aangetroffen.

Overig gebied

Peilbuis PB123 lijkt niet beïnvloed te worden door mijnsteen. De pH is namelijk neutraal, de EC-waarde is laag (480 µS/cm) en de sulfaatconcentratie is 37 mg/l. Dit is volgens verwachting omdat deze peilbuis langs een stroombaan ligt waar het water uit een gebied komt waar geen mijnsteen ligt. Uit het opgeloste ijzer dat aanwezig is kan wel worden opgemaakt dat hier een anaeroob milieu heerst.

PB108 ligt stroomopwaarts van de mijnsteen, uit de waterkwaliteit kan niet worden opgemaakt of de waterkwaliteit wordt beïnvloed door mijnsteen, enige invloed kan echter ook niet worden uitgesloten.

Object

In MP41 en MP42 zijn verhoogde waarden sulfaat gemeten, respectievelijk 336,25 mg/ en 185,5 mg/l. In dit water zijn ook licht verhoogde concentraties zware metalen aangetroffen. Deze twee monsters zijn genomen uit de vijvers Koumen-Noord en Koumen-Zuid. Deze vijvers worden gevoed door kwelwater dat voor een deel uit de mijnsteen berg komt. Het effect wordt verdund door water dat niet van de mijnsteen berg komt.

Ook voor ijzer zijn er verhogingen gemeten in de bron en het pad. Er zijn er geen metingen van ijzer in de oppervlaktewateren. Verwacht wordt echter dat de oplossing van ijzer in het oppervlaktewater beperkt zal zijn omdat hier waarschijnlijk een aeroob milieu heerst waardoor ijzer neerslaat. Waarschijnlijk zijn de verhoogde concentraties ijzer het gevolg van de mijnsteen, maar dit zou nog verder onderbouwd moeten worden met meer metingen in de tijd, in de diepte en in het oppervlaktewater. De omvang van de ijzerverontreiniging is met de bestaande data niet in beeld gebracht.

7.6.4. Conclusie

Uit de analyse van de beschikbare data kan het volgende worden geconcludeerd:

- De grondwaterkwaliteit is beïnvloed door de mijnsteen die aanwezig is ter plaatse van het voormalig Oranje Nassau III terrein;
- In de periode 2006-2009 zijn in het grondwater ten opzichte van de drinkwaternorm verhoogde gehalten sulfaat en ijzer gemeten;
- Gezien de beperkte aanwezigheid van peilbuizen kan de horizontale verspreiding van de verontreiniging niet worden afgeperkt;
- De slecht doorlatende laag op een diepte van 80 m+NAP zorgt ervoor dat verontreinigingen zich niet dieper kunnen verspreiden dan tot aan die laag. Het watervoerend pakket is zo'n 5 meter dik. Hiermee is de verticale beïnvloeding afgeperkt;
- De vijvers Koumen-Noord en Koumen-Zuid worden gevoed door kwelwater dat voor een deel uit de mijnsteen berg komt;
- In de periode 2006-2009 zijn in het water van genoemde vijvers ten opzichte van het MTR verhoogde gehalten sulfaat gemeten;
- Voor de periode 2006-2009 zijn geen meetgegevens beschikbaar van de Caumerbeek en de Lotbroekerbeek. Gezien de invloed van de mijnsteen op de grondwaterkwaliteit in de nabijheid van de Caumerbeek wordt verwacht dat hier ook het oppervlaktewater is beïnvloed.

7.7. Voormalig Oranje Nassau IV terrein

Het mijnsterrein van de voormalige mijn Oranje Nassau IV (ON IV) ligt in de gemeente Heerlen. Deze mijn was de kleinste van de in totaal vier Oranje Nassau-mijnen en staakte in 1973 de productie. Op het zuidelijke deel van dit terrein bevond zich een fabrieksterrein en in het noorden werd een steenstort gerealiseerd. De mijnsteen berg is vandaag de dag nog steeds aanwezig in het landschap. Deze berg ligt op een zandpakket van circa 35 meter dikte en het grondwaterniveau ligt op ongeveer 19 meter beneden maaiveld [PBI (deelrapport B), 1985].

Op het stort werden naast zuivere mijnsteen geringe hoeveelheden vliegas en terreinafval gestort [PBI (deelrapport B), 1985].

Op het zuidelijke terrein is vanwege de mijnbouwactiviteiten een geringe hoeveelheid mijnsteen aanwezig. Later werd op deze mijnlocatie een groeve voor kwartszand aangelegd, welke momenteel nog in productie is en in beheer is van het zilverzandbedrijf Sibelco (voorheen Sigrano).

Het mijnsterrein van ON IV is nagenoeg niet afgedekt door bebouwing of wegen. Hemelwater kan dus goed in de bodem infiltreren.

7.7.1. Analyseresultaten

Verdeling meetlocaties

Het aantal meetlocaties in en rondom dit mijnsteengebied is zeer beperkt. Eén peilbuis ligt in het pad richting Brunssummerheide (PB65). Twee peilbuizen liggen in het overige gebied (PB66 en PB105), waarvan dus niet verwacht wordt dat daar het grondwater vanuit het mijnsteengebied naar toe stroomt. Er liggen geen peilbuizen in de bron (het mijnsteengebied) en geen meetpunten in de Caumerbeek (het object). De peilbuizen die wel in het gebied liggen zijn alle drie in 2006 en 2008 bemonsterd.

Overschrijdingen

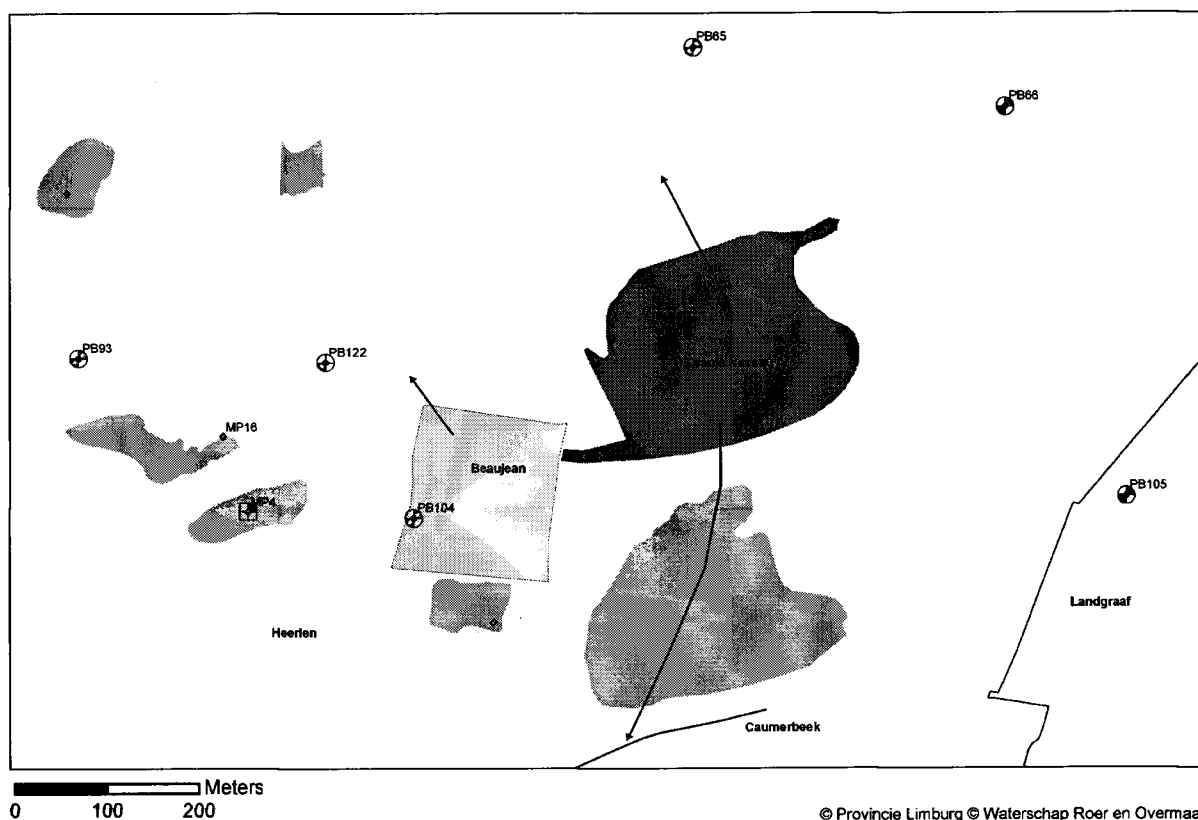
Er is van één stof, eenmalig, een overschrijding aangetroffen in de periode 2006 -2009, zie figuur 7.19. Dit betreft de stof nikkel.

In onderstaande tabel 7.13. zijn de relevante meetwaarden weergegeven en in figuur 7.19. is de betreffende meetlocatie weergegeven.

Tabel 7.13. Samenvatting van analyse gegevens van grond- en oppervlaktewater in de nabijheid van het Oranje Nassau IV terrein:

				Relevante meetwaarden (incl. jaar van meting)		
	PB/MP	Diepte m+NAP	Diepte m-mv	Circulaire bodemsanering	NW4	Drinkwaternorm
Bron						
Pad	PB65	84,14	25,5	pH 5,6 2008 EC 210 µS/cm 2008 As BD 2006, 2008 Cd BD 2006, 2008 Cu BD 2006, 2008 Ni BD 2006, 2008 Pb BD 2006, 2008 Zn 390 µg/l 2006 Zn 530 µg/l 2008 Minerale olie BD 2008		Fe 610 µg/l 2006 Fe 56 µg/l 2008 SO ₄ 100 mg/l 2006 SO ₄ 67 mg/l 2008

Object						
Overig gebied	PB66	88,33	24,8	pH 4,7 2008 EC 180 μS/cm 2008 As BD 2006, 2008 Cd BD 2006 Cd 1,40 μg/l 2008 Cu BD 2006, 2008 Ni 64 μg/l 2006 Ni 90 μg/l 2008 Pb 11 μg/l 2006 Pb BD 2008 Zn 480 μg/l 2006 Zn 530 μg/l 2008 Minerale olie BD 2008		Fe BD 2006, 2008 SO₄ 84 mg/l 2006 SO₄ 87 mg/l 2008
	PB105	91,18	13,5	pH 6,2 2008 EC 600 μS/cm 2008 As BD 2006, 2008 Cd 1,30 μg/l 2006 Cd BD 2008 Cu BD 2006, 2008 Ni 27 μg/l 2006 Ni 24 μg/l 2008 Pb BD 2006, 2008 Zn 41 μg/l 2006 Zn 59 μg/l 2008 Minerale olie BD 2008		Fe BD 2006, 2008 SO₄ 45 mg/l 2006 SO₄ 43 mg/l 2008



Figuur 7.19. Overschrijding interventiewaarde nikkel (rood)

7.7.2. Conceptueel model

Bron

De bron van de stoffen in dit geval is de mijnsteen die aanwezig is op het Oranje Nassau IV terrein.

Pad

De bodemopbouw beneden het Oranje Nassau IV Terrein is beschreven in Tabel 7.14.

Tabel 7.14. Schematische weergave van bodemopbouw in omgeving van het Oranje Nassau IV terrein:

Diepte (meters t.o.v. NAP)		Formatie	Geohydrologie
van	tot		
112	110	Boxtel-Boxtel Schimmert k1	mdl1b
110	100	Breda-Ville Breda z2	wvp1a
100	80	Breda-Ville Breda z3	wvp1b
80	75	Breda-Ville bruinkool 2	sdl1b
75	70	Breda-Ville Breda z4	wvp1c
70	-5	Rupel-Rupel z2	sdl2
-5	-20	Rupel-Rupel k2	sdl2
-20	-25	Rupel-Rupel z3	sdl2
-25	-35	Tongeren-Tongeren Goudsberg k1	sdl2
-35	-70	Tongeren-Tongeren z2	sdl2

Onder de mijnsteen ligt op een diepte van 80 m+NAP een bruinkoollaag van de Formatie van Breda, dit is een slecht doorlatende laag. Daarnaast ligt op een diepte van 70 tot -70 m+NAP de formatie van Rupel en Tongeren. Deze oligocene afzettingen staan bekend als zeer slecht doorlatend. Het is waarschijnlijk dat grondwater dat wordt beïnvloed door mijnsteen niet dieper zal infiltreren dan de slecht doorlatende laag van de formatie van Breda. Het percolaat zal vanuit de mijnsteen naar de formatie van Boxtel infiltreren en daarna horizontaal afstromen in de richting van het drainerende oppervlaktewater.

Het water in de mijnsteen is afkomstig van geïnfiltreerd hemelwater. Het percolaat stroomt naar verwachting richting de Caumerbeek in zuidwestelijke richting en naar het noorden richting het natuurgebied Brunssummerheide.

De mijnsteen op dit terrein ligt niet aan of in het grondwater en de onderzijde van het mijnsteenpakket bevindt zich op circa 106 meter +NAP [bron: gemeente Heerlen].

Object

Het object is de plas ten zuiden van het Oranje Nassau IV terrein en de Caumerbeek. Het grondwater stroomt ook naar het noorden richting het natuurgebied de Brunssummerheide. Hier ligt geen oppervlaktewater in de omgeving van het Oranje Nassau IV terrein.

7.7.3. Interpretatie beïnvloeding grond- en oppervlaktewater

Bron

Er zijn geen gegevens van de grondwaterkwaliteit onder het Oranje Nassau IV terrein.

Pad

Er ligt één peilbuis in het pad, namelijk PB65. De EC-waarde is erg laag evenals de sulfaatconcentratie. Hieruit kan opgemaakt worden dat het grondwater niet beïnvloed wordt door mijnsteen. Er zijn wel concentraties zware metalen gemeten.

Object

Er zijn geen gegevens van grondwaterkwaliteit in de Caumerbeek en de plas ten zuiden van het mijnsteengebied.

Overig gebied

Er liggen twee peilbuizen in het overig gebied, namelijk PB66 en PB105.

De EC van peilbuis PB66 is erg laag: 180 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Sulfaatconcentraties zijn ook laag. Hieruit wordt geconcludeerd dat dit water niet wordt beïnvloed door mijnsteen. Er zijn wel concentraties zware metalen aanwezig. Er is geen verklaring voor de verhoogde concentratie nikkel gemeten in PB66. Deze concentratie lijkt niet gerelateerd te zijn aan mijnsteen aangezien de pH van dit water 4,7 is en de EC 180 $\mu\text{S}/\text{cm}$. De sulfaatconcentratie varieert over twee metingen tussen 84 mg/l en 87 mg/l.

Ook in peilbuis PB105 is geen bewijs voor de invloed van mijnsteen op de grondwaterkwaliteit. De invloed van mijnsteen is zeer onwaarschijnlijk omdat het grondwater vanuit het Oranje Nassau IV terrein niet richting deze peilbuis stroomt.

7.7.4. Conclusie

Uit de analyse van de beschikbare data kan het volgende worden geconcludeerd:

- Er zijn weinig gegevens beschikbaar van de grondwaterkwaliteit in de omgeving van het voormalig Oranje Nassau IV terrein;
- In geen van de aanwezige peilbuizen lijkt een relatie te bestaan tussen de mijnsteen en de grondwaterkwaliteit;
- In de periode 2006-2009 is in het grondwater een ten opzichte van de interventiewaarde verhoogd gehalte nikkel gemeten. Er is geen verklaring voor dit verhoogde gehalte. Deze concentratie lijkt niet gerelateerd te zijn aan mijnsteen;
- Gezien de beperkte aanwezigheid van peilbuizen kan de horizontale verspreiding van de invloed van mijnsteen niet worden afgeperkt;
- De slecht doorlatende bruinkoollagen in de Formatie van Breda bevinden zich op een diepte van 80 m+NAP en de slecht doorlatende laag van de formatie van Rupel op een diepte van 70 m+NAP. Deze beperken de verticale stroming. Verwacht wordt dat de invloed van de mijnsteen niet dieper zal reiken dan 80 m+NAP;
- Het watervoerende pakket onder de mijnsteen heeft een dikte van circa 30 m. Het is niet waarschijnlijk dat deze over de gehele dikte wordt beïnvloed door mijnsteen. De verticale verspreiding is daarmee niet afgeperkt;

- Voor de periode 2006-2009 zijn geen meetgegevens beschikbaar van de Caumerbeek en de plas ten zuiden van Oranje Nassau IV.

7.8. Woonboulevard

Achter de huidige Woonboulevard Heerlen ligt een terrein dat in het verleden gediend heeft als depot voor dekgrond die gebruikt werd voor de afwerking van het mijnsterrein van de Oranje Nassau I. Op het terrein is kleigrond en mijnsteen vermengd alvorens het opgebracht is. De mijnsteenlaag die hier aangebracht is, is maar een dun pakket dat vermoedelijk nabij, maar niet in het grondwater ligt [bron: gemeente Heerlen].

Dit mijnsteengebied is nauwelijks afgedekt, waardoor hemelwater direct infiltreert en waarschijnlijk met het grondwater in zuidelijke richting afstroomt richting de Geleenbeek of in noordoostelijke richting naar de Caumerbeek. In de toekomst wordt dit terrein mogelijk ingevuld met bedrijven waardoor de bodem meer afgedekt wordt.

7.8.1. Analyseresultaten

Verdeling meetlocaties

In het brongebied is geen meetlocatie aanwezig, wel liggen er twee peilbuizen in het pad, namelijk PB79 en PB8. In het object, in dit geval de Geleenbeek, liggen geen meetpunten in de verwachte stromingsrichting vanuit het mijnsteengebied. Er liggen ook geen meetpunten in de Caumerbeek. Verder liggen er twee peilbuizen in het overig gebied rondom de Woonboulevard, dat zijn PB145 en PB146. PB79, PB145 en PB146 zijn bemonsterd in 2006 en 2008. PB8 is bemonsterd in 2008 en 2009.

Overschrijdingen

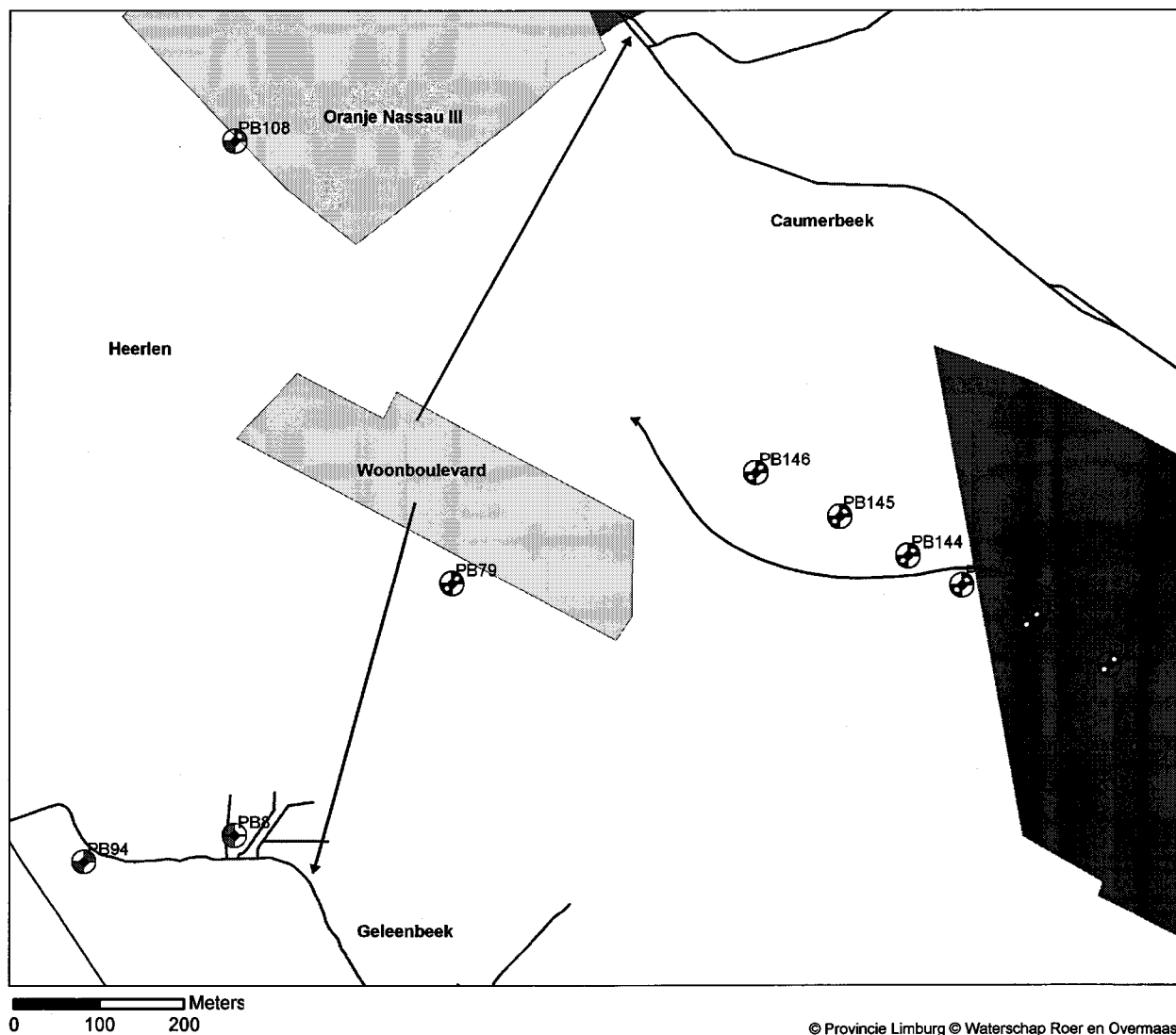
Voor ijzer is in PB8 zowel in 2008 als 2009 een waarde boven de drinkwaternorm gemeten. In onderstaande tabel 7.15. zijn de relevante meetwaarden opgenomen en in figuur 7.20. is de betreffende meetlocatie weergegeven.

Tabel 7.15. Samenvatting van analyse gegevens van grond- en oppervlaktewater in de nabijheid van de Woonboulevard:

				Relevante meetwaarden (incl. jaar van meting)		
	PB/MP	Diepte m+NAP	Diepte m-mv	Circulaire bodemsanering	NW4	Drinkwaternorm
Bron						
Pad	PB8	77,93	0,75	pH 6,98 2006 pH 7,15 2008 EC 755 µS/cm 2006 EC 920 µS/cm 2008		Al 24,60 µg/l 2006 Al 18 µg/l 2008 Fe 296 µg/l 2008 Fe 310 µg/l 2009 SO ₄ 93,60 mg/l 2006 SO ₄ 120 mg/l 2008

	PB79	84,34	5,5	pH 7,2 2008 EC 670 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 2008 As BD 2006, 2008 Cd BD 2006, 2008 Cu BD 2006, 2008 Ni BD 2006, 2008 Pb BD 2006, 2008 Zn BD 2006 Zn 87 $\mu\text{g}/\text{l}$ 2008 Minerale olie BD 2008		Fe BD 2006, 2008 SO_4 28 mg/l 2006 SO_4 23 mg/l 2008
Object						
Overig gebied	PB145	87,18	4,0	pH 7,2 2008 EC 1200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 2008 As BD 2006 As 7,50 $\mu\text{g}/\text{l}$ 2008 Cd BD 2006, 2008 Cu BD 2006, 2008 Ni BD 2006, 2008 Pb BD 2006, 2008 Zn 26 $\mu\text{g}/\text{l}$ 2006 Zn 90 $\mu\text{g}/\text{l}$ 2008 Minerale olie BD 2008		Fe BD 2006, 2008 SO_4 120 mg/l 2006 SO_4 110 mg/l 2008
		84,18	7,0	pH 7,2 2008 EC 1200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 2008 As BD 2006 As 5,20 $\mu\text{g}/\text{l}$ 2008 Cd BD 2006, 2008 Cu BD 2006, 2008 Ni BD 2006, 2008 Pb BD 2006, 2008 Zn BD 2006 Zn 120 $\mu\text{g}/\text{l}$ 2008 Minerale olie BD 2008		Fe BD 2006, 2008 SO_4 130 mg/l 2006 SO_4 120 mg/l 2008
	PB146	85,34	4,5	pH 7,3 2008 EC 1200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 2008 As BD 2006 As 8,10 $\mu\text{g}/\text{l}$ 2008		Fe BD 2006, 2008 SO_4 93 mg/l 2006 SO_4 87 mg/l 2008

				pH 7,3 2008 EC 1200 µS/cm 2008 As BD 2006 As 8,10 µg/l 2008 Cd BD 2006, 2008 Cu BD 2006, 2008 Ni BD 2006, 2008 Pb BD 2006, 2008 Zn 30 µg/l 2006 Zn 110 µg/l 2008 Minerale olie BD 2008		Fe BD 2006, 2008 SO₄ 93 mg/l 2006 SO₄ 87 mg/l 2008
		82,74	7,1	pH 7,2 2008 EC 970 µS/cm 2008 As BD 2006, 2008 Cd BD 2006, 2008 Cu BD 2006, 2008 Ni BD 2006, 2008 Pb BD 2006, 2008 Zn BD 2006 Zn 88 µg/l 2008 Minerale olie BD 2008		Fe BD 2006, 2008 SO₄ 110 mg/l 2006 SO₄ 100 mg/l 2008



Figuur 7.20. Overschrijdingen drinkwaternorm ijzer (oranje).

7.8.2. Conceptueel model

Bron

De bron van de stoffen in dit geval is de mijnsteen die aanwezig is op het terrein van de Woonboulevard.

Pad

De bodemopbouw beneden de woonboulevard is beschreven in tabel 7.16.

Tabel 7.16. Schematische weergave van bodemopbouw in omgeving van de Woonboulevard:

Diepte (meters t.o.v. NAP)		Lithologie	Formatie	Geohydrologie
van	tot			
90	80	Leem	Boxtel-Boxtel Schimmert k1	mdl1b
80	55	Klei	Rupel-Rupel z2	sdl2
55	45	Klei	Rupel-Rupel k2	sdl2
45	40	Klei	Rupel-Rupel z3	sdl2
40	30	Klei	Tongeren-Tongeren Goudsberg k1	sdl2
30	-10	Klei	Tongeren-Tongeren z2	sdl2
-10	-40	Zand	Maastricht limestone	wvp2a
-40	-70	Kalksteen	Vaals-Vaals complex	mdl2a

Onder de mijnsteen ligt op een diepte van 80 m+NAP de formatie van Rupel. Deze Oligocene afzettingen staan bekend als zeer slecht doorlatend. Het is waarschijnlijk dat grondwater dat wordt beïnvloed door mijnsteen niet dieper zal infiltreren dan de slecht doorlatende laag van deze formatie.

De mijnsteen ligt niet in het grondwater. Het water in de mijnsteen is daarom alleen afkomstig van geïnfiltreerd hemelwater en in de mijnsteen heerst een onverzadigd milieu. Het percolaat stroomt naar het grondwater en vervolgens in zuidelijke richting naar de Geleenbeek en in noordelijke richting naar de Caumerbeek.

Object

Object zijn de oppervlaktewaterlichamen in de omgeving, de Geleenbeek en de Caumerbeek.

7.8.3. Interpretatie beïnvloeding grond- en oppervlaktewater

Bron

Er zijn geen gegevens van grondwaterkwaliteit in de bron.

Pad

Twee peilbuizen (PB79 en PB8) liggen langs een zuidelijke stroombaan. In het grondwater van beide peilbuizen wordt geen verhoogde sulfaatconcentratie aangetroffen, in PB79 wordt een sulfaatconcentratie van circa 30 mg/l aangetroffen en in PB8 wordt een sulfaatconcentratie van circa 120 mg/l aangetroffen. Ook de concentraties van andere stoffen wijzen niet op invloed van mijnsteen. De aanwezigheid van ijzer geeft aan dat hier een anaeroob milieu heerst.

Aangezien de mijnsteen op de Woonboulevard vermengd is met kleigrond is het waarschijnlijk dat metalen die uit de mijnsteen percoleren zich meteen zullen binden aan het organisch materiaal in de bodem. Daarnaast is de opgebrachte laag mijnsteen dun en is het terrein deels verhard. De verwachting is dat de invloed van mijnsteen op dit gebied gering is.

Object

Er zijn geen gegevens van grondwaterkwaliteit in de Geleenbeek en Caumerbeek.

Overig gebied

Er liggen twee peilbuizen in het overig gebied, namelijk PB145 en PB146. De waterkwaliteit van deze peilbuizen komt sterk overeen met de diffuus verhoogde waarden die eerder zijn beschreven (§ 7.5). De EC van het water is circa 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, de pH is neutraal, de sulfaatconcentraties zijn circa 100 mg/l. Hieruit wordt geconcludeerd dat dit water niet zichtbaar wordt beïnvloed door mijnsteen.

7.8.4. Conclusie

Uit de analyse van de beschikbare data kan het volgende worden geconcludeerd:

- In geen van de aanwezige peilbuizen lijkt een relatie te bestaan tussen de mijnsteen die aanwezig is ter plaatse van de Woonboulevard en de grondwaterkwaliteit. Dit is ook de verwachting aangezien percolerende metalen uit de mijnsteen zich meteen zullen binden aan het organisch materiaal in de kleigrond, de aangebrachte laag mijnsteen dun is en het terrein deels is verhard waardoor weinig hemelwater door de mijnsteen kan percoleren;
- In de periode 2006-2009 zijn in het grondwater ten opzichte van de drinkwaternorm verhoogde gehalten ijzer gemeten. Op basis van de beschikbare meetresultaten is niet duidelijk of er een relatie bestaat tussen deze verhoogde gehalten en de mijnsteen van het mijnsterrein Woonboulevard. Verwacht wordt dat er geen relatie bestaat omdat sulfaatconcentraties en de concentraties van andere kenmerkende stoffen niet verhoogd zijn;
- De slecht doorlatende laag van de Formatie van Rupel op een diepte van 80 m+NAP beperkt de verticale stroming. Verwacht wordt dat een eventuele invloed van de mijnsteen niet dieper zal reiken dan 80 m+NAP;
- Tussen de formatie van Rupel en de mijnsteen is de formatie van Bortel aanwezig, deze heeft een dikte van circa 10 meter en heeft een matige doorlatendheid. De verspreiding van mijnsteenwater zal beperkt zijn tot deze laag;
- Voor de periode 2006-2009 zijn geen meetgegevens beschikbaar van de Caumerbeek en de Geleenbeek.

7.9. Voormalig Domaniale- en Willem-Sophia-terrein**De Domaniale mijn**

De Domaniale mijn bestaat uit drie gebieden, namelijk het fabrieksterrein, de steenberg (Beerenbosch) en het plateaustort (Ham). De mijnsteen uit de Domaniale mijn werd gestort op de steenberg Beerenbosch en op het plateaustort Ham. De Domaniale mijn is in 1969 gesloten.

De steenberg ligt op een kleihoudende ondergrond. Hier werd uitsluitend zuivere mijnsteen gestort.

Inmiddels is de berg een groen wandel- en recreatiegebied geworden.

Op het fabrieksterrein is een kleine hoeveelheid mijnsteen aanwezig [PBI (deelrapport B), 1985] waarop naderhand de woonwijk "Domaniale" is gerealiseerd.

De ondergrond van het plateaustort is kleihoudend en drassig. Naast een hoeveelheid puin werden op het stort zuivere mijnsteen en wasserijsteen gestort [PBI (deelrapport B), 1985]. Op dit terrein ligt een weg en voor de rest staat er voornamelijk begroeiing. Hier ligt ook een voormalige slikvijver, maar daar is weinig over bekend.

Het maaiveld op het terrein van Beerenbosch ligt op circa 160 meter +NAP en het grondwater bevindt zich hier op circa 100 meter +NAP. De berg is nauwelijks afgedekt. Het grondwater stroomt in noordoostelijke richting naar de Worm.

Willem-Sophia

Deze mijn is in 1970 gesloten. Een spoorlijn doorkruist dit gebied. Ten zuiden van de spoorlijn is industrie gevestigd en daar ligt de mijnsteenbergrug van de Willem-Sophia, ten noorden van de spoorlijn lag het fabrieksterrein van de mijn.

De mijnsteenbergrug ligt er nog steeds en wordt momenteel afgegraven in verband met de winning van de rode gebrande mijnsteen. De ondergrond bestaat uit een lössachtige laag die varieert van 2 tot 10 meter dikte. Daaronder ligt een met grind gemengde zandlaag, waar zich een kleiachtig zand onder bevindt [PBI (deelrapport B), 1985]. Op de steenberg zijn zuivere mijnsteen, wasserijsteen, terreinafval en sintels van het ketelhuis gestort.

Bij de aanleg van het industrieterrein, ten oosten van de steenberg, is waarschijnlijk mijnsteen gebruikt. Hier is ook een slikvijver aanwezig.

Op het voormalig fabrieksterrein liggen nu sportvelden.

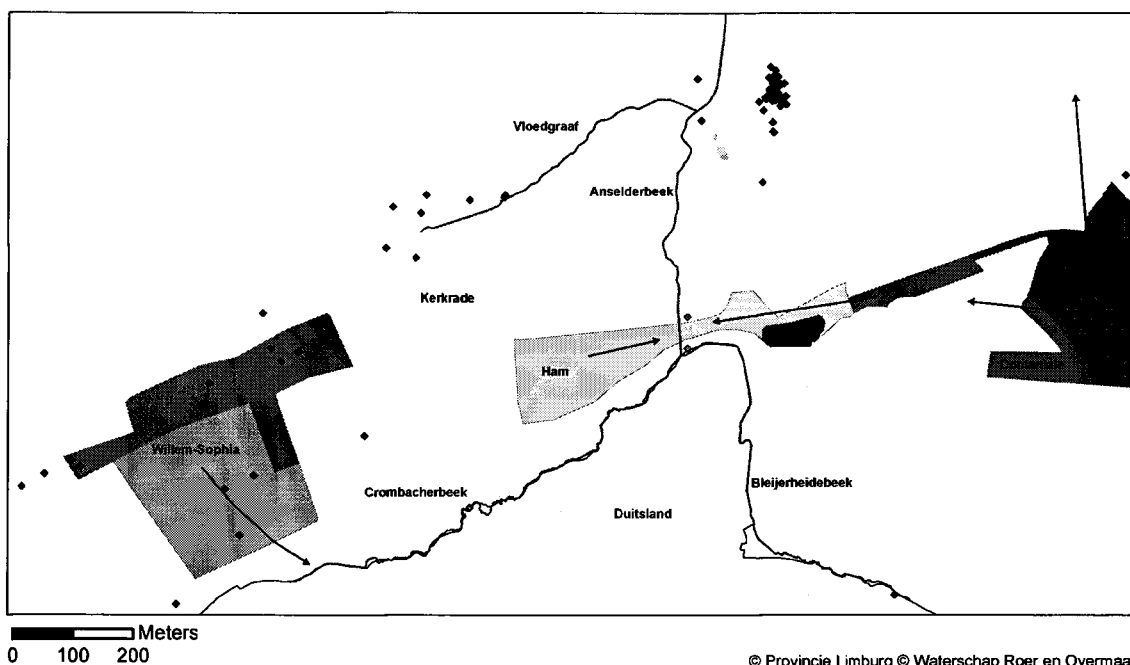
Het hele mijnsteengebied is grotendeels onafgedekt, behalve het industriegebied dat wordt afgedekt door gebouwen en wegen.

7.9.1. Analyseresultaten

Verdeling meetlocaties

De ruimtelijke verdeling van de peilbuizen in en rondom het mijnsterrein Willem-Sophia is redelijk goed. Zowel in de bron als in het pad liggen peilbuizen. Geen enkele peilbuis is echter bemonsterd in de periode 2006-2009. Verder ligt er geen enkel meetpunt in het object, de Crombacherbeek.

In figuur 7.21. staan de ligging van het mijnsterrein Willem-Sophia en de meetlocaties in en rondom dit terrein.



Figuur 7.21. Overzichtskaart Willem-Sophia.

In en rondom de mijnsteengebieden van de Domaniale mijn liggen nauwelijks peilbuizen of meetpunten. Er ligt een peilbuis in het pad van het fabrieksterrein (PB176). Deze peilbuis is in 2006, 2007 en 2009 bemonsterd en het filter bevindt zich op een diepte van 22,5 meter beneden maaiveld (144,5 meter +NAP).

Er liggen twee meetpunten in de Anselderbeek waarvan er één bemonsterd is in 2006-2009, namelijk MP10. Verder ligt er een meetpunt in de Worm, het object voor de steenberg Beerenbosch, MP38.

Overschrijdingen

Er zijn geen verhoogde waarden in PB176 gemeten. In MP10 is alleen een verhoogd gehalte sulfaat gemeten. In MP 38 zijn overschrijdingen van de MTR-waarde voor sulfaat, koper, nikkel, en zink.

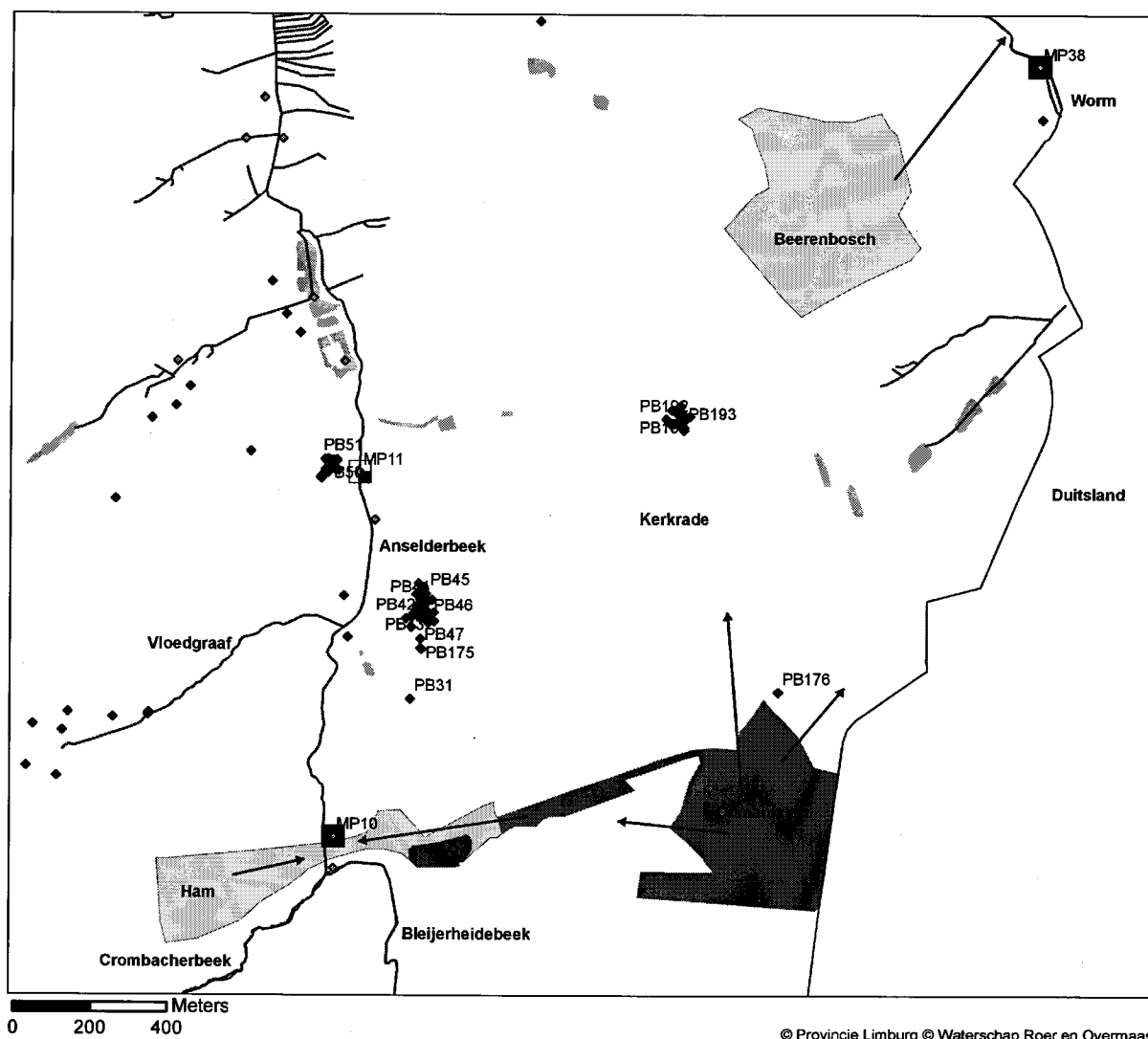
In navolgende tabel 7.17. zijn de relevante meetwaarden opgenomen.

In de figuren 7.22. tot en met 7.25. zijn de meetlocaties weergegeven met de overschrijdingen van respectievelijk het MTR voor sulfaat koper, nikkel en zink.

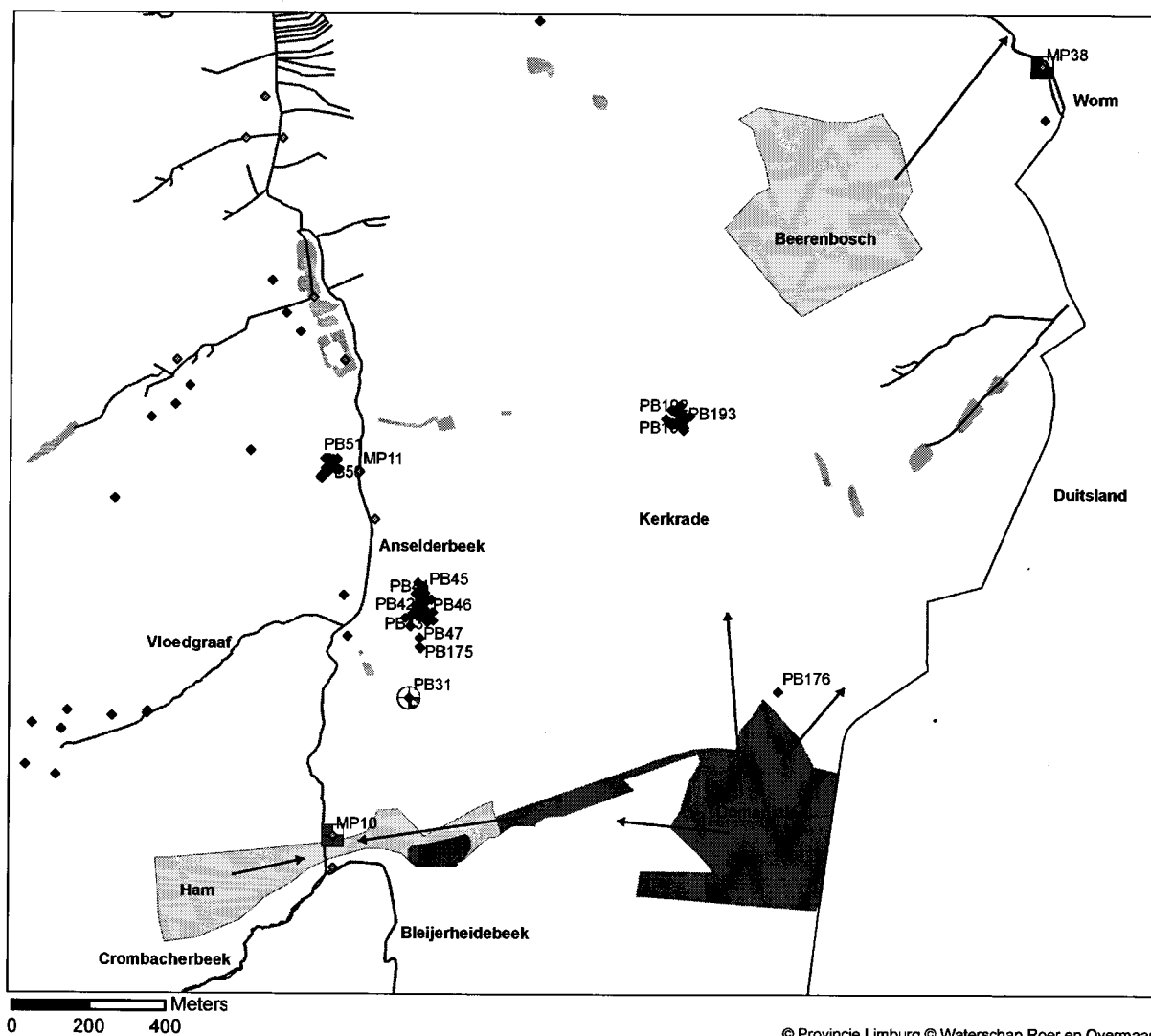
Tabel 7.17. Samenvatting van analyse gegevens van grond- en oppervlaktewater in de nabijheid van het voormalige Domaniale- en Willem-Sophia-terrein:

				Relevante meetwaarden (incl. jaar van meting)		
	PB/MP	Diepte m+NAP	Diepte m-mv	Circulaire bodemsanering	NW4	Drinkwaternorm
Bron						
Pad	PB176	144,5	22,5	Minerale olie BD 2006, 2007, 2009 Naftaleen BD 2006, 2007, 2009		
Object	MP10				SO ₄ 73 mg/l 2006 SO ₄ 88,4 mg/l 2007 SO ₄ 90 mg/l 2008 SO ₄ 104,2 mg/l 2009 As 0,73 µg/l 2007 As 0,82 µg/l 2009 Cd 0,06 µg/l 2007 Cd 0,11 µg/l 2008 Cd 0,07 µg/l 2009 Cr 1,60 µg/l 2007 Cr BD 2008 Cr 2,31 µg/l 2009 Cu 3,10 µg/l 2007 Cu 2,87 µg/l 2008 Cu 3,69 µg/l 2009 Hg BD 2007, 2009 Pb 2,20 µg/l 2007 Pb 3,08 µg/l 2008 Pb 3,01 µg/l 2009 Ni 1,80 µg/l 2007 Ni 2,59 µg/l 2008 Ni 1,95 µg/l 2009 Zn 30,49 µg/l 2007 Zn 32,15 µg/l 2008 Zn 24,46 µg/l 2009	

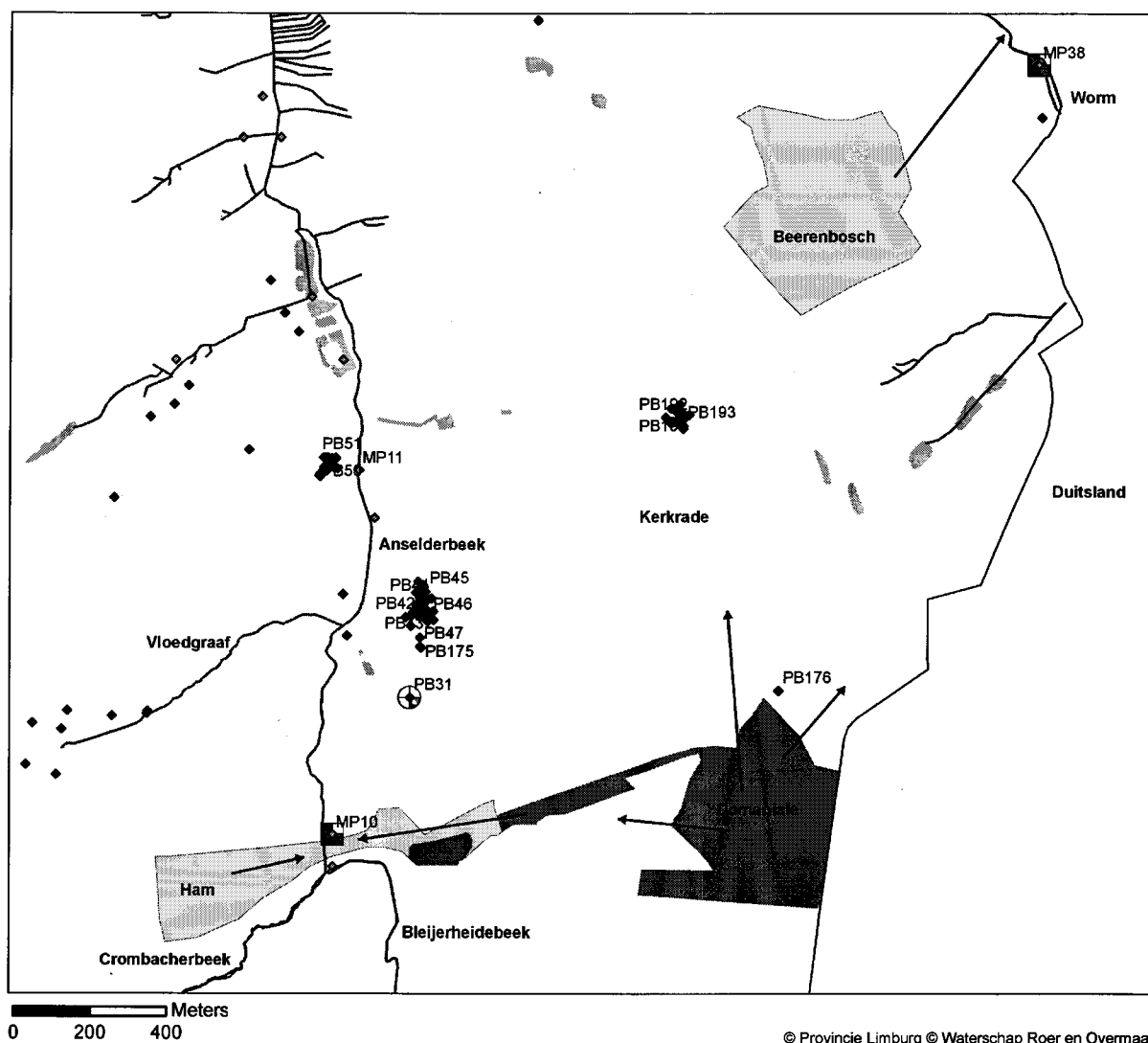
	MP38				As 1,32 µg/l 2007 Benzo(a)antraceen BD 2007 Benzo(a)pyreen BD 2007 Cd 0,20 µg/l 2007 Cd 0,16 µg/l 2008 Cd 0,14 µg/l 2009 Cr 2,56 µg/l 2007 Cr 3,93 µg/l 2008 Cr 4,73 µg/l 2009 Fluorantheen BD 2007 Cu 5,66 µg/l 2007 Cu 11,58 µg/l 2008 Cu 6,17 µg/l 2009 Hg BD 2007 Pb 6,54 µg/l 2007 Pb 6,71 µg/l 2008 Pb 2,43 µg/l 2009 Ni 4,72 µg/l 2007 Ni 7,19 µg/l 2008 Ni 6,2 µg/l 2009 SO ₄ 97 mg/l 2006 SO ₄ 107 mg/l 2007 SO ₄ 90 mg/l 2008 SO ₄ 81,56 mg/l 2009 Zn 68,8 µg/l 2007 Zn 81,57 µg/l 2008 Zn 104,80 µg/l 2009 Naftaleen BD 2007	
Overig gebied						



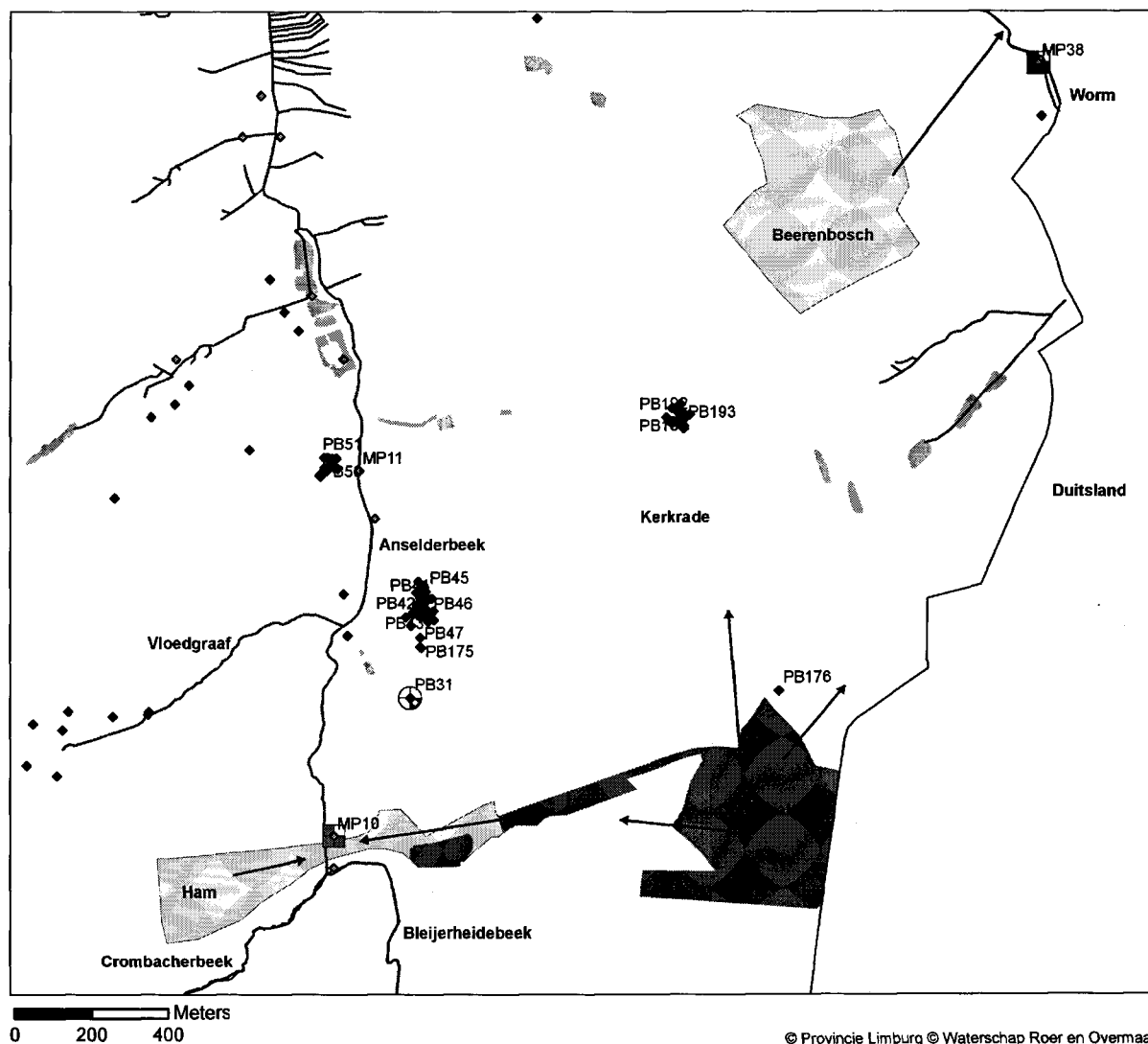
Figuur 7.22. Overschrijdingen MTR sulfaat (rood).



Figuur 7.23. Overschrijdingen MTR koper (rood).



Figuur 7.24. Overschrijding MTR nikkel (rood).



Figuur 7.25. Overschrijdingen MTR zink (rood).

7.9.2. Conceptueel model

Bron

De bron van de stoffen in dit geval is de mijnsteen die aanwezig is op de terreinen.

Pad

De bodemopbouw beneden de onderzoeksgebieden is beschreven in onderstaande tabellen.

Tabel 7.18. Schematische weergave van bodemopbouw in omgeving van het Willem-Sophia-terrein:

Diepte (meters t.o.v. NAP)		Formatie	Geohydrologie
van	tot		
157	154	Boxtel-Boxtel Schimmert k1	mdl1b
154	153	Beegden-Beegden z1	wvp1a
153	148	Beegden-Beegden z3	wvp1a
148	139	Rupel-Rupel z2	sdl2
139	125	Rupel-Rupel k2	sdl2
125	123	Rupel-Rupel z3	sdl2
123	122	Tongeren-Tongeren z1	sdl2
122	105	Tongeren-Tongeren z2	sdl2

Tabel 7.19. Schematische weergave van bodemopbouw in omgeving van het Domaniale-terrein:

Diepte (meters t.o.v. NAP)		Lithologie	Formatie	Geohydrologie
van	tot			
165	158	Leem	Boxtel-Boxtel Schimmert k1	mdl1b
158	156	Zand, grof	Beegden-Beegden z1	wvp1a
156	147	Klei	Beegden-Beegden z3	wvp1a
147	144	Klei	Rupel-Rupel z2	sdl2
144	142	Klei	Rupel-Rupel k2	sdl2
142	141	Klei	Tongeren-Tongeren z1	sdl2
141	125		Tongeren-Tongeren z2	sdl2

Tabel 7.20. Schematische weergave van bodemopbouw in omgeving van Beerenbosch, ten noorden van de Feldbissbreuk:

Diepte (meters t.o.v. NAP)		Formatie	Geohydrologie
van	tot		
108	102	Boxtel	mdl1b
102	50	Breda	wvp1a
50	20	Rupel	sdl1
20	-36	Tongeren	sdl2

Tabel 7.21. Schematische weergave van bodemopbouw in omgeving van Beerenbosch, ten zuiden van de Feldbissbreuk:

Diepte (meters t.o.v. NAP)		Formatie	Geohydrologie
van	tot		
144	140	Boxtel	mdl1b
140	100	Rupel	sdl1
100	84	Tongeren	sdl2

De geologie van deze mijnsteengebieden wordt in twee delen verdeeld door de Feldbissbreuk. Ten noorden van deze breuk liggen de formaties van Breda en Boxtel onder het mijnsteengebied. Deze formaties zijn watervoerend en het grondwater in deze pakketten kan worden beïnvloed door de mijnsteen. Ten zuiden van de breuk liggen de formaties van Boxtel en Rupel onder de mijnsteen, de formatie van Rupel is slecht doorlatend. In deze gebieden kan alleen het grondwater in de formatie van Boxtel worden beïnvloed door mijnsteen.

Het grondwater ter plaatse van de Willem-Sophia bevindt zich op een diepte van circa 145 meter +NAP, het voormalig fabrieksterrein ligt op circa 155 meter +NAP en het terrein ten zuiden van de spoorlijn ligt op circa 165 meter +NAP. De mijnsteen ligt niet in het grondwater en het water in de mijnsteen is daarom alleen afkomstig van geïnfiltreerd hemelwater. In de mijnsteen heerst een onverzadigd milieu. Het percolaat stroomt naar het grondwater en vervolgens in zuidelijke richting naar de Crombacherbeek.

Het fabrieksterrein van de Domaniale mijn ligt op circa 170 meter +NAP en het grondwater bevindt zich hier op circa 145 meter +NAP. Ook hier ligt de mijnsteen niet in het grondwater. Het grondwater ter plaatse van dit terrein stroomt waarschijnlijk richting het westen naar de Anselderbeek, maar ook richting het noord-noordoosten.

Het plateaustort Ham ligt op circa 150 meter +NAP en het grondwater op circa 130 meter +NAP. Het gebied is gedeeltelijk afgedekt door de weg die op het plateau aangelegd is. Ook hier ligt het grondwaterniveau dieper dan de onderkant van de mijnsteen en is het water in het stort daarom alleen afkomstig van hemelwater, in het stort heerst een onverzadigd milieu. Het water stroomt uit de mijnsteen naar het grondwater en stroomt van daar naar de Anselderbeek.

Object

Object zijn de oppervlaktewaterlichamen in de omgeving, de Anselderbeek en de Crombacherbeek.

7.9.3. Interpretatie beïnvloeding grond- en oppervlaktewater

Bron

Er zijn geen gegevens van grondwaterkwaliteit in de bron.

Pad

Op één peilbuis (PB176) na zijn er geen gegevens van grondwaterkwaliteit langs de paden. In PB176 zijn alleen minerale olie en naftaleen gemeten, deze waren allen beneden detectie.

Object

De invloed van de mijnsteengebieden op de meetpunten MP10 en MP38 lijkt beperkt. In het oppervlaktewater zijn wel zware metalen aanwezig, het is waarschijnlijk dat deze uit het buitenland zijn aangevoerd. De sulfaatconcentratie in MP10 neemt toe tussen 2006 en 2009. Dit is niet het geval voor MP38.

Meetpunt	Sulfaat concentratie (mg/l)			
	2006	2007	2008	2009
MP10	73	88,4	90	104,2
MP38	97	107	90	81,56

In MP10 is een stijgende trend waar te nemen van de sulfaatconcentratie over de periode 2006 tot en met 2009.

Overig gebied

Er zijn geen gegevens van grondwaterkwaliteit in het overig gebied.

7.9.4. Conclusie

Uit de analyse van de beschikbare data kan het volgende worden geconcludeerd:

- Voor de periode 2006-2009 zijn geen (relevante) grondwaterkwaliteitgegevens beschikbaar van de omgeving van het voormalig Dominiale- en Willem-Sophia-terrein waardoor geen uitspraak gedaan kan worden over de beïnvloeding van de grondwaterkwaliteit door de mijnsteen;
- De slecht doorlatende laag van de Formatie van Rupel op een diepte van 140 m+NAP beperkt de verticale stroming ten zuiden van de Feldbissbreuk. Het watervoerend pakket is hier maar 4 meter. Verwacht wordt dat een eventuele invloed van de mijnsteen niet dieper zal reiken dan de formatie van Rupel;
- Ten noorden van de Feldbissbreuk is de formatie van Breda onder de mijnsteen berg aanwezig. Dit is een watervoerend pakket van 58 meter, waarvan de basis op 50 m+NAP ligt. Een eventuele invloed van mijnsteen zou tot deze diepte kunnen komen;
- De invloed van de mijnsteengebieden op de Anselderbeek en de Crombacherbeek lijkt beperkt.

7.10. Voormalig Juliaterein

De mijnsteen die in het verleden door de mijn Julia werd geproduceerd is gedeeltelijk over het gehele terrein uitgespreid. Daarnaast is mijnsteen van de Julia, na een tweede wasproces op de Laura-steenbergen I en II gestort [bron: gemeente Kerkrade]. Op het terrein komen daarnaast enige voormalige slikvijvers voor. De ondergrond bestaat uit leemhoudend materiaal en was moerasachtig. In het verleden is een meander van de Worm geheel opgevuld met mijnsteen [PBI (deelrapport B), 1985].

Het te storten materiaal bestond hoofdzakelijk uit zuivere mijnsteen en wasserijsteen. Op het terrein van de Julia is in ieder geval verwerkte mijnsteen van de steenbergen Laura, Emma/Hendrik en enige Duitse steenbergen aanwezig. Tevens werden vlieg-as en slakken, van de elektrische centrale die op het Julia-terrein lag, gestort. De slikvijvers werden in eerste instantie gebruikt voor het opslaan van slik. Later is het slik deels uitgegraven en zijn de putten ook gebruikt voor het storten van vlieg-as afkomstig van de elektrische centrale. In 1974 werd de kolenproductie bij deze mijn gestaakt.

Het voormalig fabrieksterrein van de Julia is in het zuiden momenteel ingericht als industrieterrein, dat hoofdzakelijk bestaat uit bedrijvigheid in de sectoren industrie, transport en distributie. Op het noordelijke gedeelte liggen NAVO-depots.

Ter plaatse van het terrein met de voormalige slikvijvers bevindt zich nu een bedrijventerrein.

Zoals aangegeven is het mijnsterrein van de Julia nu in gebruik door bedrijven, toch is een groot gedeelte onafgedekt met gebouwen of wegen.

7.10.1. Analyseresultaten

Verdeling meetlocaties

In het noordelijke deel van het mijnsterrein, het fabrieksterrein, liggen geen peilbuizen in de bron en geen in het pad. Er ligt een meetpunt in de Worm en één in de Anselderbeek, maar deze zijn niet bemonsterd in de periode 2006-2009. In het overig gebied ligt één meetpunt, maar dat ligt redelijk ver weg stroomafwaarts in de Worm (MP40). Dit meetpunt is in 2006 tot en met 2009 bemonsterd.

In het zuidelijke deel van het mijnsterrein, de slikvijvers, liggen veel peilbuizen in de bron. Hiervan zijn er enkele bemonsterd in het jaar 2007, namelijk PB52 t/m PB56 en PB183 t/m PB187.

Er is geen pad aan te duiden omdat het gebied direct grenst aan de Worm. In de Worm, het object, ligt één meetpunt (MP39) dat alleen in 2006 bemonsterd is. In het overig gebied liggen meerdere peilbuizen, deze liggen allemaal ten westen van het mijnsteengebied. Hiervan is een aantal bemonsterd in 2006 (PB14 t/m PB16) en een aantal in 2007 (PB19 t/m PB24 en PB26 t/m PB30).

Overschrijdingen

In het grondwater zijn alleen voor sulfaat overschrijdingen gemeten. In PB52, PB53, PB183 en PB184 werd in 2007 de drinkwaternorm voor sulfaat overschreden.

In de twee meetpunten in de Worm (MP39 en MP40) werden overschrijdingen van de MTR van koper, nikkel, sulfaat en zink gemeten.

In navolgende tabel 7.22. zijn de relevante meetwaarden opgenomen.

Tabel 7.22. Samenvatting van analyse gegevens van het grond- en oppervlaktewater in de nabijheid van het voormalige Juliaterein:

				Relevante meetwaarden (incl. jaar van meting)		
	PB/MP	Diepte m+NAP	Diepte m-mv	Circulaire bodemsanering	NW4	Drinkwaternor m
Bron	PB52	87,5	13,5	pH 6,47 2007 EC 1820 µS/cm 2007 As 18 µg/l 2007 Cd BD 2007 Cr BD 2007 Cu BD 2007 Hg BD 2007 Ni BD 2007 Pb BD 2007 Zn BD 2007 Minerale olie BD 2007 Naftaleen BD 2007		SO ₄ 850 mg/l 2007
	PB53	90,3	13,5	pH 5,95 2007 EC 1520 µS/cm 2007 As 7,80 µg/l 2007 Cd 0,40 µg/l 2007 Cr BD 2007 Cu BD 2007 Hg BD 2007 Ni BD 2007 Pb BD 2007 Zn BD 2007 Minerale olie BD 2007 Naftaleen BD 2007		SO ₄ 470 mg/l 2007
	PB54	89,1	13,5	pH 6,01 2007 EC 1160 µS/cm 2007 As BD 2007 Cd BD 2007 Cr BD 2007 Cu BD 2007 Hg BD 2007 Ni BD 2007 Pb BD 2007 Zn BD 2007 Minerale olie BD 2007 Naftaleen BD 2007		SO ₄ 120 mg/l 2007

PB55	144	7	pH 5,5 2007 EC 676 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 2007 As 5,30 $\mu\text{g}/\text{l}$ 2007 Cd BD 2007 Cr BD 2007 Cu BD 2007 Hg BD 2007 Ni BD 2007 Pb BD 2007 Zn BD 2007 Minerale olie BD 2007 Naftaleen BD 2007		SO ₄ 76 mg/l 2007
PB56	145	7	pH 6,65 2007 EC 591 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 2007 As BD 2007 Cd BD 2007 Cr BD 2007 Cu BD 2007 Hg BD 2007 Ni BD 2007 Pb BD 2007 Zn BD 2007 Minerale olie BD 2007 Naftaleen BD 2007		SO ₄ 58 mg/l 2007
PB183	88,9	13,5	pH 6,47 2007 EC 1820 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 2007 As 18 $\mu\text{g}/\text{l}$ 2007 Cd BD 2007 Cr BD 2007 Cu BD 2007 Hg BD 2007 Ni BD 2007 Pb BD 2007 Zn BD 2007 Minerale olie BD 2007 Naftaleen BD 2007		SO ₄ 850 mg/l 2007
PB184	88,2	13,5	pH 5,95 2007 EC 1520 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 2007 As 7,80 $\mu\text{g}/\text{l}$ 2007 Cd 0,40 $\mu\text{g}/\text{l}$ 2007		SO ₄ 470 mg/l 2007

	PB184	88,2	13,5	pH 5,95 2007 EC 1520 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 2007 As 7,80 $\mu\text{g}/\text{l}$ 2007 Cd 0,40 $\mu\text{g}/\text{l}$ 2007 Cr BD 2007 Cu BD 2007 Hg BD 2007 Ni BD 2007 Pb BD 2007 Zn BD 2007 Minerale olie BD 2007 Naftaleen BD 2007		SO ₄ 470 mg/l 2007
	PB185	87,5	13,5	pH 6,01 2007 EC 1160 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 2007 As BD 2007 Cd BD 2007 Cr BD 2007 Cu BD 2007 Hg BD 2007 Ni BD 2007 Pb BD 2007 Zn BD 2007 Minerale olie BD 2007 Naftaleen BD 2007		SO ₄ 120 mg/l 2007
	PB186	90,3	13,5	pH 5,51 2007 EC 676 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 2007 As 5,30 $\mu\text{g}/\text{l}$ 2007 Cd BD 2007 Cr BD 2007 Cu BD 2007 Hg BD 2007 Ni BD 2007 Pb BD 2007 Zn BD 2007 Minerale olie BD 2007 Naftaleen BD 2007		SO ₄ 76 mg/l 2007
	PB187	89,1	13,5	pH 6,65 2007 EC 591 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 2007 As BD 2007 Cd BD 2007		SO ₄ 58 mg/l 2007

		89,1	13,5	pH 6,65 2007 EC 591 µS/cm 2007 As BD 2007 Cd BD 2007 Cr BD 2007 Cu BD 2007 Hg BD 2007 Ni BD 2007 Pb BD 2007 Zn BD 2007 Minerale olie BD 2007 Naftaleen BD 2007		SO ₄ 58 mg/l 2007
Pad						
Object	MP39				Cu 4,67 µg/l 2006 Ni 6,77 µg/l 2006 SO ₄ 107 mg/l 2006 Zn 45,42 µg/l 2006	
	MP40				Cu 6,77 µg/l 2006 Cu 6,67 µg/l 2007 Cu 5,98 µg/l 2008 Cu 6,26 µg/l 2009 Ni 7,14 µg/l 2006 Ni 11,60 µg/l 2007 Ni 6,58 µg/l 2009 SO ₄ 102,8 mg/l 2006 SO ₄ 109,4 mg/l 2007 Zn 56,08 µg/l 2006 Zn 61,53 µg/l 2007 Zn 77,79 µg/l 2008 Zn 63,03 µg/l 2009	
Overig gebied	PB14	93	10	pH 6,9 2006 EC 462 µS/cm 2006 As BD 2006 Cd BD 2006		

	PB14	93	10	pH 6,9 2006 EC 462 μS/cm 2006 As BD 2006 Cd BD 2006 Cr BD 2006 Cu BD 2006 Hg BD 2006 Ni BD 2006 Pb BD 2006 Zn BD 2006 Minerale olie BD 2006 Naftaleen BD 2006 Benzo(a)pyreen BD 2006		
		97,4	6,6	pH 6,6 2006 EC 297 μS/cm 2006 As BD 2006 Cd BD 2006 Cr 4,40 μg/l 2006 Cu BD 2006 Hg BD 2006 Ni BD 2006 Pb BD 2006 Zn BD 2006 Minerale olie BD 2006 Naftaleen BD 2006 Benzo(a)pyreen BD 2006		
	PB15	94,7	9,3	pH 7,1 2006 EC 1018 μS/cm 2006 As BD 2006 Cd BD 2006 Cr BD 2006 Cu BD 2006 Hg BD 2006 Ni BD 2006 Pb BD 2006 Zn BD 2006 Minerale olie BD 2006 Naftaleen BD 2006 Benzo(a)pyreen BD 2006		
	PB16	94,5	2,5	pH 7,1 2006 EC 1158 μS/cm 2006 As BD 2006 Cd BD 2006		

		94,5	2,5	pH 7,1 2006 EC 1158 $\mu\text{S/cm}$ 2006 As BD 2006 Cd BD 2006 Cr 5,70 $\mu\text{g/l}$ 2006 Cu BD 2006 Hg BD 2006 Ni 10 $\mu\text{g/l}$ 2006 Pb BD 2006 Zn BD 2006 Minerale olie BD 2006 Naftaleen BD 2006 Benzo(a)pyreen BD 2006		
		93,3	4,7	pH 7,1 2006 EC 808 $\mu\text{S/cm}$ 2006 As BD 2006 Cd BD 2006 Cr BD 2006 Cu BD 2006 Hg BD 2006 Ni BD 2006 Pb BD 2006 Zn BD 2006 Minerale olie BD 2006 Naftaleen BD 2006 Benzo(a)pyreen BD 2006		
	PB19	95,9	7,1	pH 7,26 2007 EC 882 $\mu\text{S/cm}$ 2007 As BD 2007 Cd BD 2007 Cr BD 2007 Cu BD 2007 Hg BD 2007 Ni BD 2007 Pb BD 2007 Zn BD 2007 Minerale olie BD 2007 Naftaleen 0,15 $\mu\text{g/l}$ 2007 Benzo(a)pyreen BD 2007		
	PB20	89,5	13,5	pH 6,8 2007 EC 1458 $\mu\text{S/cm}$ 2007 As 5,60 $\mu\text{g/l}$ 2007 Cd BD 2007		

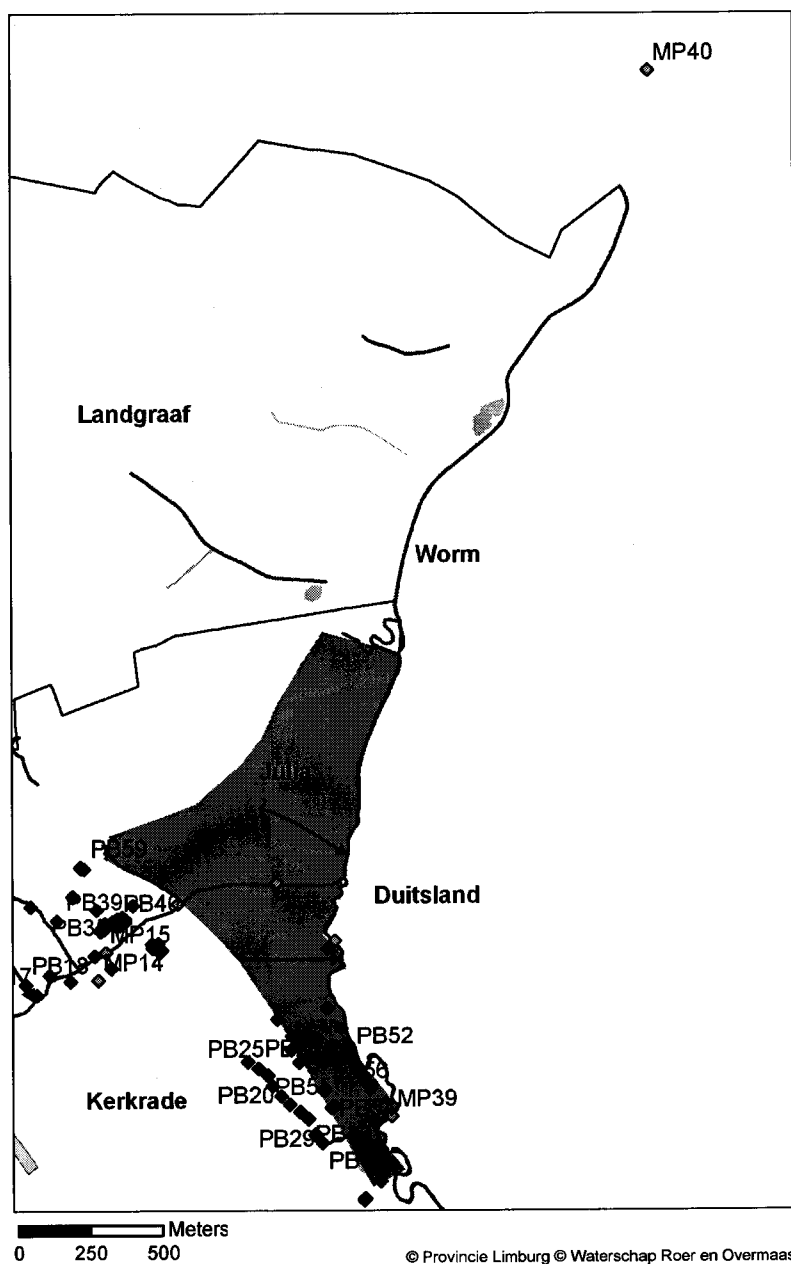
	PB20	89,5	13,5	pH 6,8 2007 EC 1458 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 2007 As 5,60 $\mu\text{g}/\text{l}$ 2007 Cd BD 2007 Cr BD 2007 Cu BD 2007 Hg BD 2007 Ni BD 2007 Pb BD 2007 Zn 140 $\mu\text{g}/\text{l}$ 2007 Minerale olie BD 2007 Naftaleen 0,13 $\mu\text{g}/\text{l}$ 2007 Benzo(a)pyreen BD 2007		
	PB21	97,1	6,9	As BD 2007 Cd BD 2007 Cr BD 2007 Cu BD 2007 Hg BD 2007 Ni BD 2007 Pb BD 2007 Zn BD 2007 Minerale olie BD 2007 Naftaleen 0,15 $\mu\text{g}/\text{l}$ 2007 Benzo(a)pyreen BD 2007		
	PB22	92,9	11,1	pH 6,81 2007 EC 1680 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 2007 As 9,10 $\mu\text{g}/\text{l}$ 2007 Cd BD 2007 Cr 1,20 $\mu\text{g}/\text{l}$ 2007 Cu BD 2007 Hg BD 2007 Ni BD 2007 Pb BD 2007 Zn BD 2007 Minerale olie BD 2007 Naftaleen 0,13 $\mu\text{g}/\text{l}$ 2007 Benzo(a)pyreen BD 2007		
	PB23	96,5	9,5	As 6,40 $\mu\text{g}/\text{l}$ 2007 Cd BD 2007 Cr BD 2007 Cu BD 2007		

				Hg BD 2007 Ni BD 2007 Pb BD 2007 Zn BD 2007 Minerale olie BD 2007 Naftaleen 0,14 µg/l 2007 Benzo(a)pyreen BD 2007		
	PB24	91,5	14,5	pH 7,06 2007 EC 1987 µS/cm 2007 As 5 µg/l 2007 Cd BD 2007 Cr BD 2007 Cu BD 2007 Hg BD 2007 Ni BD 2007 Pb BD 2007 Zn BD 2007 Minerale olie 160 ugi 2007 Naftaleen 0,18 µg/l 2007 Benzo(a)pyreen BD 2007		
	PB26	84,9	18,1	pH 7,11 2007 EC 848 µS/cm 2007 As 5,80 µg/l 2007 Cd BD 2007 Cr 1,10 µg/l 2007 Cu BD 2007 Hg BD 2007 Ni BD 2007 Pb BD 2007 Zn BD 2007 Minerale olie BD 2007 Naftaleen BD 2007 Benzo(a)pyreen BD 2007		
	PB27	90,7	12,3	pH 7,34 2007 EC 2360 µS/cm 2007 As 7,90 µg/l 2007 Cd BD 2007 Cr BD 2007 Cu BD 2007 Hg BD 2007 Ni BD 2007		

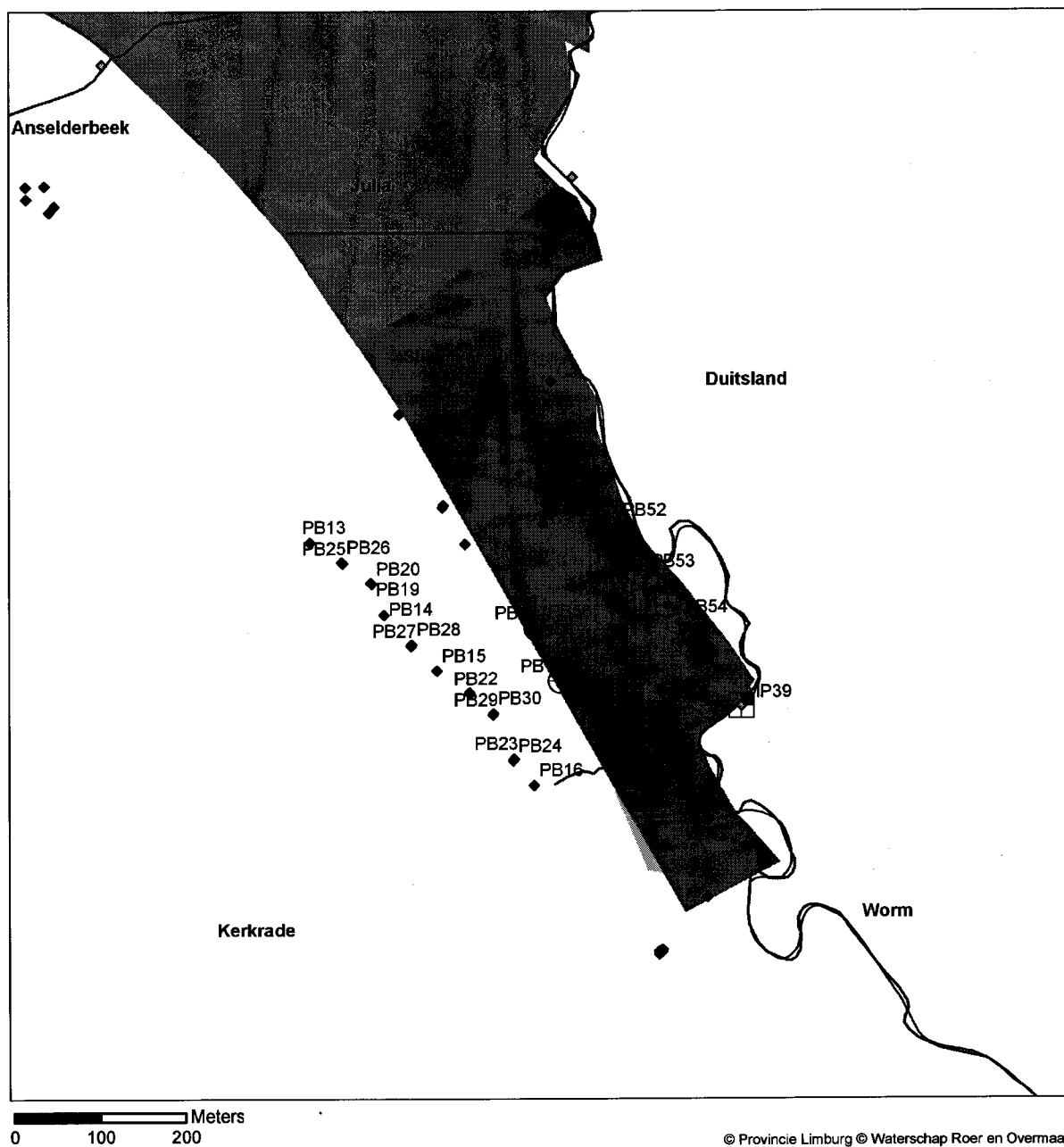
				Pb BD 2007 Zn BD 2007 Minerale olie BD 2007 Naftaleen 0,12 µg/l 2007 Benzo(a)pyreen BD 2007		
	PB28	87,1	15,9	pH 6,9 2007 EC 1680 µS/cm 2007 As BD 2007 Cd BD 2007 Cr 1,10 µg/l 2007 Cu BD 2007 Hg BD 2007 Ni BD 2007 Pb BD 2007 Zn BD 2007 Minerale olie BD 2007 Naftaleen 0,12 µg/l 2007 Benzo(a)pyreen BD 2007		
	PB29	97,8	2,2	pH 6,82 2007 EC 1777 µS/cm 2007 As 9,60 µg/l 2007 Cd BD 2007 Cr BD 2007 Cu BD 2007 Hg BD 2007 Ni BD 2007 Pb BD 2007 Zn BD 2007 Minerale olie BD 2007 Naftaleen BD 2007 Benzo(a)pyreen BD 2007		
	PB30	148,85	4,5	pH 6,95 2007 EC 2020 µS/cm 2007 As 9,20 µS/cm 2007 Cd BD 2007 Cr BD 2007 Cu BD 2007 Hg BD 2007 Ni BD 2007 Pb BD 2007 Zn BD 2007 Minerale olie BD 2007 Naftaleen 0,13 µg/l 2007		

	PB30	148,85	4,5	pH 6,95 2007 EC 2020 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 2007 As 9,20 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 2007 Cd BD 2007 Cr BD 2007 Cu BD 2007 Hg BD 2007 Ni BD 2007 Pb BD 2007 Zn BD 2007 Minerale olie BD 2007 Naftaleen 0,13 $\mu\text{g}/\text{l}$ 2007 Benzo(a)pyreen BD 2007		
--	------	--------	-----	---	--	--

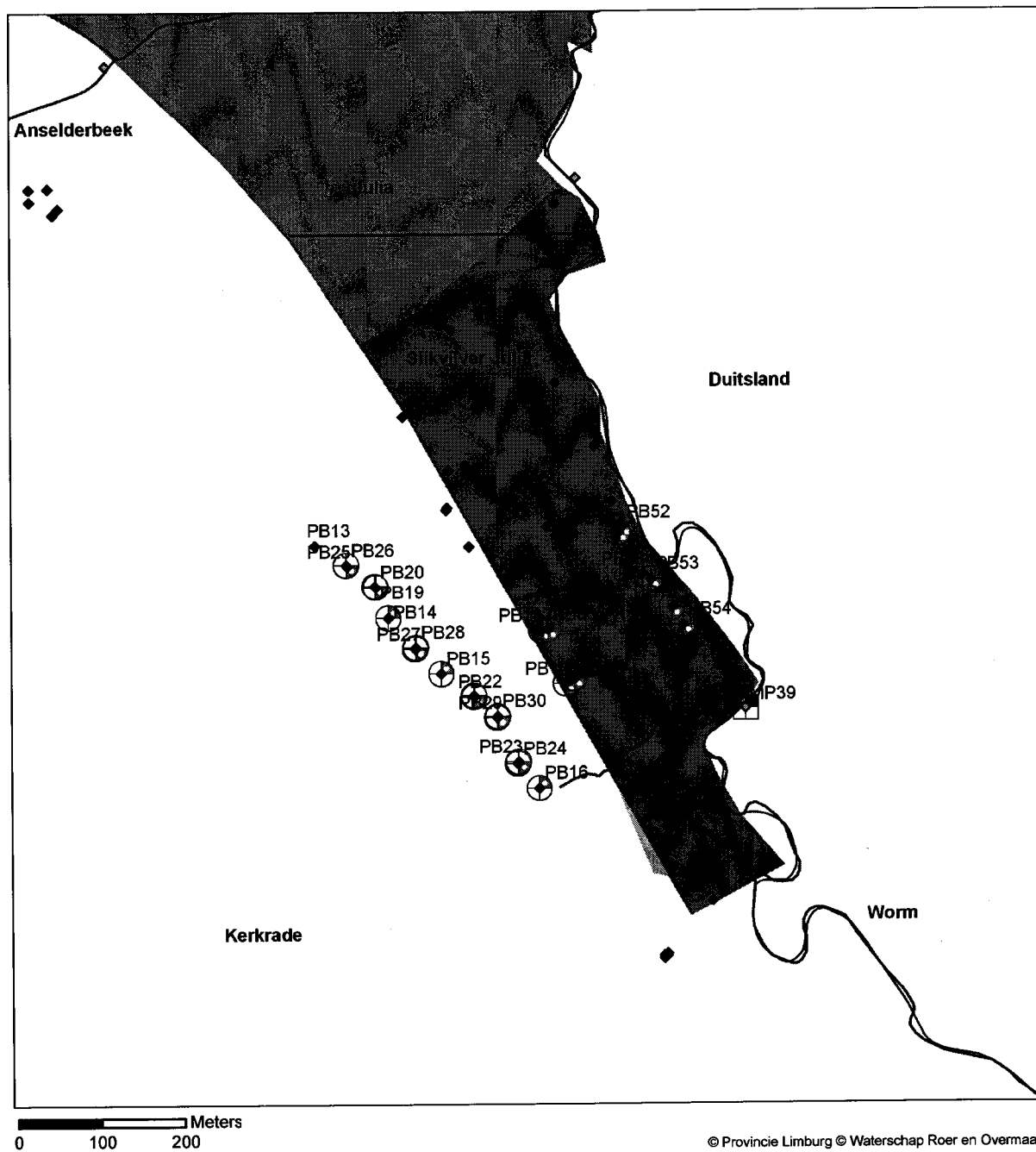
In figuur 7.26. is een overzicht gegeven van de ligging van het mijnsterrein Julia. Hierop is in het noorden meetpunt 40 te zien. In de figuren 7.27. t/m 7.30. is ingezoomd op het terrein met de slikvijvers van Julia. Het gebied is te groot om op één kaart te laten zien. Achtereenvolgens worden de overschrijdingen van de drinkwaternorm en het MTR voor sulfaat weergegeven, de overschrijdingen van het MTR voor koper, het MTR voor nikkel en het MTR voor zink.



Figuur 7.26. Overzicht mijnsterrein Julia.

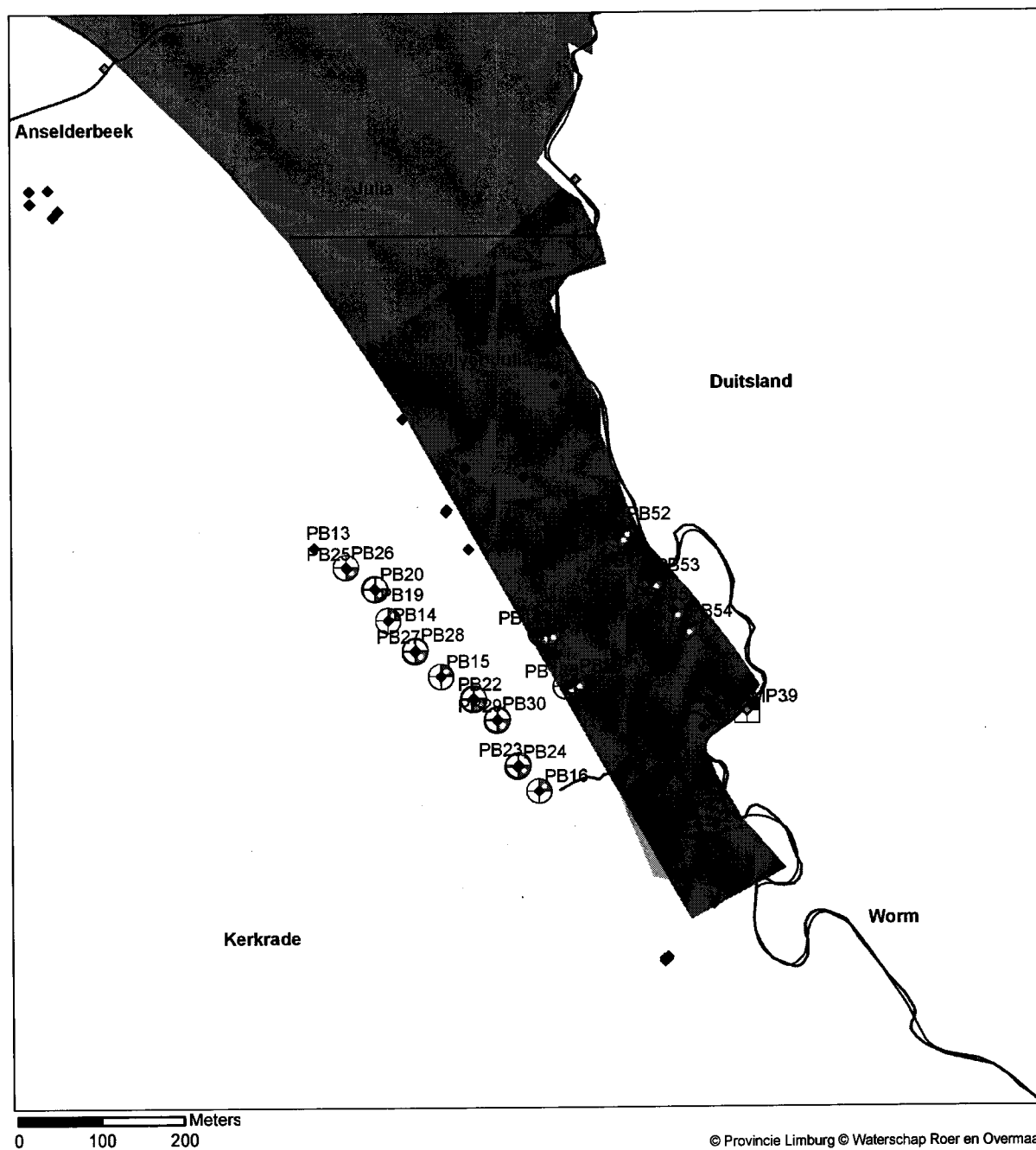


Figuur 7.27. Overschrijdingen drinkwaternorm en MTR sulfaat (oranje en rood).

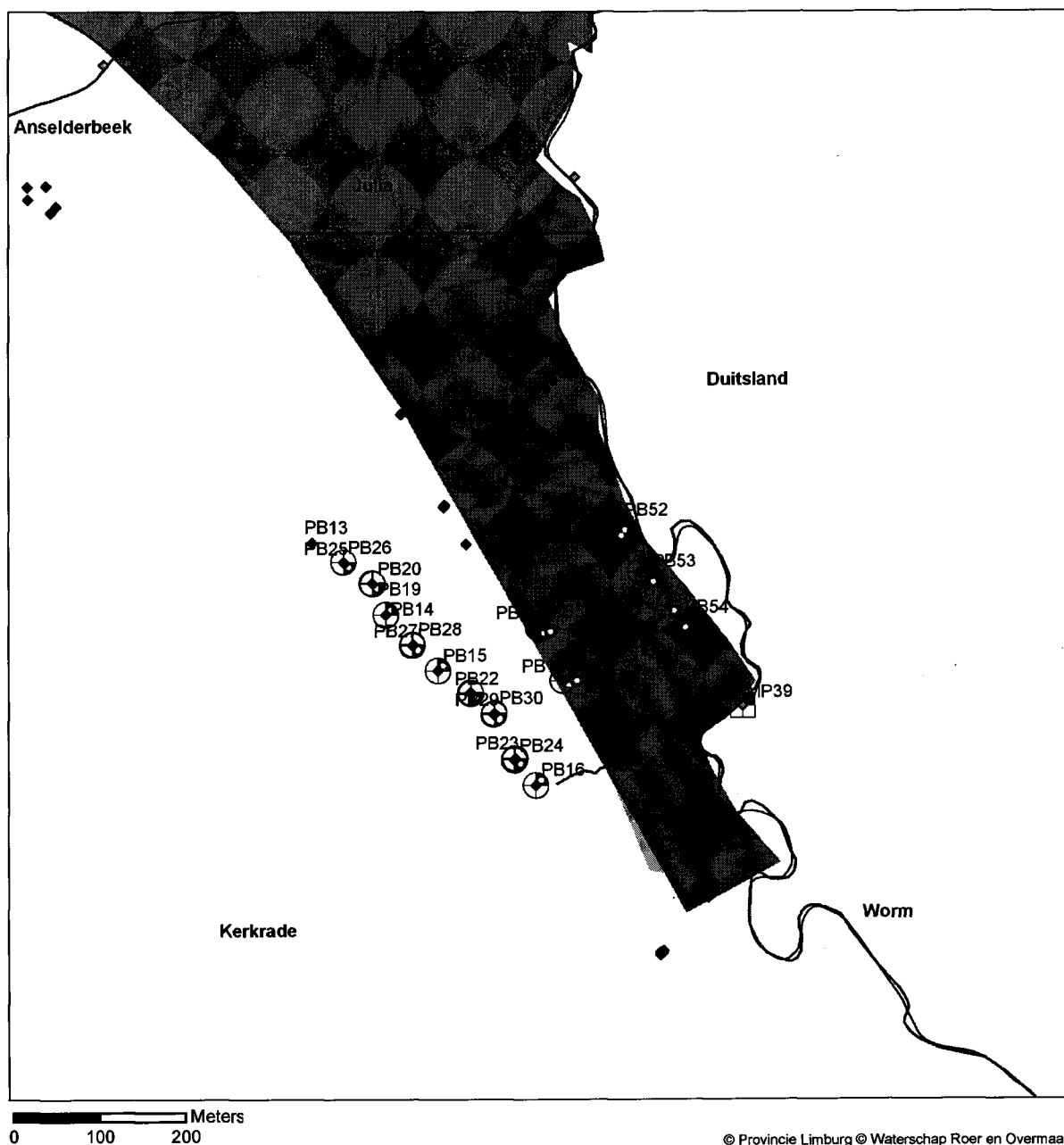


Figuur 7.28. Overschrijding MTR koper (rood).

© Provincie Limburg © Waterschap Roer en Overmaas



Figuur 7.29. Overschrijding MTR nikkel (rood).



Figuur 7.30. Overschrijding MTR zink (rood).

7.10.2. Conceptueel model

Bron

De bron van de stoffen in dit geval is de mijnsteen die aanwezig is op het Juliaterrain.

Pad

De bodemopbouw beneden het Juliaterrain is beschreven in tabel 7.23.

Tabel 7.23. Schematische weergave van bodemopbouw in omgeving van het voormalige Juliaterein:

Diepte (meters t.o.v. NAP)		Formatie
van	tot	
100	95	Boxtel-Boxtel Schimmert k1
95	88	Breda-Ville Breda z3
88	80	Breda-Ville bruinkool2
80	-6	Breda-Ville Breda z4
-6	-24	Rupel-Rupel z2
-24	-60	Rupel-Rupel z3
-60	-80	Tongeren-Tongeren z1/ Tongeren-Tongeren Goudsberg k1
-80	-108	Tongeren-Tongeren z2

In REGIS zijn voor dit gebied de hydrologische eigenschappen van de ondergrond niet geclassificeerd, deze zijn daarom in bovenstaande tabel ook niet geclassificeerd.

Onder de mijnsteen ligt de formatie van Schimmert en de formatie van Breda. In de formatie van Breda bevindt zich op een diepte van 88 m+NAP de Breda-Ville bruinkool. Een slecht doorlatend pakket van circa 8 m dik. Deze laag beperkt de infiltratie van water naar de dieper gelegen watervoerende pakketten van de formatie van Breda. Het is daarom waarschijnlijk dat grondwater dat wordt beïnvloed door mijnsteen niet dieper zal infiltreren dan deze slecht doorlatende laag van deze formatie.

De mijnsteen hier staat niet in contact met het grondwater. Het maaiveld bevindt zich op circa 100 meter +NAP en het grondwater bevindt zich op een diepte van 90 meter +NAP. Het water in de mijnsteen is daarom alleen afkomstig van geïnfiltreerd hemelwater en in de mijnsteen heerst een onverzadigd milieu. Het percolaat stroomt naar het grondwater en vervolgens in oostelijke richting de Worm.

Het is niet duidelijk of al het grondwater naar de Worm stroomt, een deel van het verontreinigde water zou onder de beek door kunnen stromen.

Object

Object is het oppervlaktewaterlichaam in de omgeving, de Worm.

7.10.3. Interpretatie beïnvloeding grond- en oppervlaktewater

Bron

Er zijn veel gegevens van de grondwaterkwaliteit beschikbaar in de bron. De gegevens zijn afkomstig van twee groepen peilbuizen. De eerste groep bestaande uit PB55, PB56, BP186 en PB187 ligt aan de stroomopwaartse kant van de grondwaterstroming. De tweede groep bestaande uit PB52, PB53, PB54, PB183, PB184 en PB185 ligt aan de stroomafwaartse kant van de grondwaterstroming.

Analyseresultaten geven aan dat in de twee groepen peilbuizen dezelfde datasets aanwezig zijn, dus die twee keer zijn opgenomen in het databestand. Voor deze analyse behandelen we daarom alleen de peilbuizen PB55, PB56, PB52, PB53 en PB54.

De invloed van de mijnsteen op het grondwater onder de berg is goed zichtbaar. In de twee stroomopwaartse putten is de sulfaatconcentratie 76 mg/l en 58 mg/l, aan de stroomafwaartse kant zijn concentraties gemeten van 120 mg/l, 470 mg/l en 850 mg/l. De EC stijgt van 591 – 676 $\mu\text{S}/\text{cm}$ tot 1160 – 1820 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en de pH ligt tussen 5,5 en 6,65. Bovenstrooms wordt in PB55 een arseenconcentratie van 5,30 $\mu\text{g}/\text{l}$ gemeten. Benedenstrooms worden concentraties van 7,8 en 18 $\mu\text{g}/\text{l}$ gemeten.

Pad

Er zijn geen gegevens beschikbaar van peilbuizen. Omdat het mijnsteengebied direct grenst aan een oppervlaktewaterlichaam is er ook geen pad tussen bron en object.

De omvang van de verontreiniging is hier niet ingekaderd. Er ontbreken met name peilbuizen in het fabrieksterrein Julia en meetpunten in de Worm en in de Anselderbeek.

Object

Er zijn beperkte gegevens beschikbaar van de waterkwaliteit in de omliggende objecten. Meetpunt MP39 ligt stroomopwaarts van de mijnsteenbergrand en meetpunt MP40 ligt op grote afstand te noorden van de mijnsteenbergrand. De waterkwaliteitsgegevens zijn erg vergelijkbaar, voor MP39 versus MP40:

- Sulfaat 107 mg/l versus 105 mg/l;
- Koper 4,67 $\mu\text{g}/\text{l}$ versus 6,5 $\mu\text{g}/\text{l}$;
- Nikkel 6,77 $\mu\text{g}/\text{l}$ versus 8 $\mu\text{g}/\text{l}$;
- Zink 45,4 $\mu\text{g}/\text{l}$ versus 65 $\mu\text{g}/\text{l}$.

Concentraties in het grondwater net ten westen van de beek zijn vrij hoog, sulfaat bijvoorbeeld; 850 mg/l, 470 mg/l en 120 mg/l. Daarnaast zitten er in het oppervlaktewater meer zware metalen dan in het grondwater. Uit deze gegevens kan daarom worden opgemaakt dat de invloed van mijnsteen op dit oppervlaktewater minimaal is. Zware metalen zijn waarschijnlijk al aanwezig in het oppervlaktewater voordat ze bij het mijnsteengebied aankomen.

MP40 zal ook beïnvloed zijn door de rioolwaterzuivering direct voor het meetpunt.

Overig gebied

Er liggen veel peilbuizen in het overig gebied, in deze peilbuizen zijn pH, EC, zware metalen en minerale olie geanalyseerd. In deze peilbuizen varieert de EC tussen 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, de pH waarden zijn allemaal rond 7 en daarnaast worden er in sommige peilbuizen chroom, nikkel, arseen, naftaleen, en minerale olie aangetroffen.

Deze monsters zijn waarschijnlijk genomen in het kader van een bodemonderzoek dat niet gerelateerd was aan mijnsteen. Sulfaat is niet geanalyseerd. Grondwaterkwaliteit wijst niet op invloed van mijnsteen maar sluit deze invloed ook niet uit. Omdat de peilbuizen stroomopwaarts van de mijnsteen berg liggen, is de invloed onwaarschijnlijk.

7.10.4. Conclusie

Uit de analyse van de beschikbare data kan het volgende worden geconcludeerd:

- De grondwaterkwaliteit onder de mijnsteen berg is beïnvloed door de mijnsteen die aanwezig is ter plaatse van het voormalig Juliaterein;
- In de periode 2006-2009 zijn in het grondwater ten opzichte van de drinkwaternorm verhoogde gehalten sulfaat gemeten;
- De mijnsteen grenst direct aan de Worm. Het is onbekend of al het water uit de mijnsteen naar de Worm stroomt. Een deel van het grondwater zou onder de Worm door kunnen stromen. Omdat er geen peilbuizen aan de Duitse kant van de Worm aanwezig zijn kan de horizontale verspreiding niet worden afgeperkt;
- De slecht doorlatende laag bestaande uit bruinkool in de formatie van Breda ligt op een diepte van 88 m+NAP. Deze beperkt verticale stroming. Verwacht wordt dat de invloed van de mijnsteen niet dieper zal reiken dan 88 m+NAP en dat hiermee de verticale verspreiding is afgeperkt tot het watervoerende pakket met een dikte van circa 12 meter;
- Uit de beschikbare gegevens kan worden opgemaakt dat de invloed van de mijnsteen van het voormalig Juliaterein op de waterkwaliteit van de Worm minimaal is.

7.11. Voormalig Wilhelminaterrein, Oranje Nassau II terrein en Laura II terrein

Wilhelmina

De kolenproductie in de Staatsmijn Wilhelmina is in 1969 beëindigd. Op het fabrieksterrein heeft in het verleden een synthraciet-fabriek gestaan. Er is hierdoor mogelijk bodemverontreiniging opgetreden [PBI (deelrapport B), 1985]. Op het terrein van de Wilhelmina is ook een mijnsteen berg aanwezig. Deze berg is gemodelleerd en ingericht als recreatieterrein met de kunstschaatsbaan Snowworld. Ten noorden van de steenberg lagen in het verleden twee slikvijvers. Deze vijvers zijn gedempt. Het slik werd uitgegraven en vermengd met mijnsteen. Daarna werd het mengsel uitgespreid over het terrein van de Oranje Nassau II, gemeente Landgraaf. De putten werden vervolgens volgestort met mijnsteen [PBI (deelrapport B), 1985]. Ter plaatse van de oostelijke vijver ligt nu een gedeelte van het sport en leisurepark van de gemeente Landgraaf. Op de westelijke slikvijver is de woonwijk "Eikske" gebouwd. De mijnsteen berg ligt op een lösshoudende ondergrond en bestaat uit wasserijstenen en zuivere mijnsteen. Daarnaast werden hier ook sintels en bezinksel uit de rioolvijvers gestort [PBI (deelrapport B), 1985].

Oranje Nassau II

Op het terrein van de Oranje Nassau II-mijn (ON II) werd in het noordoosten mijnsteen gestort in een puntstort. De ondergrond is een leemhoudende bodem [PBI (deelrapport B), 1985]. Hier zijn alleen zuivere mijnsteen en wasserijsteen gestort. Deze mijn werd gesloten in 1972. De steenberg is later afgegraven en uitgevlakt over het mijnsterrein. Momenteel bevindt zich hier een sport- en leisurepark.

Het westelijk deel van het ON II terrein was het fabrieksterrein. Op deze plaats is de wijk "Eikske" gerealiseerd. Onder de woningen van de wijk 'Eikske' is mijnsteen aanwezig. In het zuidelijk deel van het ON II terrein lag een aantal slikvijvers. Deze zijn gedicht en ook hier ligt nu een gedeelte van het sport- en leisurepark van de gemeente Landgraaf en de woonwijk "Eikske".

Laura II

Het terrein van Laura II ligt in het zuiden/midden van de gemeente Landgraaf en diende als uitbreidingsgebied voor het steenstort van Laura I. Op dit terrein is uiteindelijk alleen in het oosten mijnsteen gestort. Momenteel wordt het gebied gebruikt als akkerland. De mijnsteenberg die zich hier bevond is deels afgegraven en geëgaliseerd. De ondergrond is sterk grindhoudend. Op het steenstort werd een mengsel van wasserijsteen, zuivere mijnsteen en bedrijfsafval gestort.

Tussen het Laura II terrein en het ON II terrein ligt het industrieterrein "Strijthagen". Dit gebied is aangevuld met mijnsteen van de ON II en Laura II.

De terreinen met de (voormalige) mijnsteenbergen van Laura II en Wilhelmina en het fabrieksterrein van de Wilhelmina zijn nagenoeg niet afgedekt, maar het fabrieksterrein van de ON II en het industrieterrein "Strijthagen" zijn grotendeels wel afgedekt door bebouwing en wegen.

7.11.1. Analyseresultaten

Verdeling meetlocaties

In de bronnen liggen in totaal twee peilbuizen (PB72 en PB73), in het pad richting de Caumerbeek liggen vier peilbuizen (PB71, PB92, PB130 en PB134). In het pad richting de Strijthagerbeek liggen in totaal drie peilbuizen, deze zijn echter niet in de periode 2006 – 2009 bemonsterd. In het object, de Strijthagerbeek, liggen diverse meetpunten, waarvan er twee bemonsterd zijn in de onderzoeksperiode (MP35 en MP37). Meetpunt 35 is in 2006 en 2008 bemonsterd, meetpunt 37 alleen in 2008. In het overig gebied ligt één peilbuis (PB70).

De peilbuizen zijn allemaal in 2006 en 2008 bemonsterd, behalve PB134 die alleen in 2006 is bemonsterd.

Overschrijdingen

In één peilbuis is een overschrijding van de drinkwaternorm voor sulfaat waargenomen. In de twee meetpunten in de Strijthagerbeek is een overschrijding van de MTR-waarde voor sulfaat gemeten. Daarnaast is in PB70 een overschrijding van de interventiewaarde voor nikkel gemeten.

In onderstaande tabel 7.24. zijn de relevante meetwaarden opgenomen.

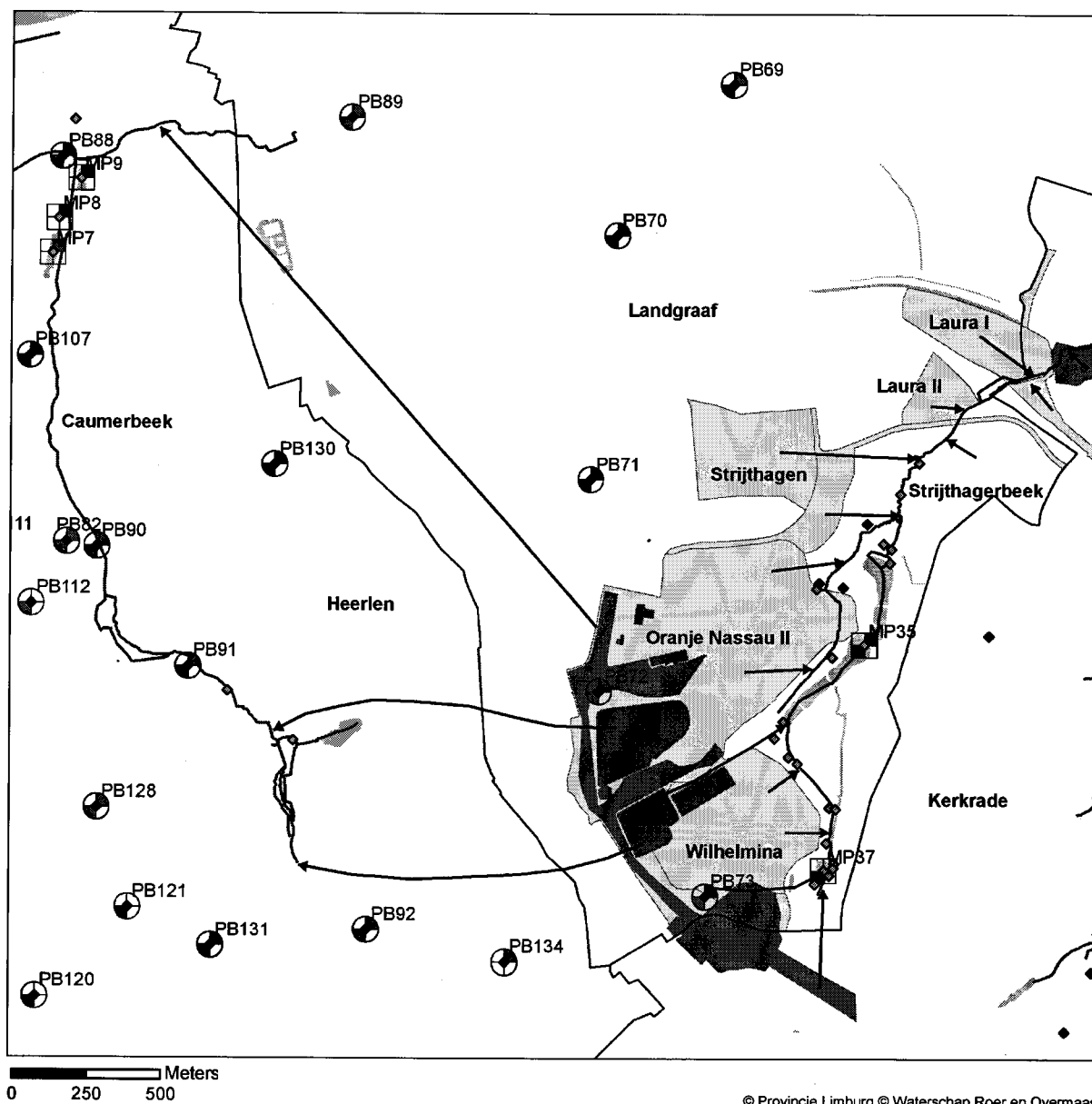
In de figuren 7.31. en 7.32. zijn de meetlocaties weergegeven met de overschrijdingen van respectievelijk de drinkwaternorm en het MTR voor sulfaat en de interventiewaarde voor nikkel.

Tabel 7.24. Samenvatting van analyse gegevens van grond- en oppervlaktewater in de nabijheid van het Voormalig Wilhelminaterrein, Oranje Nassau II -terrein en Laura II –terrein:

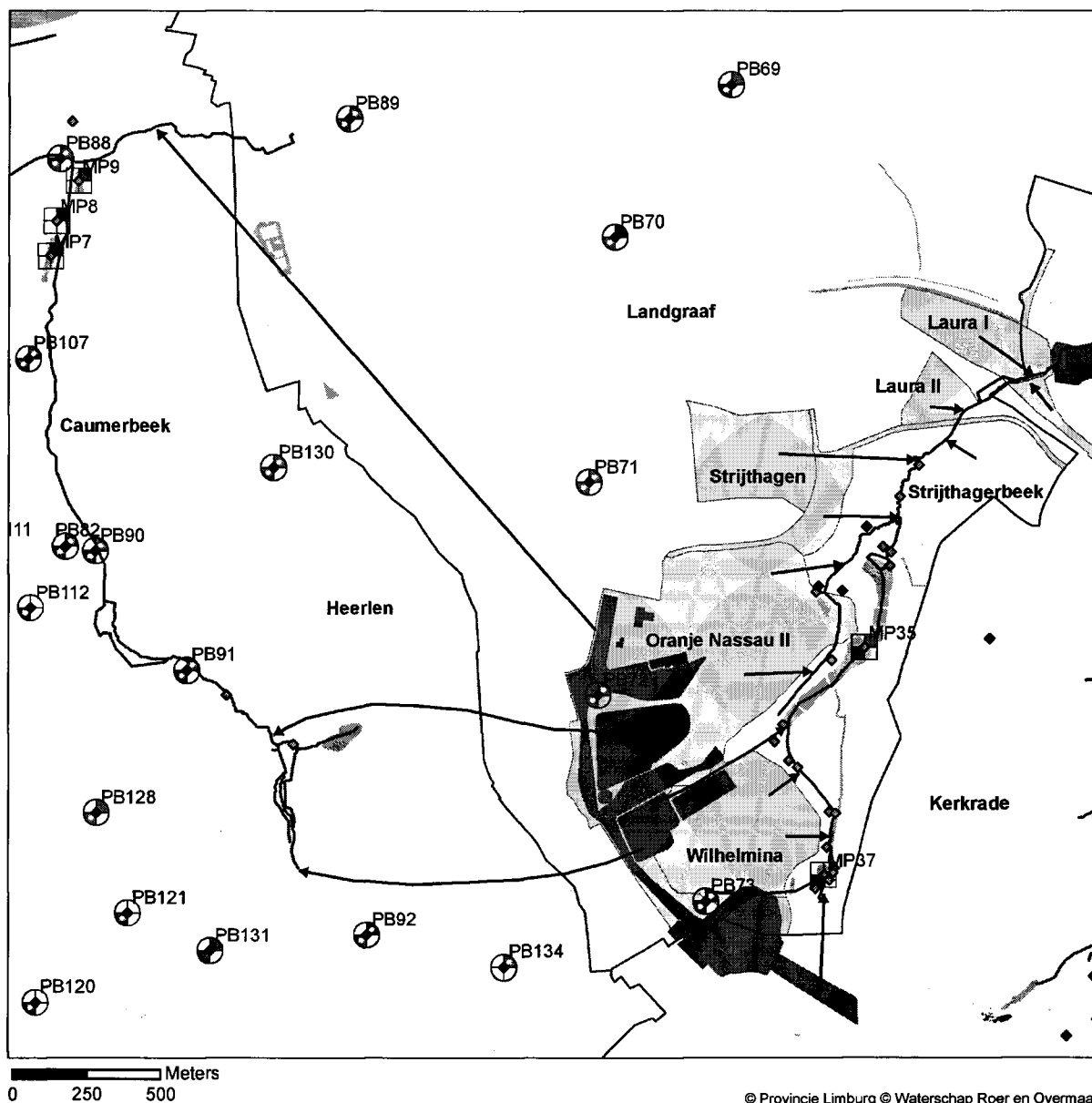
				Relevante meetwaarden (incl. jaar van meting)		
	PB/MP	Diepte m+NAP	Diepte m-mv	Circulaire bodemsanering	NW4	Drinkwaternorm
Bron	PB72	129,81	21,5	pH 6,2 2008 EC 540 µS/cm 2008 As BD 2006, 2008 Cd BD 2006, 2008 Cu BD 2006, 2008 Ni BD 2006, 2008 Pb BD 2006, 2008 Zn BD 2006 Zn 24 µg/l 2008 Minerale olie BD 2008		Fe BD 2006, 2008 SO ₄ 130 mg/l 2006 SO ₄ 59 mg/l 2008
	PB73	132,72	26	pH 7,2 2008 EC 1100 µS/cm 2008 As 5,80 µg/l 2006 As 7,40 µg/l 2008 Cd BD 2006, 2008 Cu BD 2006, 2008 Ni BD 2006, 2008 Pb BD 2006, 2008 Zn BD 2006, 2008 Minerale olie BD 2008		Fe BD 2006, 2008 SO ₄ 530 mg/l 2006 SO ₄ 390 mg/l 2008
Pad	PB71	119,3	30,5	pH 7,1 2008 EC 780 µS/cm 2008 As BD 2006 As 7,30 µg/l 2008 Cd BD 2006 Cd 0,63 µg/l 2008 Cu BD 2006, 2008 Ni BD 2006, 2008 Pb BD 2006, 2008 Zn BD 2006 Zn 42 µg/l 2008 Minerale olie BD 2008		Fe BD 2006, 2008 SO ₄ 130 mg/l 2006 SO ₄ 120 mg/l 2008

	PB92	129,64	7,5	pH 7,1 2008 EC 730 µS/cm 2008 As BD 2006, 2008 Cd BD 2006, 2008 Cu BD 2006, 2008 Ni BD 2006, 2008 Pb BD 2006, 2008 Zn BD 2006 Zn 21 µg/l 2008 Minerale olie BD 2008		Fe BD 2006, 2008 SO ₄ 69 mg/l 2006 SO ₄ 67 mg/l 2008
	PB130	105,54	16,4	pH 7,4 2008 EC 770 µS/cm 2008 As BD 2006 As 5,10 µg/l 2008 Cd BD 2006, 2008 Cu BD 2006, 2008 Ni BD 2006, 2008 Pb BD 2006, 2008 Zn BD 2006 Zn 31 µg/l 2008 Minerale olie BD 2008		Fe BD 2006, 2008 SO ₄ 57 mg/l 2006 SO ₄ 35 mg/l 2008
	PB134	136,49	10,25	As 24 µg/l 2006 Cd BD 2006 Cu 15 µg/l 2006 Ni 26 µg/l 2006 Pb 93 µg/l 2006 Zn 160 µg/l 2006		Fe 8100 µg/l 2006 SO ₄ 86 mg/l 2006
Object	MP35				Cd BD 2006, 2008 Cr 8,86 µg/l 2006 Cr 9,72 µg/l 2008 Cu 3,21 µg/l 2006 Cu 0,56 µg/l 2008 Pb BD 2006 Pb 2,37 µg/l 2008 Ni 6,06 µg/l 2006 Ni 2,35 µg/l 2008 SO ₄ 389 mg/l 2006 SO ₄ 321,8 mg/l 2008 Zn 29,89 µg/l 2006 Zn 8,74 µg/l 2008	
	MP37				Cd BD 2008 Cr 7,19 µg/l 2008 Cu 2,73 µg/l 2008 Pb 1,57 µg/l 2008	

	MP37				Cd BD 2008 Cr 7,19 µg/l 2008 Cu 2,73 µg/l 2008 Pb 1,57 µg/l 2008 Ni 1,06 µg/l 2008 SO ₄ 133,1 mg/l 2008 Zn 21,40 µg/l 2008	
Overig gebied	PB70	104,195	49,5	pH 6,9 2008 EC 250 µS/cm 2008 As BD 2006, 2008 Cd BD 2006, 2008 Cu BD 2006, 2008 Ni 140 µg/l 2006 Ni BD 2008 Pb BD 2006, 2008 Zn 32 µg/l 2006 Zn 34 µg/l 2008 Minerale olie 80 µg/l 2008		Fe BD 2006, 2008 SO ₄ 100 mg/l 2006 SO ₄ 15 mg/l 2008



Figuur 7.31. Overschrijdingen drinkwaternorm en MTR sulfaat (oranje en rood).



Figuur 7.32. Overschrijding interventiewaarde nikkel (rood).

7.11.2. Conceptueel model

Bron

De bron van de stoffen in dit geval is de mijnsteen die aanwezig is op de verschillende terreinen.

Pad

De bodemopbouw beneden de onderzoeksgebieden is beschreven in onderstaande tabellen.

Tabel 7.25. Schematische weergave van bodemopbouw in omgeving van het Laura terrein:

Diepte (meters t.o.v. NAP)		Formatie	Geohydrologie
van	tot		
136	130	Boxtel-Boxtel Schimmert k1	mdl1b
130	125	Breda-Ville Breda z2	wvp1a
125	118	Breda-Ville Breda z3	wvp1b
118	104	Breda-Ville Breda z4	wvp1c
104	68	Rupel-Rupel z2	sdl2
68	48	Rupel-Rupel k2	sdl2
48	25	Rupel-Rupel z3	sdl2
25	15	Tongeren-Tongeren Goudsberg k1	sdl2
15	-8	Tongeren-Tongeren z2	sdl2

Tabel 7.26. Schematische weergave van bodemopbouw in omgeving van het Oranje Nassau II terrein:

Diepte (meters t.o.v. NAP)		Formatie	Geohydrologie
van	tot		
130	120	Boxtel-Boxtel Schimmert k1	mdl1b
120	115	Boxtel-Boxtel z3	wvp1a
115	114	Breda-Ville Breda z2	wvp1b
114	112	Breda-Ville Breda z3	wvp1b
112	107	Breda-Ville Breda z4	wvp1c
107	80	Rupel-Rupel z2	sdl2
80	60	Rupel-Rupel k2	sdl2
60	50	Rupel-Rupel z3	sdl2
50	40	Tongeren-Tongeren Goudsberg k1	sdl2
40	30	Tongeren-Tongeren z2	sdl2

Tabel 7.27. Schematische weergave van bodemopbouw in omgeving van het Wilhelminaterrein:

Diepte (meters t.o.v. NAP)		Formatie	Geohydrologie
van	tot		
212	208	Boxtel-Boxtel Schimmert k1	mdl1b
208	185	Beegden-Beegden z1	wvp1a
185	140	Beegden-Beegden z3	wvp1a
140	139	Breda-Ville Breda z2	wvp1a
139	135	Breda-Ville Breda z3	wvp1b
135	120	Breda-Ville Breda z4	wvp1c
120	98	Rupel-Rupel z2	sdl2
98	75	Rupel-Rupel k2	sdl2
75	65	Rupel-Rupel z3	sdl2
65	64	Tongeren-Tongeren z1	sdl2
64	45	Tongeren-Tongeren z2	sdl2

Onder de hiergenoemde mijnsteengebieden ligt de formatie van Breda en Boxtel. De formatie van Boxtel is in dit geval het laagpakket van Schimmert en is matig doorlatend. Het percolaat van de mijnsteen zou hierdoor naar onderliggend watervoerend pakket van de Formatie van Breda kunnen stromen. Onder de formatie van Breda ligt de Formatie van Rupel. Dit is een slecht doorlatende laag. Verwacht wordt dat invloed van mijnsteen op de grondwaterkwaliteit niet dieper zal zakken dan de bovenkant van de formatie van Rupel. Voor de drie gebieden is dat:

- Laura: een diepte van 104 m+NAP;
- Oranje Nassau II: een diepte van 107 m+NAP;
- Wilhelmina: een diepte van 120 m+NAP.

Het grondwater ter plaatse van de mijnsteengebieden van de gemeente Landgraaf ligt ongeveer 20 meter beneden maaiveld. Nergens ligt de mijnsteen in of aan dit grondwater. Het water in de mijnsteen is daarom alleen afkomstig van geïnfiltreerd hemelwater. In de mijnsteen heerst een onverzadigd milieu van waaruit het percolaat naar het grondwater stroomt.

De stroming van het grondwater vanuit de mijnsteengebieden is richting de Strijthagerbeek. Vanuit de mijnsteengebieden Wilhelmina en Oranje Nassau II wordt ook een stroming verwacht naar het westen/noordwesten, richting de Caumerbeek.

Object

Object zijn de oppervlaktewaterlichamen in de omgeving, de Strijthagerbeek en de Caumerbeek.

7.11.3. Interpretatie beïnvloeding grond- en oppervlaktewater

Bron

Er zijn twee analyses beschikbaar van grondwater in de bron. In deze analyses varieert de sulfaatconcentratie tussen 59 – 130 mg/l in PB72 en 390 – 530 mg/l in PB73. De pH van het water in PB72 is 6,2 en in PB73 7,2. De EC-waarden in PB73 zijn twee keer zo hoog als in PB72 (1100 versus 540 μ S/cm), in PB73 wordt arseen aangetroffen en in PB72 wordt zink aangetroffen. Hieruit wordt opgemaakt dat het grondwater bij PB73 wel duidelijke invloed ondervindt van de mijnsteen terwijl dat bij PB72 niet het geval is. PB73 is goed toegankelijk voor water doordat in deze berg een leermijn ligt [bron: gemeente Landgraaf]. De invloed van mijnsteen is hierdoor groot.

Pad

Er zijn vier analyses beschikbaar van peilbuizen die langs paden liggen (PB71, PB92, PB130 en PB134). Van deze peilbuizen lijkt alleen PB71 beïnvloed te worden door mijnsteen; in deze peilbuis is de concentratie sulfaat circa 130 mg/l, de EC is 780 μ S/cm en tevens is arseen en cadmium aangetroffen in het water. Van de andere drie peilbuizen zijn de sulfaatconcentraties dermate laag, onder 100 mg/l, dat invloed van mijnsteen niet waarschijnlijk lijkt.

Bij peilbuis PB134 wordt een hoge concentratie ijzer aangetroffen, dit wijst er op dat hier anaerobe omstandigheden heersen.

Object

Er zijn twee analyses beschikbaar van het object de Strijthagerbeek. MP37 ligt stroomopwaarts van MP35. De invloed van de mijnsteen kan aan deze analyseresultaten worden gezien aan de stijging in de sulfaatconcentratie; in MP37 is deze 133 mg/l en in MP35 is deze tussen 321 mg/l en 389 mg/l. Concentratie zware metalen in MP37 is ook hoger dan in MP35. Uit dit gegeven wordt opgemaakt dat de mijnsteen de beek beïnvloedt. Tussen MP37 en MP35 liggen riooloverstorten die regelmatig overstorten op de Strijthagerbeek. Dit heeft mogelijk invloed op de meetresultaten van MP35. Opgemerkt wordt dat beide meetpunten een 90-percentiel zijn van een reeks metingen van het waterschap. De variatie zal er daarom uitgemiddeld zijn wat de conclusie dat er invloed is versterkt.

Het andere object is de Caumerbeek, in deze beek zijn geen monsters genomen.

De peilbuizen (PB134, PB130, PB92) vertonen geen kenmerken van invloed en deze liggen op het pad tussen de mijnsteen en de beek. Verwacht wordt daarom dat deze beek niet wordt beïnvloed door dit mijnsteengebied.

Overig gebied

Er is een analyse beschikbaar van een peilbuis in het overig gebied, namelijk PB70. In deze peilbuis wordt een EC van 250 μ S/cm gemeten en een pH van 6,9. De sulfaatconcentratie varieert over twee metingen van 15 mg/l tot 100 mg/l. In deze peilbuis is ook minerale olie aangetroffen.

De interventiewaarde-overschrijding voor nikkel in PB70 is waarschijnlijk niet gerelateerd aan de mijnsteengebieden. Deze peilbuis ligt niet in het verwachte pad vanaf de mijnsteengebied. Daarnaast ligt deze peilbuis te ver van de mijnsteengebieden af om een invloed hiervan te kunnen waarnemen. De omvang van de verontreiniging kan aan de hand van de beschikbare gegevens niet bepaald worden.

7.11.4. Conclusie

Uit de analyse van de beschikbare data kan het volgende worden geconcludeerd:

- De grondwaterkwaliteit is beïnvloed door de mijnsteen die aanwezig is op het voormalig Wilhelminaterrein, Oranje Nassau II terrein en Laura II terrein;
- In de periode 2006-2009 zijn in het grondwater ten opzichte van de drinkwaternorm verhoogde gehalten sulfaat gemeten en een ten opzichte van de interventiewaarde verhoogd gehalte nikkel;
- De interventiewaarde-overschrijding voor nikkel is waarschijnlijk niet gerelateerd aan de mijnsteengebieden;
- Er zijn onvoldoende meetgegevens beschikbaar om de horizontale invloed van mijnsteen af te perken;
- De verticale invloed zal niet verder reiken dan tot aan de slecht doorlatende laag van de formatie van Rupel. De verticale verspreiding is daarmee afgeperkt. Het is echter waarschijnlijk dat de invloed van mijnsteen niet zo diep reikt omdat het watervoerend pakket bovenop de formatie van Rupel een dikte heeft van circa 10 tot 30 meter;
- De waterkwaliteit van de Strijthagerbeek wordt beïnvloed door het mijnsteengebied;
- In de periode 2006-2009 zijn in het water van de Strijthagerbeek ten opzichte van het MTR verhoogde gehalten sulfaat gemeten;
- Voor de periode 2006-2009 zijn geen meetgegevens beschikbaar van de Caumerbeek. Aangezien het grondwater ter plaatse van de peilbuizen die liggen op het pad tussen het mijnsteengebied en de Caumerbeek geen kenmerken vertoont van beïnvloeding door mijnsteen, wordt verwacht dat deze beek niet wordt beïnvloed door het onderhavige mijnsteengebied.

8. Resultaten en conclusies

Het doel van deze pilot is het verkrijgen van een eerste inzicht in het effect van mijnsteen op de grondwater- en oppervlaktewaterkwaliteit in Parkstad Limburg. Hiervoor zijn de bestaande meetgegevens van de periode 2006 tot en met 2009 bij elkaar gebracht en ontsloten via GIS. Daarmee is een goed overzicht ontstaan van de beschikbare meetgegevens van die periode.

Ten behoeve van de interpretatie van de meetgegevens is literatuuronderzoek uitgevoerd naar de verspreiding van verontreiniging uit mijnsteen. Daarmee bestaat inzicht in de relevante beschikbare kennis op dat vlak.

Vervolgens is op basis van de beschikbare data en de kennis met betrekking tot de verspreiding van verontreinigingen uit mijnsteen per mijnsteengebied een interpretatie uitgevoerd.

Beïnvloeding grondwater- en oppervlaktewaterkwaliteit

Per gebied zijn conclusies verwoord. Lokaal is er beïnvloeding van de grondwater- en oppervlaktewaterkwaliteit te zien. De onderlinge verschillen tussen de mijnsteengebieden zijn echter te groot en het aantal meetlocaties te beperkt om een algemene, voor het hele grondgebied van Parkstad Limburg geldende conclusies te trekken.

Diffuse verontreiniging

Uit de data kan worden opgemaakt dat in deze regio diffuus verhoogde gehalten in het grondwater voorkomen. Het grondwater in de peilbuizen die niet in een beïnvloedingsgebied staan, laat steeds een vergelijkbare waterkwaliteit zien. Het gaat dan **bij benadering** om grondwater met een sulfaatconcentratie van circa 100 mg/l, met daarbij een EC-waarde van circa 1000 μ S/cm en een pH van circa 7.

Volksgezondheid en milieu

De GGD verwacht op basis van de beschikbare gegevens geen risico's voor de volksgezondheid. Het ecosysteem in het oppervlaktewater kan wél gevolgen ondervinden van de mijnsteen, maar onduidelijk is hoe groot de invloed is van mijnsteen ten opzichte van andere factoren.

Viewer

De meetresultaten van het grond- en oppervlaktewater in Parkstad Limburg zijn ontsloten in een GISviewer. Deze viewer is voor iedereen toegankelijk en bereikbaar via www.limburg.nl.

Het ontsluiten van de meetgegevens via de viewer geeft een eerste inzicht in het effect van mijnsteen op de grondwater- en oppervlaktewaterkwaliteit in Parkstad Limburg.

Bijlage 1 Samenstelling Projectgroep Pilot Mijnssteen

Waterschap Roer en Overmaas
Maurice Franssen
www.overmaas.nl

Gemeente Brunssum
Patricia Mulders
www.brunssum.nl

Gemeente Heerlen
Ruben Schut
www.heerlen.nl

Gemeente Kerkrade
Eric Nieuwenhuis
www.kerkrade.nl

Gemeente Landgraaf
Julien Godding
www.landgraaf.nl

Provincie Limburg
Ingrid Dupuits
Olaf van Leeuwen
Claire Schreurs
www.limburg.nl

**Provincie Limburg****Bijlage 2 Literatuuronderzoek naar de verspreiding van verontreiniging uit mijnsteen naar het grond- en oppervlaktewater in Parkstad Limburg.****Literatuuronderzoek naar de verspreiding van verontreiniging uit mijnsteen naar het grond- en oppervlaktewater in Parkstad Limburg**

Witteveen+Bos
Leidenlaan 16
Postbus 1080
6201 BB Maastricht
telefoon 043 328 12 22
telefax 043 325 37 99
www.witteveenbos.nl

referentie	projectcode	status
MT1010-1/mome/011	MT1010-1	definitief
projectleider	projectdirecteur	datum
drs. R.J.A. Hoogeveen	ir. Th.G.J. Wijtes	17 oktober 2011

autorisatie	naam	paraaf
goedgekeurd	drs. R.J.A. Hoogeveen	

Het kwaliteitsmanagementsysteem van Witteveen+Bos is gecertificeerd op basis van ISO 9001.

© Witteveen+Bos

Niets uit dit bestek/drukwerk mag worden veeleenvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook zonder voorafgaande toestemming van Witteveen+Bos Raadgevende Ingenieurs B.V., noch mag het zonder een dergelijke toestemming worden gebruikt voor enig ander werk dan waarvoor het is vervaardigd.

INHOUDSOPGAVE**blz.**

1.	inleiding	1
1.1.	Aanleiding	1
1.2.	Doel	1
1.3.	Leeswijzer	1
2.	Samenstelling van mijnsteen	3
2.1.	Herkomst van mijnsteen	3
2.2.	Soorten mijnsteen	3
2.2.1.	Zwarte mijnsteen	4
2.2.2.	Rode of gebrande mijnsteen	4
2.2.3.	Mijnslik	4
2.3.	Additionele verontreinigingen	4
2.4.	Samenstelling van de mijnsteen	5
2.5.	Andere stoffen die in mijnsteen voorkomen	6
2.5.1.	Strontium	6
2.5.2.	Fluoride	7
2.5.3.	Salmiak	7
3.	uitloging van stoffen	8
3.1.	Toetsingscriteria	8
3.2.	Selectie van chemische processen in mijnsteen	8
3.3.	Uitwerking van chemische processen	8
3.4.	Vrijkomen van stoffen uit mijnsteen	11
3.5.	Nader te onderzoeken stoffen	18
4.	kenmerkende combinatie en/of verhouding van stoffen	19
4.1.	Kenmerkende combinatie van stoffen	19
4.2.	Kenmerkende verhouding van stoffen	19
5.	verspreidingsgedrag van stoffen in de ondergrond	20
5.1.	Inleiding	20
5.2.	Methode	20
5.3.	Sulfaat	21
5.4.	Bicarbonaat	24
5.5.	IJzer	26
5.6.	Aluminium	28
5.7.	Zware metalen	30
6.	Kenmerkende combinatie van stoffen	35
6.1.	Locatie 1, bovenste meter van de mijnsteenbergr	36
6.2.	Locatie 2, (on)verzadigde aerobe condities in de mijnsteenbergr	36
6.3.	Locatie 3, (on)verzadigde anaerobe condities in de mijnsteenbergr	36
6.4.	Locatie 4, kwel uit mijnsteenbergr	36
6.5.	Locatie 5, aerobe condities in substraat	37
6.6.	Locatie 6, anaerobe condities in substraat	37
6.7.	Locatie 7, kwel in bron en kwelzones	38
7.	Risicowaarden van stoffen	39
7.1.	Sulfaat	39
7.2.	Aluminium	40
7.3.	Bicarbonaat	41

7.4.	IJzer	42
7.5.	Conclusie	43
8.	Referenties	44

BIJLAGEN**aantal blz.**

I	Aanvullende Literatuurbronnen	3
II	Verspreidingsgedrag van stoffen	9

1. INLEIDING

1.1. Aanleiding

De Provincie Limburg voert in samenwerking met het projectteam bestaande uit vier Parkstadgemeenten (Heerlen, Brunssum, Landgraaf en Kerkrade) en het Waterschap Roer en Overmaas een pilotproject uit waarmee het effect van mijnsteen op de grondwater- en oppervlaktewaterkwaliteit in kaart wordt gebracht. Ten behoeve van het pilotonderzoek is een bureaustudie uitgevoerd naar de samenstelling van mijnsteen in Parkstad Limburg en zijn bestaande meetgegevens van grondwater- en oppervlaktewaterkwaliteit verzameld en ontsloten in GIS. Nu is nader inzicht nodig in het verspreidingsgedrag van de uit de mijnsteen vrijkomende stoffen en de processen die zich hierbij in de bodem en het grondwater voordoen. De provincie heeft Witteveen+Bos opdracht gegeven voor het uitvoeren van een literatuuronderzoek hiernaar.

1.2. Doel

Het doel van het literatuuronderzoek is het verkrijgen van nader inzicht in het verspreidingsgedrag van de uit de mijnsteen vrijkomende stoffen en de processen die zich daarbij in de bodem en het grondwater voordoen.

Om dit doel te bereiken is het literatuuronderzoek stapsgewijs uitgevoerd door antwoord te geven op de in tabel 1.1 weergegeven vragen.

Tabel 0.1. Het gehanteerde stappenplan voor literatuuronderzoek

Stap 1	1.1 Welke stoffen komen naar verwachting vooral vrij uit mijnsteen, tevens rekening houdend met processen die zich afspelen in mijnsteen zoals pyrietoxidatie?
	1.2 Is voor de uit mijnsteen vrijkomende stoffen sprake van een voor mijnsteen kenmerkende combinatie van stoffen en/of een kenmerkende verhouding van stoffen?
	1.3 Het bepalen welke stoffen relevant zijn om verder te onderzoeken.
Stap 2	2.1 Wat is het verspreidingsgedrag van de in stap 1.3 geselecteerde stoffen uit de mijnsteen en vervolgens in de bodem en het grondwater?
	2.2 Welke omstandigheden beïnvloeden het verspreidingsgedrag van de stoffen, welk effect heeft dit op de samenstelling van het grondwater?
	2.3 Welke (tussen)reacties en/of processen vinden tijdens de verspreiding plaats en welke stoffen ontstaan hierbij?
	2.4 Indien het antwoord op vraag 1.3 bevestigend is, volgt het beantwoorden van de vraag: Is voor de verspreiding van stoffen op enige afstand van de mijnsteengebied in de bodem en grondwater nog steeds sprake van een kenmerkende combinatie van stoffen en/of een kenmerkende verhouding van stoffen?
Stap 3	3.1 Boven welk concentratieniveau in het grondwater is voor de in stap 2 geselecteerde stoffen sprake van een onaanvaardbaar risico bij menselijke consumptie van dat grondwater?

1.3. Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt de herkomst en de samenstelling van de mijnsteen in Parkstad Limburg beschreven, waarna in hoofdstuk 3 een overzicht wordt opgesteld van welke stoffen vrijkomen uit mijnsteen. In hoofdstuk 4 wordt de vraag beantwoord of de combinatie van uit mijnsteen vrijkomende stoffen

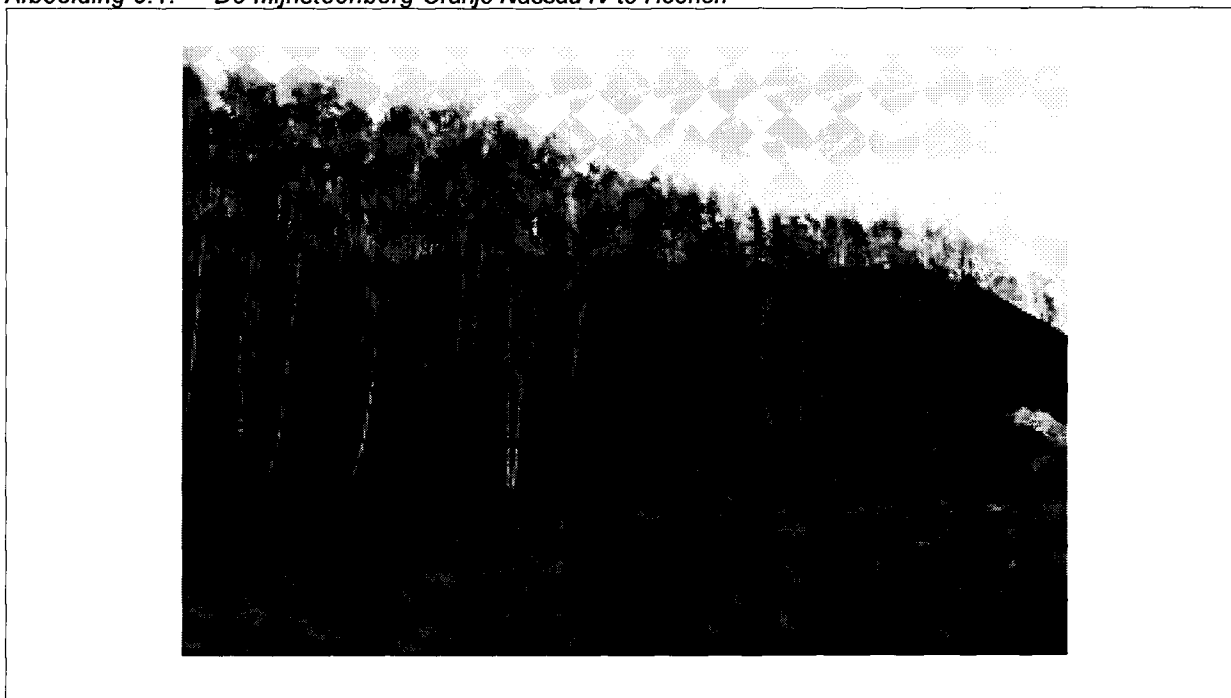
kenmerkend is van mijnsteen en of de verhouding van stoffen kenmerkend is. In hoofdstuk vijf zijn de processen beschreven die plaatsvinden tijdens het transport in en om mijnsteen. Daarna wordt in hoofdstuk zes beschreven of de vrijkomende stoffen kenmerkend zijn voor mijnsteen. In het laatste hoofdstuk is bepaald boven welk concentratieniveau de geselecteerde stoffen een onaanvaardbaar risico vormen bij menselijke consumptie van dat grondwater.

2. SAMENSTELLING VAN MIJNSTEEN

2.1. Herkomst van mijnsteen

In de regio Parkstad Limburg is vanaf het einde van de 19^e eeuw tot het einde van de zestiger jaren van de 20^e eeuw steenkool gewonnen door middel van mijnbouw. Bij de aanleg van de mijnen kwam naast steenkool ook schalie en zandsteen vrij als bijproduct. De verzamelnaam voor deze bijproducten is mijnsteen. Mijnsteen is verwerkt in onder andere mijnsteenbergen en in civieltechnische werken in de omgeving van Parkstad Limburg.

Afbeelding 0.1. De mijnsteenberg Oranje Nassau IV te Heerlen



De mijnsteen dat in de voormalige mijnstreek van oostelijk Zuid-Limburg voorkomt is afkomstig uit de volgende mijnen:

- Emma;
- Hendrik;
- Wilhelmina;
- Oranje Nassau I;
- Oranje Nassau II;
- Oranje Nassau III;
- Oranje Nassau IV;
- Laura en Vereeniging;
- Domaniale;
- Willem-Sophia.

2.2. Soorten mijnsteen

Mijnsteen dat bij de ontginning van kolenlagen in de Oostelijke Mijnstreek is vrijgekomen wordt onderverdeeld in de hieronder genoemde soorten (PBI, 1985).

2.2.1. Zwarte mijnsteen

Bij de ontginning kwamen schachtsteen en wassteen vrij. Deze twee soorten zijn destijds door de mijnbedrijven door elkaar heen gestort op de steenstorten. Het is daarom niet meer mogelijk om van beide soorten afzonderlijk vast te stellen hoe groot de uitloging is. Deze twee soorten mijnsteen samen worden ook wel zwarte mijnsteen genoemd.

Schachtsteen

Mijnsteen dat vrijkwam bij het maken van schachten en steengangen wordt schachtsteen genoemd. Het bestaat uit kwalitatief goede zandsteen en kleisteen. De grofheid van het materiaal varieert van gruis tot blokken van meer dan een ton.

Wassteen

Mijnsteen dat vrijkwam door de scheiding van steenkool en steen via een nat proces heet wassteen. Het grootste gedeelte van de door de mijnen geproduceerde hoeveelheid mijnsteen is wassteen. De stukgrootte van de wasserijproducten 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.

2.2.2. Rode of gebrande mijnsteen

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

2.2.3. Mijnslik

Mijnslik kan bestaan uit steenslik, kolenslik of een mengsel van beide en was oorspronkelijk een dik vloeibare waterige slurrie. Steenslik en kolenslik werden gescheiden door middel van een nat proces. Het kolenslik werd, na ontwatering, geheel hergebruikt als brandstof (CSO, 2007). Het steenslik werd in eerste instantie gestort in grote slikvijvers. In latere perioden (vanaf de jaren 1950) werd steenslik door een vinding van de Staatsmijnen ook als grondstof voor bakstenen gebruikt.

2.3. Additionele verontreinigingen

Als gevolg van de gebruikte grondstoffen voor de diverse scheidingsprocessen van het bovengrondse bedrijf zijn naast de bodem ook de reststoffen (mijnsteen en mijnslik) verontreinigd geraakt met diverse stoffen in gehalten die niet van nature in mijnsteen worden aangetroffen. Op die plaatsen is sprake van een additionele verontreiniging door aan mijnbouw gerelateerde hoofd- en nevenactiviteiten. Daar waar de hoofd- en nevenactiviteiten hebben plaatsgevonden en/of restproducten zijn gestort kunnen bodem en mijnsteen met verbindingen verontreinigd zijn tot ver boven de interventiewaarde (CSO, 2000).

2.4. Samenstelling van de mijnsteen

De stoffen die voorkomen in mijnsteen zijn gedetailleerd beschreven in de bureaustudie van de Provincie getiteld: Verkenning van effecten van mijnsteen op grondwater- en oppervlaktewaterkwaliteit (Provincie Limburg, concept 2010). In deze bureaustudie worden de stoffen samengevat in een tabel die voor dit onderzoek is overgenomen (tabel 2.1).

Tabel 0.1. Stoffen die van nature, additioneel en door processen in mijnsteen aanwezig kunnen zijn (Provincie Limburg, concept 2010)

	natuurlijke verontreinigingen	additionele verontreinigingen	verontreinigingen ontstaan door processen in mijnsteen
Mineralen	aluminiumoxide (Al_2O_3); calciet (CaCO_3); calciumoxide (CaO); dolomiet ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$); haliet (NaCl); kaoliniet ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$); kaliumoxide (K_2O); kleimineralen; kwarts (SiO_2); magnesiumoxide (MgO); pyriet (FeS_2); rutiel (TiO_2); sideriet (FeCO_3); sulfiet (SO_3); veldspaat of chloriet ijzeroxide (Fe_2O_3).	bariet (BaSO_4); magnetiet ($\text{Fe}^{3+}_2\text{Fe}^{2+}\text{O}_4$); ferrosulfaat; kalk (CaCO_3).	sulfaat (SO_4); calcium (Ca); gips (CaSO_4); anhydriet (gedehydrateerde versie van gips, CaSO_4); ijzerhydroxide (FeOH); geothiet; hematiet (Fe_2O_3).
Zware metalen*	arsen (As); barium (Ba); bromium (Bo); cadmium (Cd); chromium (Cr); kobalt (Co); koper (Cu); kwik (Hg); lithium (Li); lood (Pb); mangaan (Mn); molybdeen (Mo); nikkel (Ni); rubidium (Rb); tin (Sn); zink (Zn); zirkoon (Zr).	Zware metalen.	magnesium (Mg); mangaan (Mn); aluminium (Al); ijzer (Fe); zware metalen.
Overige stoffen	PAK's, ethylbenzeen.	PAK's, (diesel)olie; aardappelzetmeel;	

		synthetische sensibilisatoren; organische oliën; huisvuil; bouw- en sloopafval; bedrijfsafval; verbrandingsslakken; alcoholen; kalkmelk en beitswater (CaSO_4); fenolen; vluchtige aromatische verbindingen; zuurteer.	
--	--	---	--

* **Opmerking:** Zware metalen zijn in pyriet ingesloten in sporenconcentraties in de volgende vormen (Szczepanska, 1999 en Appelo en Postma, 1993):

- Arsenopyrite (FeAsS);
- Sphaleriet (ZnS);
- Galena (PbS);
- Millerite (NiS);
- Covellite (CuS);
- Chalcopyrite (CuFeS_2).

2.5. Andere stoffen die in mijnsteen voorkomen

In de literatuur worden naast de in tabel 2.1 genoemde stoffen ook nog enkele andere stoffen genoemd die voorkomen in mijnsteen, dit zijn strontium, fluoride en salmiak. Het voorkomen van deze stoffen worden in de volgende paragrafen beschreven.

2.5.1. Strontium

Op basis van een grootschalig literatuur- en laboratoriumonderzoek, uitgevoerd in opdracht van Rijkswaterstaat DBW/RIZA (1986) is strontium als belangrijke gidsparameter voor mijnsteen aangemerkt met betrekking tot de zware metalen (Tauw, 1986).

Op basis van de resultaten van dat onderzoek werd aangegeven welke analyses noodzakelijk waren om de consequenties voor het milieu van de toepassing van mijnsteen te kunnen beoordelen. Er wordt in dat onderzoek onderscheid gemaakt tussen gidsparameters en secundaire parameters. Voor gidsparameters geldt dat de kans op overschrijding van bijvoorbeeld een IMP-waarde reëel is. IMP staat voor Indicatief MeerjarenProgramma (1980-1984).

Hoewel strontium als een belangrijke gidsparameter wordt geïdentificeerd is deze stof in het onderhavige onderzoek niet nader onderzocht. Dit onderzoek is niet uitgevoerd omdat er geen literatuurbronnen zijn gevonden waarin het verspreidingsgedrag van strontium in de bodem en het grondwater wordt beschreven. Daarnaast zijn er in het pilotonderzoek geen meetgegevens van strontium meegenomen.

Om inzicht te krijgen in de mate van beïnvloeding van het grond- en oppervlaktewater door strontium en in de wijze waarop strontium zich verspreidt vanuit mijnsteen naar grond- en oppervlaktewater is verder onderzoek nodig dat buiten het kader van dit (literatuur-) onderzoek valt.

2.5.2. Fluoride

De Straat (2003) noemt fluoride als element dat voorkomt in mijnsteen. De Straat schrijft dat deze parameter in verband met uitloging in het kader van het Bouwstoffenbesluit als kritisch moet worden beschouwd. Als mijnsteen als bouwstof gebruikt wordt dient deze parameter in ieder geval bepaald te worden (De Straat, 2003).

Deze stof wordt in geen van de andere literatuurbronnen genoemd, ook wordt mijnsteen hier niet als bouwstof beschouwd. Daarnaast zijn er in het pilotonderzoek geen meetgegevens van fluoride meegenomen. Om deze drie redenen wordt deze stof niet verder in deze literatuurstudie meegenomen.

2.5.3. Salmiak

Op de website van mindat.org (een mineral and mineralogy database, <http://www.mindat.org/loc-29189.html>) is beschreven dat er actieve oxidatie plaatsvindt ter plaatse van de brandende steenberg Willem-Sophia in Kerkrade. Op deze locatie brandt een deel van de mijnsteen waarbij rookgassen vrijkomen. Bij deze verbranding ontstaat ook salmiak (NH_4Cl).

Salmiak bestaat uit NH_4Cl wat erg goed oplosbaar is in water. Dit valt uiteen in NH_4^+ en Cl^- . Bij de oplossing van NH_4^+ wordt de zuurgraad iets hoger omdat een deel van de NH_4^+ uiteen valt in NH_3 en H^+ . NH_3 kan in een zuurstofrijke omgeving oxideren naar nitraat, NO_3^- .

De NH_4^+ in de NH_4Cl is een resultaat van een reactie van NH_3 met water. NH_3 komt vrij bij de verbranding in de mijnsteen. Dit NH_3 is een gas. Dit gas vormt een deel van de rook die uit de mijnsteen komt. Het is waarschijnlijk dat een groot deel van het NH_3 via de atmosfeer verdwijnt en dat de totale hoeveelheid van deze stof in de mijnsteen gering is.

Tijdens het literatuuronderzoek is geen informatie aangetroffen over chemische processen in brandende mijnsteen. Er kan daarom geen conclusie worden getrokken of er in brandende mijnsteen wezenlijk andere processen plaatsvinden dan de processen die in niet-brandende mijnsteen plaatsvinden. Er kunnen daarom ook geen conclusies worden getrokken voor de mijnsteen op het Willem-Sophia-terrein.

In het pilotonderzoek zijn geen meetgegevens van salmiak meegenomen. Gelet op dit alles is ervoor gekozen deze stof nu niet verder te onderzoeken. Om inzicht te krijgen in de chemische processen in brandende mijnsteen en in de wijze waarop stoffen zich vanuit brandende mijnsteen verspreiden naar grond- en oppervlaktewater is verder onderzoek nodig dat buiten het kader van dit (literatuur-)onderzoek valt.

3. UITLOGING VAN STOFFEN

3.1. Toetsingscriteria

In dit hoofdstuk wordt antwoord gegeven op de volgende vraag:

Welke stoffen komen naar verwachting vooral vrij uit mijnsteen, tevens rekening houdend met processen die zich afspelen in mijnsteen zoals pyrietoxidatie?

Tijdens deze onderzoeksstap (onderzoeksstap 1) zijn stoffen geselecteerd waarvoor onderzoeksstap 2 zal worden uitgevoerd. De keuze is gemaakt aan de hand van de volgende criteria:

1. de stof moet voorkomen in mijnsteen;
2. de stof moet uitlogen;
3. de stof moet specifiek zijn voor of gerelateerd zijn aan de processen die plaatsvinden in mijnsteen.

3.2. Selectie van chemische processen in mijnsteen

Om bovenstaande vraag te kunnen beantwoorden is inzicht nodig in de volgende chemische processen die in mijnsteen plaatsvinden, deze zijn ontleend Appelo en Postma (1993), Freeze and Cherry (1997) en Domenico and Schwartz (1990):

- oplossing en uitloging van stoffen: Tijdens de infiltratie van neerslagwater naar het grondwater kunnen stoffen in het bodemwater terechtkomen door oplossing en uitloging. Een aantal van de in mijnsteen voorkomende stoffen zijn gevoelig voor oplossing en uitloging. Omstandigheden die de gevoeligheid beïnvloeden verschillen per stof;
- chemische verwerking van mineralen: Bij de verwerking van mineralen komen stoffen vrij die vervolgens kunnen oplossen in bodem- en grondwater. Mijnsteen bestaat globaal voor 70 % uit schalie, 20 % zandsteen en 10 % steenkool. Schalie en zandsteen bestaan voornamelijk uit kleimineralen en kwarts die niet gevoelig zijn voor verwerking;
- redoxprocessen: Bij de oxidatie van mineralen en organisch materiaal komen stoffen vrij die vervolgens oplossen in het percolaat. Bij reductieprocessen worden vervolgens weer stoffen vastgelegd.

De voornaamste chemische processen die plaatsvinden in mijnsteen worden in dit rapport beschreven in 'genummerde boxen'. Elk proces heeft op deze manier een eigen box waarnaar wordt verwezen in de tekst.

3.3. Uitwerking van chemische processen

Box 1: Redox

De kwaliteit van het percolatiewater en het grondwater in mijnsteen wordt voor een belangrijk deel bepaald door de oxidatie van pyriet. Oxidatie van pyriet vindt plaats door chemische oxidatie en door bacteriële oxidatie (Tauw, 1986).

Chemische oxidatie vindt plaats onder zuurstofrijke omstandigheden volgens de volgende chemische reactie (GSO, 2000):



Bacteriële oxidatie van pyriet vindt plaats door Fe^{3+} in samenwerking met een ijzeroxiderende bacterie (*Thiobacillus ferrooxidans*)



De bacterie *Thiobacillus ferrooxidans* zorgt voor een versnelde oxidatie van pyriet onder zure omstandigheden (Haskoning, 2009). Deze bacterie speelt daarom een belangrijke rol in het oxidatieproces van pyriet. De groei van de bacterie is mede afhankelijk van de zuurgraad. Het optimale leefgebied heeft een pH tussen 2-4 (Royal Haskoning, 2009). Hieruit kan worden geconcludeerd dat pyrietoxidatie alleen in grote mate plaatsvindt bij een lage pH.

Microbiële pyrietoxidatie vindt echter niet plaats door één organisme maar door een groep van samenwerkende micro-organismen. Ofschoon *Thiobacillus ferrooxidans* het meest bestudeerd is komt hij meestal niet in de grootste aantallen voor. Welke organismen in grote aantallen aanwezig zijn hangt af van een groot aantal factoren. Een aantal van die factoren kunnen de micro-organismen voor hun eigen leefomstandigheden optimaliseren. Voor microbiële processen is een zuur milieu dus niet noodzakelijk (Tebodin, 2004).

De bacterie *Thiobacillus ferrooxidans* is vooral actief op het grensvlak van lucht en water (PBI, 1985; Tebodin, 2001).

Ten gevolge van deze processen komen ijzerhydroxide, sulfaten en waterstofionen vrij en komen andere metalen vrij zoals arseen, cadmium, zink, nikkel, tin, koper, kobalt, etc. Deze zware metalen komen namelijk als sporenelementen voor als sulfidemineralen zoals Arsenopyrite (FeAsS), Sphaleriet (ZnS), Galena (PbS), Millerite (NiS), Covellite (CuS), Chalcopyrite (CuFeS_2) (Appelo en Postma, 1993).

Behalve zuurstof uit lucht en water kunnen ook andere oxidatoren worden gebruikt voor pyrietoxidatie zoals nitraat (in het percolaat) en mangaandioxide (in de bodem) (Tebodin, 2001).



Al deze vormen van pyrietoxidatie kunnen leiden tot een aanzienlijke stijging van het sulfaatgehalte in het grondwater.

Box 2: Oplossing van carbonaten

Dolomiet ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) en Calciet (CaCO_3) zijn gevoelig voor oplossing. Bij deze processen komen calcium (Ca^{2+})/magnesium (Mg^{2+}) en carbonaat (CO_3^{2-}) vrij. Afhankelijk van de pH vormt carbonaat (CO_3^{2-}) bicarbonaat (HCO_3^-) door een proton op te nemen. Oplossing gaat volgens de volgende reactievergelijking:



Door deze processen wordt de lage pH die ontstaat bij de oxidatie van pyriet gebufferd ($\text{pH} > 6.5$). Protonen die bij de oxidatie van pyriet vrijkomen worden namelijk bij de oplossing van vooral calciet opgenomen (CSO, 2000).

Box 3: Oplossing en neerslag van gips

Gips lost op/slaat neer volgens het volgende proces:



De redoxpotentiaal beïnvloedt indirect de neerslag van gips. Bij een lage redox potentiaal kan SO_4 reductie plaatsvinden, hierdoor kan meer gips oplossen om het evenwicht weer te herstellen. Als oxidatie van pyriet plaatsvindt kan juist gips kan neerslaan doordat SO_4 concentratie in water toeneemt.

Neerslag van gips gaat volgens de omgekeerde reactie van de oplossing van gips. Bij veranderende omstandigheden kan dit gips weer in oplossing gaan (PBI, 1992).

Box 4: Oplossing van aluminiummineralen

Als zuur water infiltreert kan het reageren met gibbsiet ($\text{Al}(\text{OH})_3$) en andere vormen van $\text{Al}(\text{OH})_3$ of met kleimineralen die in de bodem terecht zijn gekomen als verweringsproducten van primaire mineralen. Deze verweringsproducten hebben een relatief snelle oplossingskinetiek en kunnen daardoor significante hoeveelheden aluminium in oplossing brengen. Het bufferend effect van deze reacties wordt getoond door de volgende reactie (Appelo and Postma 1993):



Oplossing van jurbanite ($\text{Al}(\text{OH})\text{SO}_4$) kan plaatsvinden volgens de volgende reactie:



Box 5: Verwerking van kleimineralen en kaliveldspaat

De verweringsreactie voor kaolinite wordt als volgt beschreven:



De verweringsreactie voor veldspaat wordt als volgt beschreven:



Deze verwerking vindt alleen onder heel zure omstandigheden plaats (Appelo and Postma, 1993).

Box 6: Oxidatie van tweewaardig ijzer naar driewaardig ijzer

Het tweewaardig ijzer dat ontstaat na pyrietoxidatie kan geoxideerd worden tot driewaardig ijzer volgens de chemische reacties (PBI, 1985; Tebodin, 2001):



Het ijzerhydroxide ($\text{Fe}(\text{OH})_3$) dat hierbij ontstaat, kan neerslaan en zorgt voor de bruinrode kleur van sedimenten in bronnen en kwelzones rond mijnsteenbergen (CSO, 2000). Het ijzerhydroxide kan ook na verloop van tijd (onder zuurstofrijke omstandigheden) vervallen tot stabielere ijzerverbindingen zoals FeOOH (goethiet) en Fe_2O_3 (hematiet) (Tebodin, 2001).

3.4. Vrijkomen van stoffen uit mijnsteen

In tabel 3.1 is systematisch weergegeven welke chemische processen invloed hebben op mijnsteen en daarmee op de samenstelling van het bodem- en grondwater in mijnsteen. De tabel is zo opgesteld dat alle in tabel 2.1 voorkomende stoffen worden besproken.

Tabel 0.1. Overzicht van processen in en vrijkomende stoffen uit mijnsteen

stoffengroep	stof	processen	opmerking	welke stoffen logen uit	specifiek	meenemen in onderzoekstap 2
Carbonaten	calciet (CaCO_3); dolomiet ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$).	oplossing (Box 2)	Deze mineralen zijn gevoelig voor oplossing. Bij de aanwezigheid van protonen (H^+) neemt oplosbaarheid toe.	Calcium (Ca), Magnesium (Mg), Carbonaat (CaCO_3)/ bicarbonaat (HCO_3)	Nee	Ja voor HCO_3^- .
Sulfaten	gips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) en anhydriet (gedehydrateerde gips, (CaSO_4))	oplossing (Box 3)		Sulfaat (SO_4) Calcium (Ca)	Ja	Ja voor SO_4^{2-} .
	bariet (BaSO_4).	geen	Bariet is niet oplosbaar in water	Geen	Nee	Nee
Zouten	haliet (NaCl);	oplossing	Is zeer goed oplosbaar in water en daarom tijdens het wasproces verwijderd uit mijnsteen (CSO, 2000). Het merendeel van de mijnsteen betreft wassteen waardoor niet verwacht wordt dat er veel NaCl in de mijnsteen aanwezig is.	Natrium (Na) Chloride (Cl)	Nee	Nee
Siicaten	veldspaat: natrium-, kalium- en aluminiumsilicaten	Verwerking (Box 5)	Deze mineralen zijn weinig gevoelig voor verwerking in neutrale pH omstandigheden. Bij zure omstandigheden kunnen deze mineralen wel verwerken en komt daarbij aluminium, kalium en natrium vrij (Appelo and Postma, 1993). Deze reactie is ondergeschikt aan andere reacties omdat verwacht wordt dat de hoeveelheid veldspaat in mijnsteen klein is.	Aluminium (Al) Kalium (K) Natrium (Na).	Nee	Nee

	Kleimineralen; kaolinit ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$)	verwerking (Box 4)	Kaolinit ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$) is een kleimineraal en is niet goed oplosbaar in water en niet gevoelig voor verwerking in neutrale pH omstandigheden. Bij zure omstandigheden kunnen kleimineralen wel verwerken en daarbij komt aluminium vrij (Banks, 1997).	Aluminium (Al)	Ja	Ja
	Kwarts (SiO_2)	Geen	Kwarts verweert niet en lost niet op	Geen	Nee	Nee
IJzemineralen:	pyriet (FeS_2)	Redox (Box 1)	Pyriet oxideert in zuurstofrijke omgeving	Sulfaat (SO_4) Protonen (H^+) IJzer (Fe) Zware metalen als arsen (As), cadmium (Cd), zink (Zn), nikkel (Ni), tin (Sn), koper (Cu), kobalt	Ja	Ja voor; SO_4 H^+ Fe en zware metalen arsen; nikkel; koper cadmium, chroom en zink
	sideriet (FeCO_3) geothiet (FeOOH) ijzerhydroxide ($\text{Fe}(\text{OH})_3$) hematiet (Fe_2O_3) magnetiet ($\text{Fe}^{3+}_2\text{Fe}^{2+}\text{O}_4$) ijzeroxide (Fe_2O_3) ferrosulfaat (FeSO_4)	redox - oplossing (Box 1)	Bij ijzemineralen is er een verschil tussen oplosbare Fe^{2+} -verbindingen en over het algemeen onoplosbare Fe^{3+} -verbindingen. De laatstgenoemden zijn slechts in heel zure oplossingen oplosbaar, maar kunnen onder bepaalde omstandigheden gereduceerd worden tot Fe^{2+} en zo aan oplosbaarheid toenemen (Appelo and Postma, 1993).	IJzer (Fe) Sulfaat (SO_4)	Ja	Ja voor ijzer

Oxiden	magnesiumoxide (MgO); calciumoxide (CaO) kaliumoxide (K ₂ O);	oplossing	Zijn basevormende oxiden bij oplossing. Deze stoffen zijn goed oplosbaar in water en daarom tijdens het wasproces verwijderd uit mijnsteen. Het merendeel van de mijnsteen betreft wassteen waardoor niet verwacht wordt dat er veel van deze oxiden in de mijnsteen aanwezig zijn.	Kalium (K) Calcium (Ca) Magnesium (Mg) Hydroxide (OH) ⁻	Nee	Nee
Zware metalen	arseen (As)	Redox (Box 1) en oplossing	Arseen komt vrij bij de oxidatie van pyriet en deze parameter is als een belangrijke gidsparameter voor mijnsteen aangemerkt met betrekking tot de zware metalen (Tauw, 1986);	Arseen (As)	Ja	Ja
	barium (Ba)		Het overgangsmetaal barium wordt in de literatuur niet genoemd in relatie tot mijnsteenwater.		Nee	Nee
	cadmium (Cd)	Redox (Box 1) en oplossing	Cadmium komt vrij bij de oxidatie van pyriet.	Cadmium (Cd)	Ja	Ja
	kobalt (Co)	Redox (Box 1)	Kobalt komt vrij bij de oxidatie van pyriet. De meeste verbindingen met het metaal kobalt zijn slecht oplosbaar in water (http://www.lennotech.nl/elementen-en-water/kobalt-en-water.htm)	geen	Nee	Nee
	koper (Cu)	Redox (Box 1) en oplossing	Deze stof kan vrijkomen bij de oxidatie van pyriet; bij de in het gebied voorkomende pH van rond 7 komt koper in oplossing voor.	Koper (Cu)	Ja	Ja

	kwik (Hg)		Het overgangsmetalen kwik wordt in de literatuur niet genoemd in relatie tot mijnsteenwater.		Nee	Nee
	lood (Pb)		Verbindingen met het metaal lood zijn slecht oplosbaar in water.	geen	Nee	Nee
	nikkel (Ni)	Redox (Box 1) en oplossing	Nikkel komt vrij bij de oxidatie van pyriet.	Nikkel (Ni)	Ja	Ja
	zink (Zn)	Redox (Box 1) en oplossing	Deze stof komt vrij bij de oxidatie van pyriet	Zink (Zn)	Ja	Ja
Andere metalen	aluminium uit $\text{Al}(\text{OH})_3$ Aluminium(hydroxide)	Oplossing	De in de natuur meest voorkomende aluminiumverbindingen, aluminiumoxide en aluminiumhydroxide, zijn onoplosbaar in water onder natuurlijke omstandigheden. Onder invloed van een sterk zuur kan aluminium wel in oplossing voorkomen (Appelo en Postma, 1993).	Aluminium en hydroxide (Al) en (OH^-)	Ja	Ja voor Al
	borium (Bh)		Het overgangsmetaal borium wordt in de literatuur niet genoemd in relatie tot mijnsteenwater.		Nee	Nee
	chroom (Cr)	Redox (Box 1) en oplossing	Komt mogelijk vrij bij de oxidatie van pyriet. Chroom wordt als uitspoelingsgevoelig beoordeeld omdat het bij een pH van 7 in oplossing voorkomt	Chroom (Cr)	Ja	Ja
	lithium (Li)		Het overgangsmetalen lithium wordt in de literatuur niet genoemd in relatie tot mijnsteenwater.		Nee	Nee

	mangaan (Mn)	oplossing	Mangaan is op ijzer na het meest voorkomende metaal. Vooral de vaak voorkomende geoxideerde vormen van mangaan zijn in water meestal (slecht tot) onoplosbaar. Mangaan(II)sulfaat is een voorbeeld voor een mangaanverbinding die goed in water oplosbaar is (http://www.lennitech.nl/elementen-en-water/mangaan-en-water.htm#xzz1Z1lxgzvB)	Mangaan (Mn)	Nee	Nee
	molybdeen (Mo)		Molybdeen is niet oplosbaar in water	Geen	Nee	Nee
	rubidium (Rb)		Verbindingen met het metaal rubidium zijn slecht oplosbaar in water	Geen		
	strontium (Sr)		Strontium is als belangrijkste gidsparameter voor mijnsteen aangemerkt met betrekking tot de zware metalen	Strontium (Sr)	Ja	Nee
	tin (Sn)	Redox (Box1)	Deze stof kan vrijkomen bij de oxidatie van pyriet	Tin (Sn)	Nee	Nee
	titanium (Ti)	geen	Titanium komt voor in het mineraal rutiel (TiO ₂); dit is niet goed oplosbaar in water.	Geen	Nee	Nee
	zirkoon (Zr)		Het overgangsmetaal zirkoon wordt in de literatuur niet genoemd in relatie tot mijnsteenwater.		Nee	Nee
Koolwaterstoffen	steenkool	Redox	Een deel van dit materiaal zal door oxidatie worden afgebroken.	CO ₂ H ⁺ SO ₄	Nee	Nee
	PAK's,	Deze stoffen zijn een additionele verontreiniging van mijnsteen als gevolg van aan mijnbouw gerelateerde hoofd- en nevenactiviteiten. Daarnaast is er naast mijnsteen in de deponieën ook huisvuil, bouw-, sloop- en bedrijfsafval gestort. De precieze samenstelling van deze stoffen is niet bekend maar uit deze stoffen kunnen naast het in mijnsteen al aanwezige sulfaat, zware metalen en koolwaterstoffen ook andere stoffen logen.		Gezien de beperkte kennis en de	Nee	Nee
	BTEX			waarschijnlijk grote variabiliteit van deze	Nee	Nee

Witteveen+Bos, MT1010-1/mome/011 definitief d.d. 17 oktober 2011

	ethylbenzeen		Nee	Nee
	organische oliën		Nee	Nee
	alcoholen		Nee	Nee
	fenolen		Nee	Nee
	vluchtige aromatische verbindingen		Nee	Nee
Overige stoffen	aardappelzetmeel		Nee	Nee
	synthetische sensibilisatoren;		Nee	Nee
	huisvuil		Nee	Nee
	bouw- en sloopafval		Nee	Nee
	bedrijfsafval		Nee	Nee
	verbrandingslakken		Nee	Nee
	kalkmelk en beitswater (CaSO ₄)		Nee	Nee
	zuurteer		Nee	Nee

3.5. Nader te onderzoeken stoffen

Het vervolgonderzoek (onderzoeksstap 2, tabel 1.1) wordt voorgesteld voor de volgende stoffen:

- sulfaat;
- bicarbonaat;
- arseen;
- aluminium;
- nikkel;
- koper;
- ijzer;
- zink;
- cadmium;
- chroom.

4. KENMERKENDE COMBINATIE EN/OF VERHOUDING VAN STOFFEN

In dit hoofdstuk wordt antwoord gegeven op vraag 1.2:

Is voor de uit mijnsteen vrijkomende stoffen sprake van een voor mijnsteen kenmerkende combinatie van stoffen en/of een kenmerkende verhouding van stoffen?

Deze vraag wordt beantwoord om te beoordelen of het mogelijk is om op basis van een kenmerkende combinatie en eventueel verhouding van stoffen te kunnen constateren dat een verontreiniging van het grondwater afkomstig is van mijnsteen.

4.1. Kenmerkende combinatie van stoffen

Mijnsteenwater wordt vaak gedomineerd door de stoffen calcium, magnesium en sulfaat. Daarnaast heeft het water een hoge alkaliteit en, afhankelijk van de redoxpotentiaal, een hoge concentratie opgelost ijzer. Daarnaast komen ook vaak hoge concentraties zware metalen voor.

Deze combinatie van stoffen wordt veroorzaakt doordat pyriet oxideert in de mijnsteen en hierbij sulfaat, ijzer, zware metalen en protonen vrijkomen. Een van de metalen is arseen dat als belangrijke gidsparameter is geïdentificeerd (Tauw, 1986). De combinatie van een hoge concentratie sulfaat met de metalen arseen en ijzer kunnen daarom aangewezen worden als kenmerkend voor mijnsteenwater.

Door het vrijkomen van protonen worden andere processen gestart zoals de oplossing van calciëten en dolomiet. Dit proces buffert de vrijkomende protonen en hierdoor komen calcium, magnesium en bicarbonaat in oplossing. Dat dit plaatsvindt in Parkstad kan worden opgemaakt uit de pH-waarden van het grondwater samen met de grote hoeveelheid bicarbonaat in het water. Hoge concentraties aan calcium, magnesium en bicarbonaat zijn daarmee ook kenmerkend voor mijnsteenwater in Parkstad.

Bovengenoemd wordt bevestigd door voorbeelden uit het Verenigd Koninkrijk waar de samenstelling van het mijnwater op een aantal (zeker niet alle) locaties wordt gedomineerd door calcium, magnesium en sulfaat met een hoge alkaliteit en hoge concentraties opgelost ijzer. Deze worden veroorzaakt door de oxidatie van pyriet en de buffering van calciëten en dolomiet (Banks, 1996; Banks, 1997; Younger, 1995).

4.2. Kenmerkende verhouding van stoffen

De verhouding van de stoffen in het water ten gevolge van de oxidatie van pyriet is afhankelijk van de verhouding van de stoffen in de pyrietmineralen zelf. Gezien de beperkte informatie over deze verhouding is het voorsnog niet mogelijk om een kenmerkende verhouding van stoffen ten gevolge van de oxidatie van pyriet te identificeren.

Szczepanska (1999) concludeert dat grondwater dat wordt beïnvloed door mijnsteen hoofdzakelijk sulfaat in oplossing heeft dat wordt gebalanceerd door calcium en magnesium. Het is niet mogelijk een zelfde conclusie te trekken voor Parkstad.

5. VERSPREIDINGSGEDRAG VAN STOFFEN IN DE ONDERGROND

5.1. Inleiding

In dit hoofdstuk wordt aan de hand van een vereenvoudigd conceptueel model van een mijnsteenbergt antwoord gegeven op de volgende vragen:

- 2.1 Wat is het verspreidingsgedrag van de in stap 1.3 geselecteerde stoffen uit de mijnsteen en vervolgens in de bodem en het grondwater?
- 2.2 Welke omstandigheden beïnvloeden het verspreidingsgedrag van de stoffen, welk effect heeft dit op de samenstelling van het grondwater?
- 2.3 Welke (tussen)reacties en/of processen vinden tijdens de verspreiding plaats en welke stoffen ontstaan hierbij?

5.2. Methode

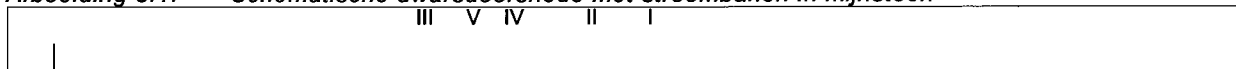
In afbeelding 5.1 is een schematische dwarsdoorsnede van een mijnsteenbergt weergegeven. In deze dwarsdoorsnede zijn vijf stroombanen getekend. Dit zijn stroombanen die een waterdruppel af kan leggen na infiltratie in de mijnsteen. Er is voor gekozen om juist deze stroombanen te beschrijven omdat dit de meest voorkomende stroombanen zijn. In de literatuur is geen geval aangetroffen waarbij grondwater naar diepere lagen in de omgeving van de mijnsteenbergt stroomt.

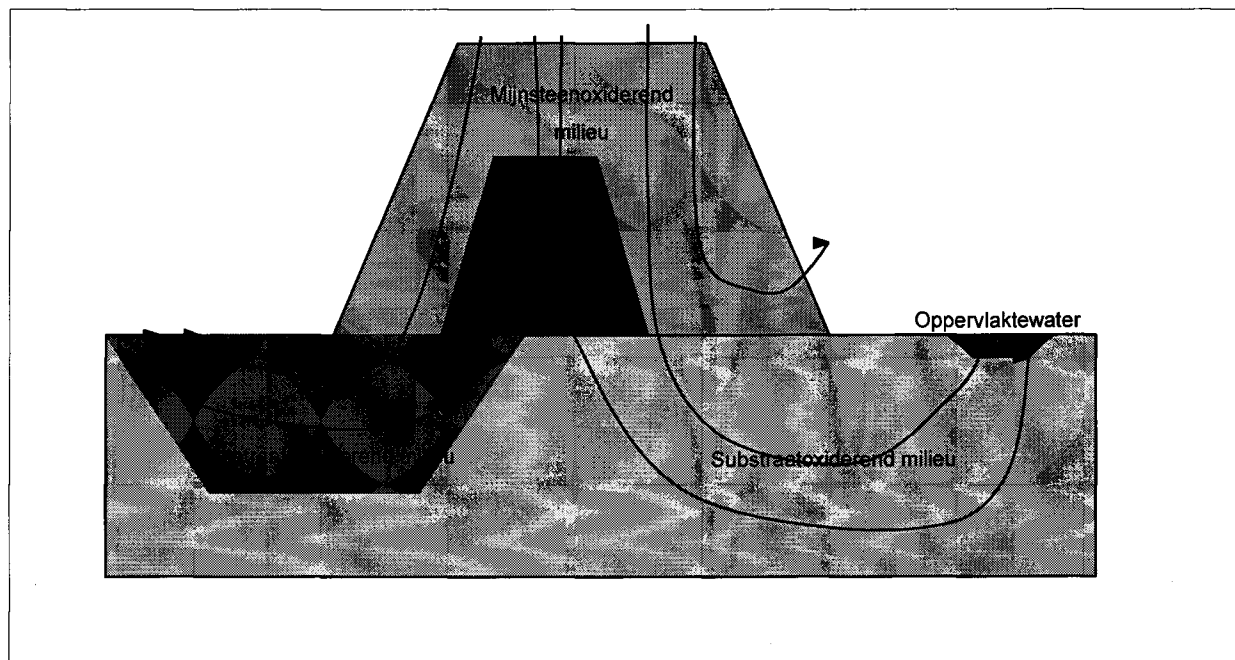
In deze schematische dwarsdoorsnede is een eventuele afdekkende laag over de mijnsteenbergt niet opgenomen. De aanwezigheid en vooral de dikte van dit soort lagen is niet duidelijk geworden tijdens dit literatuuronderzoek. Verwacht wordt dat zo een laag wel op een aantal van de mijnsteenbergen aanwezig is, deze zal in dikte variëren. De laag kan op sommige bergen echter ook ontbreken. Op de gehele voormalige mijnterreinen Oranje Nassau II en Wilhelmina is een deklaag aanwezig. De deklaag is aangebracht in het kader van het 'conversieprogramma'. De deklaag bevindt zich aan het maaiveld met een dikte variërend van 0 à 0,5 m tot meer dan 2 m (CSO, 2007).

In de schematische dwarsdoorsnede wordt de buitenste schil als oxiderend milieu in de mijnsteenbergt weergegeven. In deze laag is voldoende zuurstof aanwezig om pyriet te oxideren. Hoe dik deze schil per mijnsteenbergt is, is sterk afhankelijk van de omstandigheden ter plaatse van de berg, bijvoorbeeld de dikte van de afdekkende laag en de poriëngrootte van de berg zullen hier een grote invloed op hebben.

De chemische processen die plaats kunnen vinden in en om de mijnsteenbergt worden per stof beschreven aan de hand van stroming langs deze vijf stroombanen.

Afbeelding 5.1. Schematische dwarsdoorsnede met stroombanen in mijnsteen





Percolaat dat uit de mijnsteen berg infiltreert naar het grondwater verplaatst het daar aanwezige grondwater. Menging met grondwater dat van nature aanwezig is zal maar zeer beperkt plaatsvinden. Chemische reacties met stoffen in het van nature aanwezige grondwater zullen daarom ook beperkt zijn. Chemische reacties zullen voornamelijk plaatsvinden tussen het percolaat en het substraat.

5.3. Sulfaat

Onderzoeken naar het uitlooggedrag van mijnsteen tonen zeer hoge concentraties van sulfaat aan in het grondwater in de omgeving van mijnsteen in Parkstad (Royal Haskoning, 2009; Tebodin, 2001; TAUW, 1991). De voornaamste bron van sulfaat is de oxidatie van pyriet zoals hieronder wordt beschreven.

Onder invloed van de aanwezige zuurstof in de mijnsteen berg vindt oxidatie van pyriet in de mijnsteen plaats. Bij dit proces komt sulfaat vrij (Box 1).

De snelheid van pyrietoxidatie en het uitspoelingsgedrag van sulfaat zijn afhankelijk van de pH in het percolierend en grondwater. Bij een lage pH oxideert pyriet sneller, daarnaast spoelt sulfaat makkelijker uit bij een lage pH (CSO, 2000). Bij de oxidatie van pyriet komen protonen (H^+) vrij waardoor de pH kan dalen. Dit oxidatieproces is daarom een zichzelf versterkend proces. Zolang er voldoende zuurstof aanwezig is in de mijnsteen berg zal de oxidatie van pyriet doorgaan en zal er sulfaat vrijkomen en oplossen in het percolierend water.

Neutraliserende componenten in de mijnsteen, zoals carbonaten, verhogen de pH doordat er bij oplossing van carbonaten protonen worden gebruikt (Box 2). Oplossing van carbonaten uit de mijnsteen heeft daarom een remmende werking op de oxidatie van pyriet en daarmee op de uitspoeling van sulfaat. De oxidatie stopt echter niet.

De sulfaatconcentratie in het grondwater in de omgeving van mijnsteenbergen kan variëren. In Duitsland zijn die variaties in concentraties te wijten aan variaties in snelheid van pyrietoxidatie en het neerslaan van sulfaatmineralen (CSO, 2000). De sulfaatconcentratie in het grondwater in Parkstad zal om dezelfde reden ook fluctueren.

Transport langs stroombaan I

Bij infiltratie van neerslagwater in de mijnsteenbergen zal sulfaat vrijkomen door pyrietoxidatie in de mijnsteenbergen. Dit sulfaat zal met het percolerend water uitspoelen.

Als dit percolerend water aan de randen van een mijnsteenbergen uittreedt, zal dit oppervlakkig afstromen naar bijvoorbeeld een oppervlaktewaterlichaam. Zolang het water niet verdampt blijft sulfaat in oplossing. Sulfaatconcentraties in dit water zullen hoog zijn. Als het water wel verdampt zullen sulfaatmineralen zoals gips (CaSO_4) neerslaan.

Transport langs stroombaan II

In plaats van uittreden langs de randen van een mijnsteenbergen kan het percolaat ook naar het substraat stromen (afbeelding 5.1). Als het percolaat vanuit een oxiderend milieu in de mijnsteen naar een oxiderend milieu in het substraat stroomt heeft deze overgang geen effect op de sulfaatconcentratie.

Via het substraat zal het water aan maaiveld of in een oppervlaktewaterlichaam uittreden. In deze bron/kwelzones is de pH over het algemeen ook neutraal (rond de 7). Bij deze pH blijft sulfaat in oplossing. Langs deze stroombaan worden daarom geen veranderingen in de sulfaatconcentratie verwacht. In het oppervlaktewaterlichaam zal wel verdunning optreden waardoor de totale concentratie sulfaat af kan nemen. Dit laatste is afhankelijk van de sulfaatconcentratie in het oppervlaktewaterlichaam.

Transport langs stroombaan III

Als het percolerend water stroombaan III volgt stroomt het uit een oxiderend milieu in de mijnsteen naar een reducerend milieu in het substraat. In Parkstad komt dit op plaatsen stroomafwaarts van de mijnsteenbergen voor (CSO, 2000). In dit milieu kan de redoxpotential (het zuurstofgehalte) afnemen, terwijl de gehalten aan sulfaat, opgelost ijzer en calcium, magnesium en kalium sterk toenemen (CSO, 2000). In een zuurstofarm milieu bij een pH van rond de 8 vindt sulfaatreductie plaats. Hierbij worden metaalsulfiden geproduceerd (CSO, 2000). Dit is de omgekeerde reactie van oxidatie van pyriet (Box 1). Als dit gebeurt zal de sulfaatconcentratie van het grondwater afnemen en zal de pH van het water toenemen doordat protonen worden gebruikt bij de reductie van sulfaat.

Naast de vorming van pyriet kan ook H_2S worden gevormd. Grondwater met een zeer lage redoxpotential wordt gekenmerkt door het voorkomen van H_2S . Deze vormen van grondwater (anaeroob-sulfidisch grondwater) zijn aangetroffen stroomafwaarts van sommige mijnsteenbergen in Parkstad (CSO, 2000).

De redoxpotential beïnvloedt indirect de neerslag van gips, dit gaat volgens de omgekeerde reactie van de oplossing van gips (Box 3). Bij veranderende omstandigheden kan dit gips weer in oplossing gaan (PBI, 1992).

Het water stroomt via het grondwater naar oppervlaktewater en naar maaiveld. In deze bron/kwelzones kan een (bacteriologische) reductie van het sulfaat in het grondwater plaatsvinden, waardoor weer pyriet wordt gevormd (CSO, 2000). De aanwezigheid van afbreekbaar organisch materiaal is een belangrijke randvoorwaarde voor het optreden van sulfaatreductie (CSO, 2000).

Doordat langs deze stroombaan op verschillende locaties pyriet wordt gevormd en gips kan neerslaan zal de sulfaatconcentratie in het grondwater afnemen en zal daarom in deze zones lager zijn dan dichterbij de mijnsteen.

Transport langs stroombaan IV

Omdat zuurstof niet kan doordringen tot de diepere lagen van de mijnsteen ontstaat er in de kern van de mijnsteen een anaeroob milieu. Pyrietoxidatie vindt alleen plaats in de buitenste laag van de mijnsteen, waar zuurstof aanwezig is, en niet in de diepe zuurstofarme kern. Oxidatie van pyriet met de opgeloste zuurstof in percolatiewater is van ondergeschikt belang (CSO, 2000).

Als het percolaat via stroombaan vier naar het grondwater stroomt, komt het in de mijnsteen dit anaerobe milieu tegen. Bij de afwezigheid van zuurstof zal de oxidatie van pyriet stoppen. Hierdoor zal er minder sulfaat in het percolaat worden opgelost. Op deze locatie kan sulfaat weer worden gereduceerd en kan er pyriet ontstaan, ook kan er gips neerslaan.

Als het percolaat vervolgens infiltreert in een aerob milieu in het substraat zal dit de pyrietoxidatie niet doen toenemen omdat pyriet alleen in de mijnsteen aanwezig is en niet in het substraat.

De pH van het grondwater in Parkstad is over het algemeen neutraal (rond de 7). In grondwater met deze pH in combinatie met een aerob milieu zullen geen reacties optreden die de sulfaatconcentratie beïnvloeden.

Via het substraat zal het water aan maaiveld of in een oppervlaktewaterlichaam uit treden. Ook in deze bron en kwelzones worden geen veranderingen meer verwacht in de sulfaatconcentratie van het water. In het oppervlaktewaterlichaam zal wel verdunning optreden waardoor de totale concentratie sulfaat af kan nemen. Dit laatste is afhankelijk van de sulfaatconcentratie in het ontvangende oppervlaktewaterlichaam.

Transport langs stroombaan V

Bij stroombaan V stroomt percolaat net als in stroombaan IV door een aerob milieu en vervolgens door anaerobe diepere lagen in de mijnsteen. Daarna stroomt het percolaat naar een anaeroob milieu in het substraat. In dit anaerobe milieu treden chemische reacties op waardoor de sulfaatconcentratie verder daalt.

In een anaeroob milieu heerst een lage redoxpotential waarbij pyriet wordt gevormd en ook gips neer kan slaan. Daarnaast kan, als de redoxpotential genoeg daalt ook H_2S worden gevormd. H_2S wordt vooral gevormd als er organisch materiaal aanwezig is in het substraat.

Het water stroomt via het grondwater naar oppervlaktewater en naar maaiveld. Ook in deze bron/kwelzones kan een (bacteriologische) reductie van het sulfaat in het grondwater plaatsvinden. In

deze zones kan echter ook zuurstof uit de atmosfeer in het kwelwater oplossen die verdere reductie zal stoppen.

Doordat het percolaat in de mijnsteen berg al door een reducerend milieu stroomt wordt er in de mijnsteen berg minder pyriet geoxideerd dan in het geval van stroombaan III en is dus minder sulfaat aanwezig. Daarnaast kan langs deze stroombaan in het reducerend milieu opnieuw pyriet worden gevormd en kan er gips neerslaan. Door deze processen zal de sulfaatconcentratie in het grondwater afnemen.

5.4. Bicarbonaat

Tijdens de infiltratie van water door de mijnsteen berg in aerobe omstandigheden zal pyriet oxideren. Hierbij komen naast sulfaat, ijzer en zware metalen ook protonen vrij waardoor de pH van het water kan dalen.

Het percolatiewater van mijnsteendeponieën in de oostelijke mijnstreek heeft toch een tamelijk constante pH waarde van meestal boven 6,5 (CSO, 2000; PBI, 1992). Deze pH wordt niet verlaagd door de protonen die vrijkomen bij de oxidatie van pyriet. Dit is het gevolg van de bufferende werking op het verzuringproces van carbonaatmineralen als calciet (CaCO_3) en dolomiet ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$). Deze zijn in de mijnsteen en in de ondergrond aanwezig. Mijnsteenbergen met een relatief hoog pyrietgehalte kunnen hierdoor toch nog een neutrale of basische pH behouden (PBI, 1985; CSO, 2000). Tijdens dit proces komen calcium, magnesium en bicarbonaat in het grondwater in oplossing (Box 2). We spreken hierbij van gebufferd percolaat.

Volgens sommige literatuurbronnen zijn er kalkloze delen in de mijnsteen aanwezig. Op deze locaties wordt de pH niet gebufferd door calciet en dolomiet en kan de pH dalen tot 4. We spreken hierbij van niet-gebufferd percolaat. Op deze locaties kan buffering plaatsvinden door aluminiummineralen (paragraaf 5.6).

Transport langs stroombaan I

Bij infiltratie van neerslagwater in de mijnsteen berg zullen protonen vrijkomen door pyriet-oxidatie in de mijnsteen berg. Hierdoor zal de pH dalen of zullen calciet en dolomiet oplossen.

Als dit percolerend water aan de randen van een mijnsteen berg uitteedt, zal dit oppervlakkig afstromen naar bijvoorbeeld een oppervlaktewaterlichaam. In het geval van gebufferd percolaat zal, zolang het water niet verdampt, de pH niet veranderen en zullen calcium, magnesium en bicarbonaat in oplossing blijven. Bicarbonaatconcentraties in dit water zullen hoog zijn. Als het water wel verdampt zullen carbonaatmineralen zoals calciet neerslaan.

Transport langs stroombaan II

In plaats van uittreden langs de randen van een mijnsteen berg kan het percolaat ook naar het substraat stromen (afbeelding 5.1). Als gebufferd percolaat vanuit een oxiderend milieu in de mijnsteen naar een oxiderend milieu in het substraat stroomt heeft deze overgang geen effect op de bicarbonaatconcentratie of op de pH van het percolaat.

Als niet-gebufferd percolaat naar een oxiderend milieu in een substraat stroomt waar calcië aanwezig is wordt het percolaat gebufferd. Hierbij zal de pH stijgen en neemt de concentratie calcium, magnesium en bicarbonaat in het water toe. Over eventuele verschillen in concentratie van deze stoffen tussen gebufferd en niet-gebufferd percolaat kan geen uitspraak worden gedaan.

Als er geen calcië in het substraat aanwezig is zal de pH laag blijven en zullen de concentraties calcium, magnesium en bicarbonaat niet toenemen.

Via het substraat zal het water aan maaiveld of in een oppervlaktewaterlichaam uittreden. In deze bron/kwelzones is de pH over het algemeen ook neutraal (rond de 7). Bij deze pH blijft bicarbonaat in oplossing. Als het niet gebufferde percolaat water in een bron/kwelzone uittreedt is de verwachting dat de pH door contact met de atmosfeer en met de bodem snel zal neutraliseren.

In een oppervlaktewaterlichaam zal verdunning optreden waardoor de totale concentratie af kan nemen. Dit laatste is afhankelijk van de concentratie bicarbonaat in het oppervlaktewaterlichaam.

Transport langs stroombaan III

Als het percolerend water stroombaan III volgt stroomt het uit een oxiderend milieu in de mijnsteen naar een reducerend milieu in het substraat. In dit milieu treedt sulfaatreductie op waardoor de pH toeneemt. Als de pH stijgt tot boven de 8 kan een deel van de bicarbonaat worden omgezet tot carbonaat.

Calcium en magnesium kunnen in combinatie met carbonaat neerslaan als calcië en dolomiet. Hierdoor nemen de concentratie calcium, magnesium en bicarbonaat in het grondwater af.

Het water stroomt via het grondwater naar oppervlaktewater en naar maaiveld. Door contact met de atmosfeer en door bodemprocessen zal de pH van het water weer dalen waardoor het aanwezige carbonaat weer wordt omgezet naar bicarbonaat.

Transport langs stroombaan IV

Omdat zuurstof niet kan doordringen tot de diepere lagen van de mijnsteen ontstaat er in de kern van de mijnsteen een anaeroob milieu. Hier vindt geen pyrietoxidatie plaats en kan sulfaat weer worden gereduceerd tot pyriet. Hierdoor kan de pH stijgen en kan calcië en dolomiet neerslaan waardoor de concentratie calcium, magnesium en bicarbonaat afneemt.

Vervolgens infiltreert het water in een aeroob milieu, hierdoor stopt de sulfaatreductie.

De pH van het grondwater in Parkstad is over het algemeen neutraal (rond de 7). In grondwater met deze pH in combinatie met een aeroob milieu zullen geen reacties optreden die de bicarbonaatconcentratie beïnvloeden.

Via het substraat zal het water aan maaiveld of in een oppervlaktewaterlichaam uittreden. Ook in deze bron en kwelzones worden geen veranderingen meer verwacht in de bicarbonaatconcentratie van het water.

Transport langs stroombaan V

Bij stroombaan V stroomt percolaat net als in stroombaan IV door een aeroob milieu en vervolgens door anaerobe diepere lagen in de mijnsteenbergen. Daarna stroomt het percolaat naar een anaeroob milieu in het substraat. In dit anaerobe milieu treden chemische reacties op waardoor de sulfaatreductie doorgaat en de bicarbonaatconcentratie ook kan dalen door neerslag van calciëet en dolomiet.

Het water stroomt via het grondwater naar oppervlaktewater en naar maaiveld. In deze zones kan de reductie van sulfaat verder gaan. Als dat gebeurt zal waarschijnlijk ook de bicarbonaatconcentratie dalen. Als het water in contact staat met de atmosfeer en zuurstof oplost in het water zal de sulfaatreductie stoppen en ook de bicarbonaatconcentratie niet verder dalen.

Doordat het percolaat in de mijnsteenbergen al door een reducerend milieu stroomt wordt er in de mijnsteenbergen minder pyriet geoxideerd dan in het geval van stroombaan III, omdat de pyrietoxidatie oplossing van calciëet en dolomiet veroorzaakt wordt verwacht dat de bicarbonaatconcentratie, net als de sulfaatconcentratie, hier ook lager is.

5.5. IJzer

Als gevolg van pyrietoxidatie spoelt bij de mijnsteenbergen tweewaardig ijzer uit naar het grondwater. Oplosbaarheid van ijzer is voornamelijk afhankelijk van de redoxpotential van het grondwater.

Transport langs stroombaan I

IJzer komt voornamelijk in oplossing voor in gereduceerde vorm 'Fe²⁺'. In contact met zuurstof wordt het opgeloste tweewaardig ijzer geoxideerd naar driewaardig ijzer, dat vervolgens neerslaat als ijzerhydroxide (Box 6) (CSO, 2000). Door de aanwezigheid van zuurstof zal het tweewaardig ijzer al in de mijnsteenbergen oxideren naar driewaardig ijzer en neerslaan.

Door afwezigheid van calciëet en dolomiet in delen van een mijnsteenbergen kan de pH dalen. Onder deze zure omstandigheden kan ook de geoxideerde vorm van ijzer in oplossing voorkomen (Appelo and Postma, 1993). Daarnaast kan onder zure omstandigheden ijzer worden omgezet naar jarosiet (ijzersulfaat). Deze neerslagreactie is vooral bekend van mijnsteenbergen met een beperkt zuurbufferend vermogen (CSO, 2000) en gaat volgens de volgende reactie:

Box 7: Neerslagreactie van jarosiet



Als percolerend water aan de randen van een mijnsteenbergen uitteedt, en er is nog tweewaardig ijzer in oplossing zal dit door het contact met zuurstof oxideren tot driewaardig ijzer en neerslaan als ijzerhydroxide (Fe(OH)₃). Deze neerslag zorgt voor een bruinrode kleur van sedimenten in bronnen en kwelzones rond mijnsteenbergen (CSO, 2000).

In contact met zuurstof bij een neutrale pH zal de concentratie van ijzer afnemen.

Transport langs stroombaan II

In plaats van uittreden langs de randen van een mijnsteenbergrand kan het percolaat ook naar het substraat stromen. Als in dit percolerend water nog tweewaardig ijzer in oplossing is zal dit met de zuurstof in het substraat neerslaan.

Via het substraat zal het water aan maaiveld of in een oppervlaktewaterlichaam uittreden. In deze bron/kwelzones zal in contact met zuurstof het laatste tweewaardig ijzer oxideren en neerslaan.

Door deze processen zal in een aerob milieu de ijzerconcentratie in het water steeds verder afnemen.

Transport langs stroombaan III

Als het percolerend water stroombaan III volgt stroomt het uit een oxiderend milieu in de mijnsteen naar een reducerend milieu in het substraat. In gereduceerde omstandigheden blijft het tweewaardig ijzer in oplossing en kan met het grondwater verspreiden.

Als in dit milieu sulfaatreductie optreedt zal pyriet neerslaan waardoor de ijzerconcentratie afneemt.

De ijzerconcentratie wordt in dit milieu ook beïnvloed door kationenuitwisseling. IJzer dat in oplossing aanwezig is kan een interactie aangaan met het kation-uitwisselingscomplex van het sediment (Appelo and Postma, 1993):

Box 8: Uitwisseling van ijzer



Het gevolg van deze reactie is dat ijzer zich bindt aan het substraat, daardoor wordt vastgelegd en uit oplossing verdwijnt.

Het water stroomt via het grondwater naar oppervlaktewater en naar maaiveld. Door contact met de atmosfeer en door bodemprocessen zal zuurstof in het water oplossen en zal eventueel tweewaardig ijzer in oplossing oxideren en neerslaan als driewaardig ijzer.

Transport langs stroombaan IV

Omdat zuurstof niet kan doordringen tot de diepere lagen van de mijnsteenbergrand ontstaat er in de kern van de mijnsteenbergrand een anaerob milieu. Hier vindt geen pyrietoxidatie plaats en kan sulfaat weer worden gereduceerd tot pyriet. Hierdoor neemt de ijzerconcentratie af.

Vervolgens infiltreert het water in een aerob milieu, hierdoor stopt de sulfaatreductie. De ijzerconcentratie kan toch verder afnemen doordat het oxideert en neerslaat. Verwacht wordt dat in dit milieu geen tweewaardig ijzer meer in oplossing is.

Transport langs stroombaan V

Bij stroombaan V stroomt percolaat net als in stroombaan IV door een aerob milieu en vervolgens door anaerobe diepere lagen in de mijnsteenbergrand. Daarna stroomt het percolaat naar een anaerob milieu in

het substraat. In dit anaerobe milieu treden chemische reacties op waardoor de sulfaatreductie doorgaat en de ijzerconcentratie verder afneemt.

Ook hier kan de ijzerconcentratie worden beïnvloed door kationuitwisseling. Het water stroomt via het grondwater naar oppervlaktewater en naar maaiveld. In deze zones kan de reductie van sulfaat verder gaan, als dat gebeurt zal waarschijnlijk ook de ijzerconcentratie dalen. Als het water in contact staat met de atmosfeer en zuurstof oplost in het water zal ijzer neerslaan als driewaardig ijzer.

5.6. Aluminium

Tijdens de infiltratie van water door de mijnsteenbergrug in aerobe omstandigheden zal pyriet oxideren. Hierbij komen naast sulfaat, ijzer en zware metalen ook protonen vrij waardoor de pH van het water kan dalen. In veel gevallen wordt de pH van dit water gebufferd door oplossing van calciet en dolomiet. Volgens sommige literatuurbronnen zijn er echter kalkloze delen in de mijnsteen aanwezig. Op deze locaties wordt de pH niet gebufferd door calciet en dolomiet en kan de pH dalen tot 4. Op deze locaties kan buffering plaatsvinden door aluminiummineralen. Hierbij komt aluminium in het percolaat in oplossing.

Aluminiumconcentraties zijn onder natuurlijke omstandigheden sterk afhankelijk van de pH (Appelo and Postma 1993). Alleen bij lage pH waarden kunnen significante hoeveelheden aluminium oplossen (Box 4). Bij een bijna neutrale pH is aluminium nagenoeg onoplosbaar, (Appelo and Postma, 1993).

Bij sterk gereduceerd water kan aluminium ook in oplossing gaan bij een neutrale pH (7-8) (CSO, 2000) (Box 4).

Aluminium dat in oplossing is gegaan door oplossing van mineralen of door het verweren van mineralen kan een interactie aangaan met het kation-uitwisselingscomplex van het sediment. Dit kan al gebeuren in de mijnsteenbergrug. De hoeveelheid geadsorbeerde kationen is in vergelijking met opgeloste kationen erg groot. Uitwisseling van kationen als Ca, Mg, Na en K door Al kan als volgt worden beschreven (Appelo and Postma, 1993):

Box 9: Uitwisseling van kationen aluminium en calcium



Gevolg van deze reactie is dat aluminium wordt vastgelegd en daarmee uit oplossing gaat.

Beschrijving is in dit geval gedaan voor uitwisseling met calcium omdat dat in de meeste gevallen het dominante kation is.

Omdat de Al^{3+} die is vrijgekomen bij oplossing van gibbsiet wordt gebonden aan een mineraal kan gibbsiet verder oplossen en daarmee de pH verder bufferen (Appelo and Postma, 1993).

Transport langs stroombaan I

Als niet-gebufferd percolaat door de mijnsteen berg stroomt kan aluminium in oplossing komen. Als percolerend water vervolgens aan de randen van een mijnsteen berg uittreedt zal het water in contact met de atmosfeer en bodem neutraliseren. Hierbij zal het aluminium neerslaan.

Transport langs stroombaan II

In plaats van uittreden lang de randen van een mijnsteen berg kan het percolaat ook naar het substraat stromen. Als niet-gebufferd percolaat met aluminium in oplossing naar een oxiderend milieu in een substraat stroomt waar calciet aanwezig is wordt het percolaat gebufferd en zal aluminium neerslaan.

Als er geen calciet in het substraat aanwezig is zal de pH laag blijven en zal de concentratie aluminium niet afnemen.

De aluminiumconcentratie wordt ook beïnvloed door kationenuitwisseling. Aluminium dat in oplossing aanwezig is kan een interactie aangaan met het kation-uitwisselingscomplex van het sediment (Box 9). Hierdoor wordt aluminium gebonden en verdwijnt het uit oplossing.

Via het substraat zal het water aan maaiveld of in een oppervlaktewaterlichaam uittreden. In deze bron/kwelzones is de pH over het algemeen ook neutraal (rond de 7). Bij deze pH slaat aluminium neer. CSO (2000) beschrijft het uittreden van water met een zeer hoog aluminium gehalte (3300 µg/l) bij de bronzone van Schutterspark nabij de mijnsteen berg Emma/Hendrik in Brunssum en een lage pH (5,3 tot 5,7). Aan de noordzijde van de mijnsteen berg is een witte neerslag gevonden (CSO, 2000). Dit betrof amorf aluminiumhydroxide. Bij de aangetroffen zuurgraad van het bronwater is aluminium slecht oplosbaar, waardoor neerslagvorming plaatsvindt.

Transport langs stroombaan III

Als het percolerend water stroombaan II volgt stroomt het uit een oxiderend milieu in de mijnsteen naar een reducerend milieu in het substraat. In sterk gereduceerd water gaat ook aluminium in oplossing, waarbij ondanks een neutrale pH tot 6000 µg/l aan opgelost Al is aangetroffen in Duitse mijnsteenbergen (CSO, 2000).

Net als bij stroombaan III kan ook hier de aluminiumconcentratie worden beïnvloed door kationen uitwisseling. Aluminium dat in oplossing aanwezig is kan een interactie aangaan met het kation-uitwisselingscomplex van het sediment (Box 9). Hierdoor wordt aluminium gebonden en verdwijnt het uit oplossing.

Het water stroomt via het substraat naar oppervlaktewater en naar maaiveld. Het is waarschijnlijk dat als de zuurgraad nog niet gebufferd is, dit hier gebeurt en dat aluminiumhydroxide neerslaat.

Transport langs stroombaan IV

In de anaerobe zone van de mijnsteen berg vindt geen pyrietoxidatie plaats en kan zelfs sulfaatreductie plaatsvinden. Hierdoor stijgt de pH en zal de oplossing van aluminium minimaal zijn.

Onder sterk gereduceerde omstandigheden zou het kunnen dat er wel aluminium in oplossing is, ook bij een neutrale pH. Als dit percolaat vervolgens naar een geoxideerd milieu in het substraat stroomt zal de aluminium in oplossing neerslaan en zal de concentratie aluminium afnemen.

Transport langs stroombaan V

Voor deze stroombaan geldt hetzelfde als voor stroombaan IV. Alleen bij sterk gereduceerd water is het mogelijk dat er aluminium in oplossing blijft. Als dit water naar een gereduceerd milieu in het substraat stroomt zal de concentratie aluminium niet worden beïnvloed.

Ook hier kan kationuitwisseling de concentratie aluminium in het water wel verlagen.

Als dit water vervolgens uitstroomt naar bron- en kwelzones lost zuurstof uit de atmosfeer op in het water en slaat aluminium neer.

5.7. Zware metalen

Voor dit onderzoek wordt het verspreidingsgedrag van de zware metalen; arseen, cadmium, chroom, nikkel, koper en zink onderzocht. Veel van de beschikbare literatuur maakt echter geen onderscheid tussen afzonderlijke zware metalen. In dit onderzoek worden de zware metalen daarom gezamenlijk per stroombaan beschreven. Waar bekend worden verschillen tussen de metalen per stroombaan beschreven.

Zware metalen komen voornamelijk vrij bij de oxidatie van pyriet. De mobiliteit van zware metalen neemt toe bij een lagere pH (Banks, 1996). Deze lage pH wordt ook veroorzaakt door de oxidatie van pyriet. De metalen komen hierdoor in oplossing in het percolaat.

Zoals beschreven wordt het percolaat in de meeste mijnsteendeponieën echter gebufferd en is de pH van percolatiewater tamelijk constant, rond de 7. Bij een dergelijke pH is de mobiliteit van zware metalen gering en zal de concentratie zware metalen laag zijn (Tauw, 1986). Een uitzondering hierop vormen koper en zink die beiden ook bij een neutrale pH in oplossing voorkomen.

Bovenstaande wordt bevestigd door een onderzoek naar het uitlooggedrag van verschillende zware metalen door het ECN in 1995. Tijdens dit onderzoek is de uitloging van verschillende zware metalen en anionen uit mijnsteen bepaald in relatie tot de zuurgraag. Hieruit blijkt dat de uitloging van zware metalen bij pH 7 en hoger zeer gering is.

Hetzelfde is aangetoond bij kolomproeven uitgevoerd door CSO (2000). Bij een pH van 7 - 8 waren de concentraties van vrijwel alle metalen beneden de detectielimiet.

Het zoutgehalte van het percolaat is van invloed op het uitlooggedrag van mijnsteen. Vooral de uitloging van koper en nikkel blijkt verhoogd te worden bij een toenemend zoutgehalte. Arseen blijkt bij hogere zoutgehaltes minder uit te logen (Kesseleer, 1993).

Vergeleken met andere zware metalen bindt nikkel zich niet sterk aan klei en ijzer en is het daarom meer mobiel. Deze metalen kunnen daarom op grotere afstand van de mijnsteen berg nog voorkomen in grondwater.

Veel arseencomplexen binden zich sterk aan bodemdeeltjes en worden daarom alleen over korte afstanden getransporteerd in grond- en oppervlaktewater. Beide arseencomplexen arseniet (AsO_3^-) en arsenaat (AsO_4^{3-}) worden sterk gebonden aan ijzer en aluminiumoxides, kleimineralen en organisch materiaal (Evanko en Dzombak, 1997 en Environment Agency, 2002).

Van de metalen nikkel, chroom, arseen en koper is bekend dat deze zich kunnen binden aan organisch materiaal. Een deel hiervan vormt eenvoudig oplosbare chelaten. Dit zijn organische moleculen waaromheen metalen zijn georganiseerd. In de aanwezigheid van fulvine- of humuszuur zijn deze complexen veel mobieler en veel belangrijker dan de kationen in oplossing (Environment Agency, niet gedateerd)

Koper vormt oplossingscomplexen met humuszuren, deze binding neemt toe bij een toename in pH.

Arsenaat en andere anionische vormen van arseen gedragen zich als chelaten en kunnen neerslaan als er kationen aanwezig zijn (Evanko en Dzombak, 1997) deze blijven als chelaat wel mobiel.

In het percolaat kan ook chroom voorkomen, allen bij lage pH in een gereduceerd milieu kan chroom(III) in oplossing voorkomen. Chroom(VI) komt voor in een geoxideerd milieu, deze vorm van chroom is mobieler en giftiger dan chroom(III). Grote Chroom (VI) verbindingen zoals chromaat (CrO_4^{2-}) en dichromaat ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$) slaan ook in de aanwezigheid van metaalionen (in het bijzonder Ba^{2+} , Pb^{2+} en Ag^+). Chromaat en dichromaat kunnen ook adsorberen aan bodemdeeltjes, met name ijzer en aluminiumoxides (Evanko en Dzombak, 1997).

Transport langs stroombaan I

Als het percolaat wordt gebufferd zullen de zware metalen die vrijkomen bij de oxidatie van pyriet waarschijnlijk neerslaan omdat deze bij een neutrale pH niet goed oplosbaar zijn. Een uitzondering hierop vormen koper, zink en chroom(VI) die ook bij een neutrale pH in oplossing voorkomen.

De zware metalen die vrijkomen bij de oxidatie van pyriet blijven daar waar het percolaat niet wordt gebufferd in oplossing. Daar kunnen significante concentraties zware metalen in het percolaat aanwezig zijn. Als dit water aan de rand van de mijnsteenbergt uitteedt is het waarschijnlijk dat de pH aan de atmosfeer neutraliseert en dat zware metalen alsnog neerslaan. Eventueel aanwezig koper, chroom(VI) en zink kunnen hier wel in oplossing blijven.

De metalen nikkel, chroom, arseen en koper kunnen zich binden aan organisch materiaal. Een deel hiervan vormt eenvoudig oplosbare chelaten. Dit zijn organische moleculen waaromheen metalen zijn georganiseerd. In de aanwezigheid van fulvine- of humuszuur zijn deze complexen veel mobieler en veel belangrijker dan de kationen in oplossing (Environment Agency, niet gedateerd)

Transport langs stroombaan II

In plaats van uitteeden langs de randen van een mijnsteenbergt kan het percolaat ook naar het substraat stromen. Als niet gebufferd percolaat met zware metalen in oplossing het substraat in stroomt waar calciat aanwezig is, wordt het percolaat gebufferd en zullen de meeste zware metalen neerslaan. Ook hier vormen koper, chroom(VI) en zink een uitzondering.

Als er geen calciëet in het substraat aanwezig is zal de pH laag blijven en zal de concentratie zware metalen niet afnemen.

Net als bij aluminium kan kationenuitwisseling de concentratie zware metalen verlagen. De concentratie van zware metalen in het grondwater wordt sterk beïnvloed door kationuitwisseling. Dit komt doordat de meest voorkomende kationen zoals Ca en Mg een kleinere capaciteit hebben om protonen te wisselen van mineralen als Al_2O_3 en TiO_2 dan zware metalen zoals Pb, Cu en Cd etc. Zware metalen kunnen daarom al bij lage concentraties makkelijk hechten aan de bodemmatrix (Appelo en Postma, 1993). Hierdoor neemt de concentratie zware metalen in grondwater af.

Via het substraat zal het water aan maaiveld of in een oppervlaktewaterlichaam uit treden. In deze bron/kwelzones is de pH over het algemeen ook neutraal (rond de 7). Bij deze pH slaan de meeste zware metalen neer. Eventueel aanwezig koper, chroom(VI) en zink kunnen hier wel in oplossing blijven.

In de bronzones kunnen de metalen nikkel, chroom(VI), arseen en koper zich binden aan organisch materiaal. Zoals beschreven vormt een deel hiervan eenvoudig oplosbare chelaten. In de aanwezigheid van fulvine- of humuszuur zijn deze complexen veel mobieler en veel belangrijker dan de kationen in oplossing (Environment Agency, niet gedateerd). Ook koper, arsenaat en andere anionische vormen van arseen en chroom gedragen zich als chelaten en kunnen neerslaan als er kationen aanwezig zijn (Evanko en Dzombak, 1997) ook deze blijven als chelaat mobiel.

Transport langs stroombaan III

Als het percolerend water stroombaan III volgt stroomt het uit een oxiderend milieu in de mijnsteen naar een reducerend milieu in het substraat. In een anoxisch milieu dat bijvoorbeeld ontstaat door de oxidatie van organisch materiaal kunnen ijzer en sulfaat reduceren tot ijzersulfide (Box 1). Dit is de omgekeerde reactie van pyrietoxidatie. Behalve ijzer kunnen ook zware metalen als slecht oplosbare sulfides neerslaan. Dit zal vooral optreden als de beschikbaarheid van ijzer laag is. De metaalconcentraties zullen bij deze processen sterk dalen (Alterra, 2010).

Net als bij stroombaan II kan ook hier de concentratie zware metalen worden beïnvloed door kationenuitwisseling. Zware metalen die in oplossing aanwezig zijn kunnen een interactie aangaan met het kation-uitwisselingscomplex van het sediment.

Als er chroom(VI) in het water aanwezig is kan dit worden gereduceerd tot het slecht oplosbare chroom(III) en neerslaan.

Het water stroomt via het substraat naar oppervlaktewater en naar maaiveld. Het is waarschijnlijk dat als de zuurgraad nog niet gebufferd is dat hier gebeurt en dat de meeste zware metalen in oplossing hier neerslaan.

De metalen nikkel, arseen, chroom en koper kunnen zich binden aan organisch materiaal. Een deel hiervan kan eenvoudig oplosbare chelaten vormen. Dit zijn organische moleculen waaromheen metalen zijn georganiseerd. In de aanwezigheid van fulvine- of humuszuur zijn deze complexen veel mobieler en veel belangrijker dan de kationen in oplossing (Environment Agency, niet gedateerd)

Transport langs stroombaan IV

In de anaerobe zone van de mijnsteenbergrand vindt geen pyrietoxidatie plaats en kan zelfs sulfaatreductie plaatsvinden en pyriet worden gevormd. Hierdoor stijgt de pH. Doordat ook zware metalen als slecht oplosbare sulfides neerslaan zal de concentratie zware metalen afnemen, daarnaast stijgt de pH waardoor de oplosbaarheid van zware metalen kleiner wordt.

Als er chroom(VI) in het water aanwezig is kan dit worden gereduceerd tot het slecht oplosbare chroom(III) en neerslaan.

Als het percolaat vervolgens infiltreert in een aerob milieu in het substraat zal dit de pyriet-oxidatie niet doen toenemen omdat pyriet alleen in de mijnsteen aanwezig is en niet in het substraat.

De pH van het grondwater in Parkstad is over het algemeen neutraal (rond de 7). In grondwater met deze pH is de oplosbaarheid van zware metalen gering.

Via het substraat zal het water aan maaiveld of in een oppervlaktewaterlichaam uit treden. Zware metalen kunnen zich hier binden aan bodemmateriaal waardoor de concentratie verder verlaagd wordt.

Ook langs deze stroombaan kan de concentratie zware metalen worden verlaagd door kationuitwisseling.

Het water stroomt via het grondwater naar oppervlaktewater en naar maaiveld. In deze bron/kwelzones kan een (bacteriologische) reductie van het sulfaat in het grondwater plaatsvinden. In deze zones kan echter ook zuurstof uit de atmosfeer in het kwelwater oplossen die verdere reductie zal stoppen.

Als er nog zware metalen in oplossing aanwezig zijn zal in het oppervlaktewater verdunning optreden waardoor de totale concentratie metalen af kan nemen. Dit laatste is afhankelijk van de concentratie zware metalen in het ontvangende oppervlaktewaterlichaam.

Transport langs stroombaan V

Bij stroombaan V stroomt percolaat net als in stroombaan IV door een aerob milieu en vervolgens door anaerobe diepere lagen in de mijnsteenbergrand. Daarna stroomt het percolaat naar een anaerob milieu in het substraat. In dit anaerobe milieu treden chemische reacties op waardoor de concentratie zware metalen verder daalt.

In een anaerob milieu heerst een lage redoxpotentiaal waarbij pyriet wordt gevormd. Met het neerslaan van pyriet kunnen ook zware metalen als slecht oplosbare sulfides neerslaan.

Ook hier kan kationuitwisseling de concentratie zware metalen in het water verlagen.

Als in het water chroom(VI) is opgelost wordt dit gereduceerd tot Chroom(III), omdat dit slecht oplosbaar is zal dit neerslaan.

Net als bij stroombaan IV stroomt het water via het grondwater naar oppervlaktewater en naar maaiveld. In deze bron/kwelzones kan een (bacteriologische) reductie van het sulfaat in het grondwater

plaatsvinden. In deze zones kan echter ook zuurstof uit de atmosfeer in het kwelwater oplossen die verdere reductie zal stoppen.

Als er nog zware metalen in oplossing aanwezig zijn zal in het oppervlaktewater verdunning optreden waardoor de totale concentratie metalen af kan nemen. Dit laatste is afhankelijk van de concentratie zware metalen in het ontvangende oppervlaktewaterlichaam.

Doordat het percolaat in de mijnsteenbergrug al door een reducerend milieu stroomt wordt er in de mijnsteenbergrug minder pyriet geoxideerd dan in het geval van stroombaan III. Daardoor is de concentratie zware metalen kleiner. Daarnaast kan langs deze stroombaan in het reducerend milieu opnieuw pyriet worden gevormd. Door deze processen zal de metaalconcentratie in het grondwater afnemen.

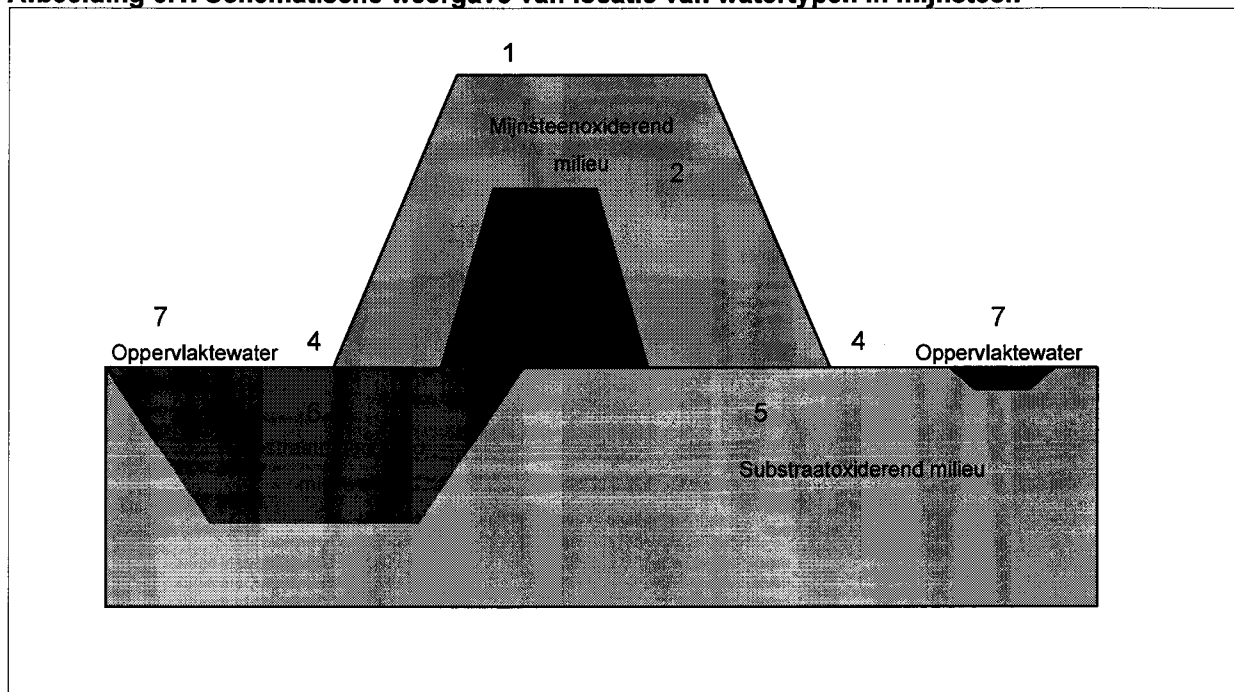
6. KENMERKENDE COMBINATIE VAN STOFFEN

In dit hoofdstuk wordt antwoord gegeven op vraag 2.4 (tabel 1.1):

Is voor de verspreiding van stoffen op enige afstand van het mijnsteengebied in de bodem en het grondwater nog steeds sprake van een kenmerkende combinatie van stoffen en/of een kenmerkende verhouding van stoffen? En zo ja welke?

Deze vraag is beantwoord aan de hand van dezelfde schematische dwarsdoorsnede die is gebruikt in hoofdstuk 5, in deze doorsnede zijn de beschreven locaties genummerd.

Afbeelding 6.1. Schematische weergave van locatie van watertypen in mijnsteen



Verklaring:

1. bovenste meter van de mijnsteenberg;
2. (on)verzadigde aerobe condities in de mijnsteenberg;
3. (on)verzadigde anaerobe condities in de mijnsteenberg;
4. kwel uit mijnsteenberg;
5. aerobe condities in substraat;
6. anaerobe condities in substraat;
7. kwel in bron- en kwelzones.

De locaties die in afbeelding 6.1 zijn weergegeven kunnen allemaal een kenmerkende combinatie van stoffen hebben. Het is daarom niet mogelijk één kenmerkende combinatie en/of verhouding van stoffen te geven voor heel Parkstad.

In de onderstaande paragrafen is voor elke locatie een indicatie gegeven van de kenmerkende combinatie van stoffen. Het is op dit moment niet mogelijk om kenmerkende verhouding van stoffen te geven of een indicatie te geven van de hoogte van concentraties omdat daarvoor te veel processen spelen die de concentraties en verhouding van stoffen beïnvloeden. In dit hoofdstuk zijn concentraties daarom met 'hoog' en 'laag' omschreven.

6.1. Locatie 1, bovenste meter van de mijnsteenbergr

Neerslag infiltreert in de laag die de mijnsteenbergr afdekt. Bij veel mijnsteendeponieën in Parkstad bestaat deze uit een 0,5 m tot 2,0 m dikke leemlaag. Deze neerslag kan licht zuur zijn en tijdens de infiltratie treden chemische processen op in het bodemprofiel waarbij de pH kan dalen door de oplossing van CO₂ in het water. Deze lage pH vergemakkelijkt de oxidatie van pyriet. Deze waterkwaliteit is niet kenmerkend voor mijnsteen en wordt daarom verder niet besproken.

6.2. Locatie 2, (on)verzadigde aerobe condities in de mijnsteenbergr

Op deze locatie kunnen twee kenmerkende combinaties van stoffen bestaan:

- water met een neutrale pH en stoffen als calcium, magnesium, sulfaat en bicarbonaat in oplossing in verhoogde concentraties. In dit water kunnen beperkte hoeveelheden zware metalen in oplossing voorkomen;
- water met een pH van rond de 4 met stoffen als sulfaat en aluminium in oplossing in verhoogde concentraties. IJzer en zware metalen kunnen bij deze pH ook in verhoogde concentraties in oplossing voorkomen.

6.3. Locatie 3, (on)verzadigde anaerobe condities in de mijnsteenbergr

Op deze locatie kan de volgende kenmerkende combinatie van stoffen bestaan:

- op deze locatie heerst een gereduceerd milieu met een neutrale tot basische pH. In het grondwater kunnen stoffen als ijzer, sulfaat, calcium, magnesium in oplossing voorkomen. Deze stoffen zijn waarschijnlijk in significant lagere concentraties aanwezig dan aan de randen van de mijnsteenbergr waar wel zuurstof beschikbaar is. Op deze locatie wordt verwacht dat de concentratie zware metalen gering is omdat deze bij een neutrale pH niet in oplossing gaan.

6.4. Locatie 4, kwel uit mijnsteenbergr

Op deze locatie kunnen de volgende kenmerkende combinaties van stoffen bestaan:

- water met een neutrale pH: dit water is gebufferd door calciert dat aanwezig is in de mijnsteen. In dit water zijn stoffen als sulfaat, calcium, magnesium, bicarbonaat in oplossing. In dit water zal de concentratie ijzer en zware metalen beperkt zijn. In het geval dat gebufferd water hier uittreedt kan CO₂ uit oplossing naar de atmosfeer gaan wat neerslag van calcium en magnesiumcarbonaten tot gevolg heeft. Ook kan gips (CaSO₄) neerslaan;
- ongebufferd percolaat zal worden gekenmerkt door een lage pH. In dit percolaat kunnen zware metalen, sulfaat, aluminium en ijzer zijn opgelost. De pH kan toenemen met afstand van de bron. Met toename van de pH zullen ook concentraties zware metalen afnemen, deze kunnen in combinatie met humuszuren echter nog steeds mobiel zijn. Aluminium zal neerslaan waardoor amorfe aluminiumneerslag aanwezig kan zijn in de bronzone. Aluminium kan ook in colloïdale vorm verder getransporteerd worden. De sulfaatconcentratie van dit water zal hoog zijn.

Voor beide typen percolatiewater geldt dat bij het opkwellen van percolatiewater uit mijnsteen de zuurstofconcentratie van het water zal toenemen. Eventueel opgelost tweewaardig ijzer zal dan oxideren en neerslaan. Hierbij zullen ook zware metalen neerslaan en zal de concentratie van deze zware metalen verder afnemen.

6.5. Locatie 5, aerobe condities in substraat

De sulfaatconcentratie in het grondwater in de omgeving van mijnsteenbergen kan variëren. In Duitsland zijn die variaties in concentraties te wijten aan variaties in snelheid van pyrietoxidatie en het neerslaan van sulfaatmineralen (CSO, 2000). Sulfaatconcentraties in het grondwater in Parkstad zullen ook variëren door variaties in snelheid van pyrietoxidatie en het neerslaan van sulfaatmineralen.

In het substraat kan de concentratie zware metalen met afstand van de mijnsteenberg afnemen doordat zware metalen zich binden aan kleideeltjes en organisch materiaal. Dit is het gevolg van kationuitwisseling. Juist zware metalen binden zich goed aan kleimineralen, organisch materiaal en ijzeroxiden. Daardoor neemt de concentratie zware metalen af.

De waterkwaliteit op deze locatie wordt beïnvloed door een groot aantal processen waardoor het moeilijk is om een kenmerkende combinatie van stoffen te geven. Hieronder worden drie mogelijke combinaties van stroming beschreven en de daarbij mogelijke kenmerkende combinatie van stoffen:

- gebufferd percolaat uit een aerobisch mijnsteenmilieu dat naar het substraat stroomt wordt in het substraat gekenmerkt door een neutrale pH, met een hoge sulfaatconcentratie. Ook de stoffen calcium, magnesium en bicarbonaat zullen in hoge concentraties aanwezig zijn. De concentratie ijzer en zware metalen zal niet hoog zijn omdat deze bij de neutrale pH niet in oplossing zijn. Een uitzondering hierop vormen koper en zink die daarom nog wel in oplossing kunnen zijn. Deze laatste worden beïnvloed door kationuitwisseling met de bodemmatrix en zullen daarom met afstand van de mijnsteenberg in concentratie afnemen;
- niet-gebufferd percolaat uit een aerobisch mijnsteenmilieu dat naar het substraat stroomt wordt gekenmerkt door een lage pH en een hoge sulfaat-, aluminium-, ijzer-, en zware metalenconcentratie. Door de bufferende werking van het substraat zal de pH stijgen en zal de concentratie aluminium en zware metalen afnemen. Als gevolg van de bufferende werking van calciet zullen de concentratie bicarbonaat, calcium en magnesium toenemen. Als er geen calciet in het substraat aanwezig is zal de pH niet worden gebufferd, de kwaliteit van het percolaat zal dan nauwelijks veranderen. De concentratie zware metalen zal door kationuitwisseling wel kunnen afnemen;
- als percolaat uit een anaerobisch mijnsteenmilieu naar het substraat stroomt zal door toenemen van de zuurstofconcentratie eventueel opgelost ijzer neerslaan als driewaardig ijzeroxide. In dit water zal de sulfaatconcentratie lager zijn dan in water dat uit een geoxideerd milieu naar het substraat stroomt omdat er minder pyriet is geoxideerd. Daardoor zullen ook zware metalen in mindere mate in oplossing zijn. De pH van dit water is neutraal tot basisch omdat weinig pyriet is geoxideerd en mogelijk sulfaat is gereduceerd.

6.6. Locatie 6, anaerobe condities in substraat

Ook op deze locatie wordt de waterkwaliteit beïnvloed door een groot aantal processen waardoor het moeilijk is om een kenmerkende combinatie van stoffen te geven. Hieronder worden drie mogelijke combinaties van stroming beschreven en de daarbij mogelijke kenmerkende combinatie van stoffen:

- als gebufferd percolaat uit een oxiderend milieu naar het substraat stroomt kan de redoxpotentiaal dalen doordat organisch materiaal, dat in het substraat aanwezig is, oxideert. Hierbij kan ijzer en sulfaat reduceren tot pyriet waarbij de pH van het grondwater stijgt. Zware metalen worden ook in deze pyrietstructuren opgenomen. De concentratie van deze stoffen daalt daarmee dus ook. Als de pH verder stijgt kan calciet neerslaan. Hier vindt de omgekeerde opeenvolging van reacties plaats die in de mijnsteen berg heeft plaatsgevonden, waardoor de hoeveelheid opgeloste stoffen afneemt;
- als niet-gebufferd percolaat uit een oxiderend milieu naar een anaeroob milieu in het substraat stroomt kan de pH gebufferd worden door calciet dat aanwezig is in het substraat. Hierdoor zal de pH neutraliseren en zullen aluminium en zware metalen neerslaan. Omdat hier anaerobe condities heersen kunnen sulfaat en ijzer reduceren tot pyriet waardoor de totale hoeveelheid opgeloste stoffen afneemt;
- als percolaat uit een reducerend milieu in de mijnsteen berg naar een reducerend milieu in het substraat stroomt verandert de redoxpotentiaal niet. De pH van het water is neutraal tot basisch in de mijnsteen en verandert in het substraat ook niet. Eventueel aanwezige kationen in het percolaat kunnen worden uitgewisseld met kationen die zijn gebonden aan het substraat. Hierdoor kan de concentratie zware metalen afnemen met afstand van de mijnsteen berg.

6.7. Locatie 7, kwel in bron en kwelzones

In de bron- en kwelzones kunnen de in paragraaf 6.5 en 6.6 genoemde watertypen uitstromen. De processen die in deze kwelzones optreden zijn vergelijkbaar met de processen die optreden als percolatiewater direct opkwelt uit mijnsteen.

Hoewel de pH van uittredend water laag kan zijn wordt verwacht dat deze wordt geneutraliseerd door bodem- en atmosferische processen. Een mogelijk lage pH bij de bron zal daarom met afstand van de bron toenemen. Daarmee zullen ook de hoeveelheid opgeloste zware metalen afnemen. Deze zware metalen kunnen in combinatie met humuszuren echter nog steeds mobiel zijn.

Zuurstof zal oplossen waardoor de redoxpotentiaal van eventueel gereduceerd water stijgt. Hierdoor zal opgelost ijzer neerslaan en wat een roestbruine neerslag kan vormen in de bronzone.

De sulfaatconcentratie van dit water zal niet meer veranderen na deze bronzone.

Aluminium dat in oplossing kan zijn zal bij toename van de pH neerslaan en kan in de bronzone aanwezig zijn als amorfe aluminiumhydroxide.

Als percolatiewater vanuit het substraat in beken opkwelt moet het eerst de bodem van de beek passeren. In deze bodem bevindt zich vaak organisch materiaal waaraan zware metalen gebonden worden. Hierdoor neemt de concentratie zware metalen in het water af.

Als het kwellende percolatiewater mengt met oppervlaktewater zullen door verdunning de concentraties stoffen afnemen. De resulterende concentratie is afhankelijk van de concentratie in het percolaat en in het oppervlaktewaterlichaam.

7. RISICOWAARDEN VAN STOFFEN

In dit hoofdstuk wordt antwoord gegeven op vraag 3.1:

Boven welk concentratieniveau in het grondwater is voor de stoffen vermeld in § 3.5, waarvoor geen interventiewaarde grondwater is bepaald, sprake van een onaanvaardbaar risico bij menselijke consumptie van dat grondwater?

Deze vraag wordt beantwoord voor de stoffen die zijn opgenomen in de lijst die is gepresenteerd in paragraaf 3.5. en alleen voor stoffen waarvoor geen interventiewaarde grondwater bestaat. Voor de zware metalen arseen, koper, nikkel, chroom, cadmium en zink is een interventiewaarde grondwater vastgesteld in de Circulaire bodemsanering 2009. Deze worden hier daarom niet meer besproken.

7.1. Sulfaat

Voor sulfaat is in het drinkwaterbesluit 2011 een norm gesteld van 150 mg/l. Deze stof is niet toxisch maar bij hoge concentraties kan sulfaat wel effect hebben op organen. Boven welke concentratie sulfaat een onaanvaardbaar risico vormt voor de menselijke gezondheid is niet vastgesteld in het raamwerk van de humaan toxicologische risicogrenzen (MTR) omdat sulfaat als niet toxisch kan worden beschouwd (RIVM, 2008). Het afleiden van een MTR is daardoor niet noodzakelijk.

Het RIVM Briefrapport getiteld: 'Afleiding van milieurisicogrenzen voor sulfaat in oppervlaktewater, grondwater, bodem en waterbodem.' (711701069/2008) beschrijft de humaan toxicologische risicogrenzen als volgt:

Bron: Het RIVM Briefrapport getiteld: 'Afleiding van milieurisicogrenzen voor sulfaat in oppervlaktewater, grondwater, bodem en waterbodem.' (711701069/2008)

4 Afleiding humane- en ecologische risicogrenzen

4.1 Humaan toxicologische risicogrenzen

Mensen hebben een gemiddelde dagelijkse inname van sulfaat, via water, lucht en voedsel, van ongeveer 500 mg per dag. Hierin zijn drinkwater en voedsel de belangrijkste opnameroutes. Sulfaat wordt slecht opgenomen door het menselijke maag-darmstelsel en passeert slechts langzaam de celmembranen (WHO, 1984; Daniels, 1988). Sulfaat is een belangrijk onderdeel in het metabolisme omdat het met verschillende metabolieten een geheel vormt, waardoor deze beter oplosbaar zijn in water en daarmee makkelijker kunnen worden verwijderd uit het lichaam (Daniels, 1988). Sulfaat zelf wordt snel door de nieren verwijderd uit het bloed (WHO, 1984).

Het belangrijkste acute gezondheidseffect van een hoge ingestie van sulfaat is een laxerende werking (Daniels (1988), NAS (1977), US-EPA (1994) en WHO (2004)). US-EPA heeft een LOAEL van 630 mg/l sulfaat afgeleid welke is gebaseerd op een onderzoek naar diarree bij peuters. LOAEL staat hier voor lowest observed adverse effect level, vertaald als de laagst waargenomen concentratie met een negatief effect. De peuters kregen flesvoeding welke was aangemaakt met water dat een hoge sulfaatconcentratie bevatte (US-EPA, 1990). De laxerende werking is van korte duur en heeft verder geen nadelige gevolgen. Naast

peuters kunnen ook andere risicogroepen (bijvoorbeeld toeristen) een laxerende werking ervaren. Gezien dit effect, adviseert de WHO om sulfaatconcentraties boven de 500 mg/l te vermijden.

Veel vaker blijkt dat sulfaat een aanzienlijke bijdrage heeft aan de smaak van water. De smaakgrens van sulfaat in water is persoonsafhankelijk, maar ligt gemiddeld rond 300-400 mg/l (NAS, 1977).

Er is geen verdere informatie over de orale (chronische) toxiciteit van sulfaat in de mens gevonden. Eveneens is er geen informatie gevonden dat sulfaat effect heeft op ontwikkeling en voortplanting in de mens. Tot slot zijn er geen gegevens gevonden welke erop duiden dat sulfaat carcinogeen kan zijn (US EPA 2003).

4.1.1 Conclusie

In het raamwerk van de humaan toxicologische risicogrenzen (MTR), kan sulfaat als niet toxisch worden beschouwd. Het afleiden van een MTR is daardoor niet noodzakelijk.

Referenties

Daniels, 1988 Daniels J.I., (1988). Evaluation of Military Field-Water Quality. Volume 4. Health Criteria and Recommendations for Standards. Part 1. Chemicals and Properties of Military Concern Associated with Natural and Anthropogenic Sources. AD UCRL-21008 Vol. 4, Part 1.

NAS 1977 NAS (1977). Drinking Water and Health. National Academy of Sciences, Washington DC, USA.

US-EPA., (1990). National Primary and Secondary Drinking Water Regulations, Synthetic Organic Chemicals and Inorganic Chemicals. US Environmental Protection Agency, Washington DC, USA. Federal Register. Vol. 55. No. 143, 30370.

US-EPA., (1994). Health Effects from Exposure to High Levels of Sulfate in Drinking Water Study and Sulfate Workshop. United States Environmental Protection Agency, Washington. <http://www.epa.gov/EPA-WATER/1999/February/Day-11/w3427.htm> Retrieved 10-10-2007.

US EPA 2003 US-EPA., (2003). Contaminant Candidate List Regulatory Determination Support Document for Sulfate. United States Environmental Protection Agency, Washington. http://www.epa.gov/SAFEWATER/ccl/pdfs/reg_determine1/support_cc1_sulfate_dwreport.pdf Retrieved 10-10-2007.

WHO (1984). Guidelines for Drinking Water Quality, 2nd edition. vol. 2, Health Criteria and Other Supporting Information. World Health Organization, Geneva, Switzerland.

WHO (2004). Guidelines for Drinking Water Quality, 3rd edition, vol. 1, Recommendations. World Health Organization, Geneva, Switzerland.

7.2. Aluminium

Voor aluminium is in het Drinkwaterbesluit 2011 een norm gesteld van 0,2 mg/l. Het toxisch effect is klein maar grotere hoeveelheden aluminium kunnen volgens enkele bronnen effecten hebben op de gezondheid.

De internetsite <http://www.lenntech.com/periodic/water/aluminium/aluminum-and-water.htm> beschrijft de effecten van aluminium in water op de menselijke gezondheid.

Blootstelling aan aluminium is meestal niet schadelijk, maar blootstelling aan hoge concentraties kan invloed hebben op de gezondheid (ATSDR, 2008). De totale aluminiumconcentratie in het menselijk lichaam is ongeveer 9 ppm (drogestofgehalte). In sommige organen, met name de milt, nieren en longen, kunnen concentraties tot 100 ppm (droge massa) aanwezig zijn. Dagelijkse inname van aluminium is ongeveer 5 mg, waarvan slechts een kleine fractie wordt geabsorbeerd (Water treatment solutions, 2011). Absorptie is ongeveer 10 µg per dag. Deze hoeveelheden worden beschouwd als ongevaarlijk voor de mens. Echter, zodra het element is opgenomen in het lichaam is het niet gemakkelijk verwijderbaar (Water treatment solutions, 2011).

Grote aluminiuminname kan een negatieve invloed op de gezondheid hebben en kan schade aan de zenuwen veroorzaken. Mensen met nierziekte zijn gevoelig voor aluminium. Aluminium is waarschijnlijk mutageen en kankerverwekkend. Een correlatie tussen aluminiumopname en een toename van het aantal gevallen van Alzheimer wordt vermoed. Dit is echter onzeker omdat aluminiumconcentraties altijd verhogen met de leeftijd. Verhoogde inname van aluminium kan ook leiden tot osteomalacie (vitamine-D en calciumtekorten) (Water treatment solutions, 2011).

Aluminiuminname vindt voornamelijk plaats door voedsel en drinkwater. De meest recente normen liggen tussen 50 en 200 µg/l. De Wereldgezondheidsorganisatie (WHO) heeft geconcludeerd dat er onvoldoende bewijs is om een concentratieniveau vast te stellen waarbij er sprake zou kunnen zijn van een onaanvaardbaar risico bij menselijke consumptie van dat grondwater (Water UK technical briefing note: aluminium in drinking water 2006).

Aluminiumzouten worden gebruikt in drinkwaterbehandeling. WHO schrijft dat de belangrijke voordelen van het gebruik van deze aluminiumzouten in drinkwaterbehandeling tegen alle mogelijke kleine risico's opwegen (Water UK technical briefing note: aluminium in drinking water 2006).

7.3. Bicarbonaat

Het bicarbonaat ion is aanwezig in drinkwater en in het menselijk lichaam. Het gedraagt zich als een amfolyt en heeft een bufferende werking.

Het bicarbonaat ion is een normale component in het lichaam van gewervelde dieren. Het speelt een belangrijk regulerende rol als extracellulaire pH buffer van het bloed en weefselvocht. Ook in de maag speelt het een pH-regulerende rol.

Overtollige bicarbonaat ionen verlaten via de urine het lichaam (UNEP, 2002). Hierdoor kan worden aangenomen dat bij normale inname geen nadelige effecten optreden.

Bij acute, extreem grote inname kan schade aan de maag ontstaan door excessieve gasvorming. Bij chronische overtollige inname kan metabole alkalose ontstaan (verhoogde pH van weefsels). Deze conditie is gewoonlijk omkeerbaar, en zal niet leiden tot negatieve effecten (UNEP, 2002).

Voor het bicarbonaat-ion zijn geen richtlijnen voor grondwater, oppervlaktewater of drinkwater bepaald. Ook zijn er voor het bicarbonaat geen toxicologische waarden bepaald. Ter vergelijking dient de LD50 (letale dosis voor 50 % van individuen) van natriumbicarbonaat, welke 4000 mg/kg bw te zijn (UNEP, 2002). Voor een kind van 15 kilo is dit 60 g. Bij het drinken van 2 liter water komt dit neer op 30 g/l.

Voor sensitieve populaties en een extrapolatie naar chronische studies, en om te compenseren voor het verschil tussen humaan en rat, wordt minimaal een factor 100 aangeraden. Dit komt vervolgens uit op een (indicatief) maximum van 0,3 g/l.

7.4. IJzer

Het element ijzer is, net als voor bijna alle organismen, ook voor de mens essentieel. Het speelt een belangrijke fysiologische rol, als onderdeel van heem in hemoglobine, de zuurstofbindende component in rode bloedcellen. Ijzertekort kan dan ook leiden tot 'bloedarmoede'. De totale hoeveelheid ijzer in het menselijke lichaam ligt bij circa 4 g, waarvan zich ongeveer 70 % in de rode bloedcellen bevinden. De rest bevindt zich in andere ijzerbevattende enzymen en eiwitten die ijzer opslaan of transporteren door het lichaam.

Ijzer komt voornamelijk binnen via het voedsel. Het voedingscentrum adviseert een ADH (aanbevolen dagelijkse hoeveelheid) van minimaal 8 - 20 mg Fe per dag (Voedingscentrum, 2011). De minimale ADH is hierbij afhankelijk van leeftijd, geslacht en zwangerschap/borstvoedinggevend.

Bij een te grote ijzeropname, die bijvoorbeeld bij mensen met de stofwisselingsziekte hemochromatose optreedt, wordt het ijzer in de pancreas, de lever, de milt en in het hart opgeslagen. Dit kan de organen beschadigen. Deze erfelijke aandoening komt naar schatting voor bij 0,5 % van de bevolking (Voedingscentrum, 2011).

Normaal gesproken wordt overtollig ingenomen ijzer grotendeels door het lichaam verwijderd. Acut ernstige toxische effecten bij gezonde personen komen pas voor bij ingestie van meer dan 0,5 g ijzer (C.D. Klaassen en J.B. Watkins III, 2003). Op dagbasis bij inname van 2 liter water zou de concentratie in water meer dan 250 mg/l moeten zijn.

Ook een lagere, maar chronische overtollige blootstelling kan tot fysiologische schade leiden door de accumulatie van ijzer in het lichaam (C.D. Klaassen en J.B. Watkins III, 2003).

In het Besluit kwaliteitseisen en monitoring water 2009, bijlage III, wordt een richtwaarde van 0,3 mg/l Fe (opgelost) genoemd voor oppervlaktewater dat wordt gebruikt voor de bereiding van voor menselijke consumptie bestemd water. Er wordt gestreefd naar een waarde van 0,1 mg/l Fe (opgelost). Ook de US Environmental Protection Agency stelt als richtlijn een maximale waarde van 0,3 mg/l.

Tussen de acute toxiciteitswaarde en de richtlijn zit dus (bijna) een factor 100 verschil. Naar verwachting dekt de richtlijn van 0,3 mg/l voldoende de risico's voor sensitieve bevolkingsgroepen en voor chronische effecten.

7.5. Conclusie

Tijdens het literatuuronderzoek zijn geen concentraties aangetroffen voor de vier, in dit hoofdstuk, beschreven stoffen, waar boven sprake is van een onaanvaardbaar risico bij menselijke consumptie. Wel zijn in de literatuur concentraties gevonden waarbij de stoffen een mogelijk effect hebben op de menselijke gezondheid. Deze zijn in de onderstaande tabel weergegeven.

Tabel 0.1. Maximumconcentraties waarbij stoffen negatief effect hebben op menselijke gezondheid

stof	maximale concentratie	gezondheidseffect	advies concentratie
Sulfaat	630 mg/l	Hoge sulfaat concentraties hebben een laxerende werking	WHO adviseert een maximum concentratie van 500 mg/l
Aluminium		Hoge aluminium concentraties kunnen schade aan de zenuwen veroorzaken. Mensen met nierziekte zijn gevoelig voor aluminium. Aluminium is waarschijnlijk mutageen en kankerverwekkend.	Drinkwaterbesluit 2011 een norm gesteld van 0,2 mg/l
Bicarbonaat	30 g/l	Er kan schade aan de maag ontstaan door excessieve gasvorming. Bij chronische overtollige inname kan metabole alkalose ontstaan.	Dit komt vervolgens uit op een (indicatief) maximum van 0,3 g/l.
IJzer	250 mg/l	Een te grote ijzeropname, kan bij bepaalde mensen de organen beschadigen. Acuut ernstige toxische effecten bij gezonde personen komen pas voor bij inname van 2 liter water met concentratie in water van meer dan 250 mg/l.	Besluit kwaliteitseisen en monitoring water 2009, gebruikt een richtwaarde van 0,3 mg/l Fe (opgelost).

8. REFERENTIES

1. Alterra, 2010. Uitspoeling van zware metalen uit bodems naar het oppervlaktewater. Ecologische risico's van metalen in het oppervlaktewater en bronnen van metaaluitspoeling. Alterra Wageningen UR.
2. Appello en Postma, 1993. Geochemistry, groundwater and pollution. A.A Balkema, Rotterdam.
3. Banks, D., Norges, Younger, P.L., Dumbleton, S., (1996). The historical use of mine-drainage and pyrite-oxidation waters in central and eastern England, United Kindom. Hydrogeology Journal, volume 4, nr. 4, pagina 55-68.
4. Banks, D., Younger, P.L., Arnesen, R.-T., Iversen, E.R., Banks, S.B. (1997). Mine-water chemistry: the good, the bad and the ugly. Environmental Geology volume 32, nr. 3, pagina 157-174.
5. DEFRA and the Environment Agency, 2002. Soil guideline values for arsenic contamination Department for Environment, Food and Rural AffairsR&D Publication SGV 1. Environment Agency.
6. DEFRA and the Environment Agency, 2002. Soil guideline values for arsenic contamination Department for Environment, Food and Rural AffairsR&D Publication SGV 1. Environment Agency.
7. CSO, 2000. Karssemeijer, P.L. Inventarisatie Mijnsteenproblematiek.
8. CSO, 2007. Historisch vooronderzoek voormalige mijnsterrein Oranje Nassau II en Wilhelmina te Landgraaf
9. De Straat Milieu-adviseurs, 2003. Omgaan met mijnsteen in Parkstad Limburg.
10. Domenico P.A. and F.W. Schwartz, 1990. Physical and chemical hydrogeology. John Wiley and sons.
11. (Environemnt Agency, niet gedateerd. Soil guideline values for nickel in soil. Science report SC050021 / Nickel SGV.
12. Evanko C.R. en D.A. Dzombak, 1997. Remediation of metals-contaminated soils and groundwater. Technology evaluation report Ground-Water Remediation Technologies Analysis Centre, Pittsburg USA.
13. Freeze R.A. and J.A. Cherry, 1997. Groundwater. Prentice Hall Englewood Cliffs, New Jersey USA.
14. Tebodin, 2001. Jongeman, E. Onderzoek gevolgen mijnsteendeponie Oranje Nassau I (woonwijk Zeswegen) op de kwaliteit van het grondwater. Afstudeeropdracht.
15. Kesseleer, J.M.A., Katholieke Universiteit Nijmegen (1993). Mijnsteen, een nuttige bouwstof of een milieuprobleem? De consequenties van mijnsteentoepassing in het Nederlandse rivierengebied, de estuaria en de Noordzee voor de haalbaarheid van de (inter)nationale milieubeleidsdoelstellingen voor PAK's en zware metalen.
16. Klaassen C.D. en J.B. Watkins III (2003). Casarett and Doull's Essentials of Toxicology. The McGraw-Hill Companies, Inc. ISBN 0-07-138914-8
17. Overheid.nl (2009). Besluit kwaliteitseisen en monitoring water http://wetten.overheid.nl/BWBR0027061/geldigheidsdatum_05-02-2010#Opschrift1143721
18. PBI (1985). Mijnsteen, Mijnslik en Milieu. Deelrapport C: Een aanvullend onderzoek naar de polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's) en andere organische microverontreinigingen in mijnsteen en mijnslik in de Oostelijke Mijnstreek en de gevolgen van deze stoffen voor mens en milieu.
19. PBI (Projectbureau voor industrieel afval), 1992. Mijnsteen, mijnslik, en milieu: deelrapport A, B en C.
20. Provincie Limburg, 2010. Verkenning van effecten van mijnsteen op grondwater- en oppervlaktewaterkwaliteit (Concept).
21. Royal Haskoning, 2002. Stroomgebiedsvisie Geleenbeek - Rodebeek - Worm.
22. Royal Haskoning, 2009. Analyse grondwatermeetnet in relatie met de mijnsteengebieden in Heerlen. Gebiedsspecifiek beleid mijnsteengebieden Besluit bodemkwaliteit.
23. Szczepanska, J., Twardowska, I. 1999. Distribution and environmental impact of coal-mining wastes in Upper Silesia, Poland. Environmental Geology, volume 38, nr. 3, pagina 249-258.
24. Tebodin, 2004. Steenberg, P. / Looovers, E.,. Sulfaatuitloging mijnsteenberga Emma/Hendrik te Brunssum.

25. Tauw (1986). Uitloging van mijnsteen. Rijkswaterstaat dienst binnenwateren/riza.
26. TAUW (1991). Samenvattende rapportage milieuhygiënisch onderzoek Limburgse mijnsteen.
27. UNEP (2002). OECD SIDS Initial Assessment Report For SIAM 15. Sodium Bicarbonate.
28. Voedingscentrum (2011). Encyclopedie: IJzer. Online, <http://www.voedingscentrum.nl/encyclopedie/ijzer.aspx>

BIJLAGE I AANVULLENDE LITERATUURBRONNEN

Nederlandse literatuur en onderzoeken

1. Karssemeijer, P.L., CSO (2000). Inventarisatie Mijnsteenproblematiek (tussenrapport).
2. Karssemeijer, P.L., CSO (2000). Inventarisatie Mijnsteenproblematiek.
3. Gemeentewerken Rotterdam (1992). MER-Mijnsteen, Milieu Effect Rapport betreffende het gebruik van mijnsteen voor grootschalige dempingen in het Waal-/Eemhavengebied te Rotterdam.
4. Van Haaren, T.F.M. MSc., gemeente Heerlen (2009). Analyse grondwatermeetnet in relatie met de mijnsteengebieden in Heerlen. Gebiedsspecifiek beleid mijnsteengebieden Besluit bodemkwaliteit.
5. Balsum T., M. de Bruyn, M. van Kemenade, G. de Zoeten; 2003. Omgaan met mijnsteen in Parkstad Limburg. Interactieve risicobenadering bodemproblematiek voormalige mijnstreek oostelijk Zuid-Limburg. Stichting Kennisontwikkeling Kennisoverdracht Bodem.
6. PBI (1985). Mijnsteen, Mijnslik en Milieu. Deelrapport A: Een inventariserend onderzoek naar de chemische en mineralogische samenstelling van mijnsteen en mijnslik en de mogelijke gevolgen van deze stoffen voor het milieu.
7. PBI (1985). Mijnsteen, Mijnslik en Milieu. Deelrapport B: Een inventariserend onderzoek naar de verspreiding van mijnsteen en mijnslik in de Oostelijke Mijnstreek in Zuid-Limburg.
8. Tauw Milieu 1995. Milieuhygiënisch onderzoek aan gewassen en gesorteerde Limburgse Mijnsteen.

Buitenlandse literatuur en onderzoeken

Opmerking PBI, 1992 schrijft dat de samenstelling van zwarte mijnsteen van de steenberg Laura en de gemiddelde samenstelling van Engelse zwarte mijnsteen vergelijkbaar is. De in Engeland gewonnen kolen en de daarbij geproduceerde bijproducten (mijnsteen) zijn net als in Nederland in steenberg verwerkt. De steenkool is gewonnen uit dezelfde formatie die ook wordt afgedekt door vergelijkbare formaties. Daarom wordt aangenomen dat problematiek rond de mijnsteenbergen in Engeland en in Nederland vergelijkbaar zijn.

Daarnaast wordt ook aangenomen dat vergelijkbare problemen rond mijnsteenbergen spelen in België, Frankrijk, Duitsland en Polen.

In deze landen en vooral in Engeland is veel onderzoek gedaan naar grondwaterproblematiek rond om steenkoolwinning. Bij dit literatuuronderzoek zijn daarom naast bekende Nederlandse literatuurbronnen (paragraaf 2.1) ook buitenlandse literatuurbronnen geraadpleegd. Deze zijn hieronder genoemd:

9. Mayes, W.M., Gozzard, E. Potter, H.A.B., Jarvis, A.P. (2008). Quantifying the importance of diffuse minewater pollution in a historically heavily coal mined catchment. Environmental Pollution, volume 151, nr. 1, pagina 165-175.
10. Croxford, S.J., Banwart, S.A., Cripps, J.C. (????). The origin of minewater contaminants from the carboniferous coal measure sequence in the UK. Ninth annual V.M. Goldschmidt Conference.

11. Gandy, C.J., Younger, P.L. (2007). An object-oriented particle tracking code for pyrite oxidation and pollutant transport in mine spoil heaps. *Journal of Hydroinformatics* 09.4.
12. Mayes, W.M., Jarvis, A.P., Younger, P.L. (2005). Assessing the importance of diffuse mine water pollution: a case study from County Durham, UK. Ninth International Mine Water Congress.
13. Twardowska, I. (1990). Buffering capacity of coal mine spoils and fly ash as a factor in the protection of the aquatic environment. *The Science of the Total Environment*, volume 91, uitgave februari, pagina 177-189.
14. Younger P.L. (2001). Mine water pollution in Scotland: nature, extent and preventative strategies. *The Science of the Total Environment*, volume 265, nr. 1-3, pagina 309-326..
15. Younger P.L. (1994). Minewater Pollution: The Revenge of Old King Coal. *Geoscientist*, volume 4, nr. 5, pagina 6-8.
16. Younger P.L. (1995). Hydrogeochemistry of minewaters flowing from abandoned coal workings in the Durham coalfield. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, volume 28, nr. 2 pagina S01.
17. Younger P.L. (2002). Mine waste or mine voids: which is the most important long-term source of polluted mine drainage? United Nations Environment Programme, Mineral Resources Forum 'Current Feature' paper nov-dec 2002.
18. Department of Infrastructure, planning and Natural Resources (2005). Management of stream/aquifer systems in coal mining developments.
19. Gandy, C.J, Younger, P.L. (2003). Effect of a clay cap on oxidation of pyrite within mine spoil. *Journal of Engineering Geology and Hydrogeologie*, volume 36, nr. 3, pagina 207-216.
20. Jarvis, A.P., Moustafa, M., Orme, P.H.A. and Younger, P.L. (2005). Effective remediation of grossly polluted acidic, and metal-rich spoil heap drainage using a novel, low-cost, permeable reactive barrier in Northumberland, UK. *Environmental Pollution*, volume 143, pagina 261-268.
21. Jarvis, A.P., Younger, P.L. (1999). Design, construction and performance of a full-scale wetland for mine spoil drainage treatment, Quaking Houses, UK. *Water and Environmental Management Journal*, volume 13, nr. 5, pagina 313-318.
22. Younger, P.L. (2003). Passive in situ remediation of acidic mine waste leachates: progress and prospects. *Land Reclamation*.
23. Younger, P.L. (1998). Design, construction and initial operation of full-scale compost-based passive systems for treatment of coal mine drainage and spoil leachate in the UK. IMWA Symposium Johannesburg.
24. Banks, D. (2009). Geochemical processes controlling minewater pollution.

25. Younger, P.L., Jayaweera, A., Elliot, A., Wood, R., Amos, P., Daugherty, A.J., Martin, A., Bowden, L., Aplin, A.C., Johnson, D.B. (2003). Passive treatment of acidic mine waters in subsurface-flow systems: exploring RAPS and permeable reactive barriers. Land Contaminations & Reclamations, volume 11.

BIJLAGE II VERSPREIDINGSGEDRAG VAN STOFFEN

II.1. Inleiding

Deze bijlage is een notitie waarin een beschrijving van het verspreidingsgedrag van de in dit rapport besproken stoffen. Met de in deze bijlage beschreven informatie zijn hoofdstukken 5 en 6 van dit rapport geschreven. Deze notitie vormt een uitgangspuntennotitie die is afgerond voor dat het onderhavige rapport is afgerond.

Om de bijlage overzichtelijk te houden zijn, net als in het rapport de chemische processen en de tussenreacties die plaatsvinden tijdens de verspreiding van de stof in genummerde boxen weergegeven.

II.2. Omstandigheden die het gedrag van stoffen in de ondergrond beïnvloeden

Omstandigheden die het verspreidingsgedrag van stoffen beïnvloeden zijn voornamelijk de pH en de redoxpotentiaal (zuurstofconcentratie) van het grondwater. Afhankelijk van deze waarden vindt neerslag en oplossing van mineralen plaats of vindt oxidatie en reductie van stoffen plaats.

Naast bovengenoemde omstandigheden wordt het verspreidingsgedrag beïnvloed door de capaciteit van de ondergrond om kationen uit te wisselen.

Box II-1: Uitwisseling van kationen

Cation exchange capacity CEC, vertaald als de capaciteit om kationen uit te wisselen, is een eigenschap van een aquifermatrix om aan de matrix gebonden kationen te wisselen met in grondwater opgeloste kationen. Dit kan bijvoorbeeld gebeuren volgens de volgende vergelijking:



Deze capaciteit wordt weergegeven in meq/100g aquifermatrix en is sterk afhankelijk van de fractie klei en de fractie organisch materiaal in de aquifermatrix.

II.3. Sulfaat

Sulfaat komt vrij bij de oxidatie van pyriet en bij het oplossen van gips. Onderzoeken naar het uitlooggedrag van mijnsteen tonen zeer hoge concentraties van sulfaat aan in het grondwater in de omgeving van mijnsteen (Royal Haskoning, 2009; Tebodin, 2001; TAUW, 1991).

Invloed van pH op het verspreidingsgedrag van sulfaat

De snelheid van pyrietoxidatie en het uitspoelingsgedrag van sulfaat zijn afhankelijk van de pH in het bodem- en grondwater. Bij een lage pH oxideert pyriet sneller, daarnaast spoelt sulfaat makkelijker uit bij een lage pH (CSO, 2000).

De oxidatie van pyriet zorgt voor een verlaging van de pH, en omdat oxidatie van pyriet sneller gaat bij een lage pH is dit een zichzelf versterkend proces.

Neutraliserende componenten, zoals carbonaten, verlagen de pH en kunnen daardoor remmend werken op de oxidatie van pyriet en de uitspoeling van sulfaten (Box 2).

Transport van SO_4 wordt mede bepaald door de vorming van gips. De vorming van gips blijkt mogelijk te zijn onder relatief zure condities ($\text{pH} < 6.5$), aangezien bij hogere pH gips een instabiele fase is ten opzichte van kalk (CSO, 2000).

Als de pH toeneemt tot rond de 8 vindt sulfaatreductie plaats. Hierbij worden metaalsulfiden geproduceerd (CSO, 2000). Dit is de omgekeerde reactie van oxidatie van pyriet (Box 1).

Invloed van de redoxpotentiaal op verspreiding van sulfaat

Voor de oxidatie van pyriet is zuurstof nodig. Sulfaatuitspoeling ten gevolge van pyrietoxidatie kan alleen daar plaatsvinden waar voldoende zuurstof aanwezig is. Omdat zuurstof niet kan doordringen tot de diepere lagen vindt oxidatie alleen plaats in de buitenste laag van de mijnsteenbergen en niet dieper. Oxidatie van pyriet met de opgeloste zuurstof in percolatiewater is van ondergeschikt belang (CSO, 2000).

Tauw (1993) beschrijft een onderzoek van Döngelhoff et al. (1983). Hierin wordt geconcludeerd dat op grond van de theoretisch beschikbare hoeveelheid zuurstof in de mijnsteenbergen, pyrietoxidatie oxidatie geen rol kan spelen in de regeneratie van sulfaat. Het sulfaat moet daarom afkomstig zijn van anhydriet/gips dat opgelost wordt. Tauw (1986) en alle andere geraadpleegde literatuur spreken deze bewering echter tegen. Tauw (1986) concludeert dat de opmerking van Döngelhoff alleen geldt voor de kern van een mijnsteenbergen omdat daar door zuurstof gebrek geen pyrietoxidatie kan optreden maar in de buitenste schil van mijnsteenbergen is wel voldoende zuurstof aanwezig.

De zuurstofconcentratie onder de mijnsteenbergen varieert tussen de 1,25 en 0,70 mg/l. Buiten de mijnsteenbergen komen vooral in het freatisch grondwater hogere gehalten voor (tussen de 2 en 3 mg/l). De lage zuurstofgehalten in het grondwater onder de mijnsteenbergen zijn waarschijnlijk het gevolg van de pyrietoxidatie in de mijnsteenbergen (Jongman, 2001).

De sulfaatconcentratie van grondwater kan variëren. In de omgeving van mijnsteenbergen, in Duitsland zijn die variaties in concentraties gewijd aan variaties in snelheid van pyrietoxidatie en het neerslaan van sulfaatmineralen. Stroomafwaarts van de mijnsteenbergen neemt de redoxpotentiaal (en het zuurstofgehalte) af, terwijl de gehalten aan sulfaat opgelost ijzer en calcium, magnesium, en kalium sterk toenemen (CSO, 2000).

In bron/kwelzones kan een (bacteriologische) reductie van het sulfaatrijke grondwater plaatsvinden, waardoor weer pyriet wordt gevormd (CSO, 2000). De aanwezigheid van afbreekbaar organisch materiaal is een belangrijke randvoorwaarde voor het optreden van sulfaatreductie (CSO, 2000).

Naast de vorming van pyriet kan ook H_2S worden gevormd. Grondwater met een zeer lage redoxpotentiaal worden gekenmerkt door het voorkomen van H_2S . Deze vormen van grondwater zijn aangetroffen stroomafwaarts van sommige mijnsteenbergen (anaeroob-sulfidisch grondwater) (CSO, 2000).

De redoxpotentiaal beïnvloedt ook de neerslag van gips. Bij een bepaalde redox potentiaal zal sulfaat en calcium samen neerslaan als gips, dit gaat volgens de omgekeerde reactie van de oplossing van gips (Box 3). Bij veranderende omstandigheden kan dit gips weer in oplossing gaan (PBI, 1992). Welke omstandigheden optimaal zijn worden door het betreffende rapport niet vermeld.

II.4. Bicarbonaat

Bij het oplossen van carbonaatmineralen komen calcium (Ca), magnesium (Mg) en bicarbonaat (HCO_3^-) vrij. Het oplossen van deze mineralen heeft een bufferend vermogen op het grondwater.

Invloed van pH op het verspreiden van bicarbonaat

Het percolatiewater van mijnsteendeponieën in de oostelijke mijnstreek heeft een tamelijk constante pH waarde van meestal boven 6,5 (CSO, 2000; PBI, 1992). Deze pH wordt niet verhoogd door de protonen die vrijkomen bij de oxidatie van pyriet. Dit is het gevolg van de bufferende werking op het verzuringproces van carbonaatmineralen als calciet (CaCO_3) en dolomiet ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$). Deze zijn in de mijnsteen en in de ondergrond aanwezig. Mijnsteenbergen met een relatief hoog pyrietgehalte kunnen hierdoor toch nog een neutrale of basische pH behouden (PBI, 1985; CSO, 2000).

Het vrijkomen van protonen ten gevolge van bijvoorbeeld pyrietoxidatie versnelt de oplossing van carbonaatmineralen (Box 2). Het oplossen van deze carbonaten resulteert in een neutrale pH een hoge alkaliteit (HCO_3^-) en calcium magnesiumconcentratie in het percolatiewater. Deze eindproducten (calcium/magnesium en bicarbonaat) worden in grote hoeveelheden aangetroffen in het grondwater onder de mijnsteen berg Oranje Nassau I (Jongman, 2001).

Wanneer de kalk in de mijnsteen is uitgespoeld kan de pH dalen en zal de pyrietoxidatie en de uitspoeling van metalen toenemen.

II.5. IJzer

Als gevolg van pyrietoxidatie spoelt bij de mijnsteenbergen tweewaardig ijzer uit naar het grondwater. Oplosbaarheid van ijzer is voornamelijk afhankelijk van de redoxpotentiaal van het grondwater.

Invloed van redoxpotentiaal op het verspreidingsgedrag van ijzer

Ijzer komt voornamelijk in oplossing voor in gereduceerde vorm ' Fe^{2+} '. In contact met zuurstof wordt het opgeloste tweewaardig ijzer geoxideerd naar driewaardig ijzer, dat vervolgens neerslaat als ijzerhydroxide (Box 6) (CSO, 2000). Deze neerslag zorgt voor een bruin rode kleur van sedimenten in bronnen en kwelzones rond mijnsteenbergen (CSO, 2000).

In gereduceerde omstandigheden blijft het tweewaardig ijzer in oplossing en kan met het grondwater verspreiden.

Invloed van pH op het verspreidingsgedrag van ijzer

Onder zure omstandigheden kan ook de geoxideerde vorm van ijzer in oplossing voorkomen (Appelo and Postma, 1993). Daarnaast kan onder zure omstandigheden ijzer worden omgezet naar jarosiet

(ijzersulfaat). Deze neerslagreactie is vooral bekend van mijnsteenbergen met een beperkt zuurbufferend vermogen (CSO, 2000) en gaat volgens de volgende reactie:

Box II-2: Neerslagreactie van jarosiet



Naast bovengenoemde reactie kan ijzer ook neerslaan in de vorm van sideriet (FeCO_3) (CSO, 2000). Bepalend voor de vorming van dit mineraal zijn met name pH en zuurstof gehalte van het grondwater (CSO, 2000). Dit onderzoek beschrijft echter niet welke pH en zuurstof gehalten optimaal is voor deze neerslag reactie.

Invloed van kationen uitwisseling op het verspreidingsgedrag van ijzer

IJzer dat in oplossing aanwezig is kan een interactie aangaan met het kation-uitwisselingscomplex van het sediment (Appelo and Postma, 1993):

Box II-3: Uitwisseling van ijzer



Merk hierbij op dat Fe^{2+} in oplossing is en Fe^{3+} is gehecht aan het bodem deeltje. Het grote verschil in oplosbaarheid tussen Fe^{2+} en Fe^{3+} kunnen er op deze manier voor zorgen dat ijzer zich concentreert op een bepaalde locatie in de ondergrond (Appelo and Postma 1993).

II.6. Aluminium

Aluminium komt vrij ten gevolge van oplossing van aluminiummineralen bij een lage pH.

Invloed van pH op het verspreidingsgedrag van aluminium

Aluminiumconcentraties zijn onder natuurlijke omstandigheden sterk afhankelijk van de pH (Appelo and Postma 1993). Alleen bij lage pH waarden kunnen significante hoeveelheden aluminium oplossen (Box 4). Bij een bijna neutrale pH is aluminium nagenoeg onoplosbaar, (Appelo and Postma, 1993).

Bovengenoemde wordt tegengesproken door CSO (2000). In dit onderzoek wordt het als opvallend omschreven dat bij sterk gereduceerd water ook aluminium in oplossing gaat, waarbij ondanks de neutrale pH (7-8) tot 6000 $\mu\text{g/l}$ aan opgelost Al is aangetroffen (CSO, 2000).

CSO (2000) beschrijft het uittreden van water met een zeer hoog aluminium gehalte (3300 $\mu\text{g/l}$) bij de bronzone van Schutterspark en een lage pH (5,3 tot 5,7). Aan de noordzijde van de mijnsteenbergen is een witte neerslag gevonden (CSO, 2000). Dit betrof amorf aluminiumhydroxide. Bij de aangetroffen zuurgraad is het bronwater aluminium slecht oplosbaar, waardoor neerslagvorming plaatsvindt. Ook

het hoge gehalte aan zware metalen in het oppervlaktewater wijst op de aanvoer van relatief zuur grondwater, dat in de bronzone en het oppervlaktewatersysteem wordt geneutraliseerd.

De herkomst van het bovengenoemde aluminium is niet duidelijk (CSO, 2000). Lage pH's zijn namelijk niet aangetroffen in de bronzones rond de mijnsteenbierg. Het vermoeden bestaat dat in de mijnsteenbierg lokaal kalkloze spots voorkomen, als gevolg van een verbruikte kalkbuffer. Het opgeloste aluminium wordt met het grondwater getransporteerd en kan verder onderweg op kalkrijkere plaatsen neerslaan. Deze neerslag wordt vervolgens in colloïdale vorm verder getransporteerd tot in de bronzone waar deze flocculeert. In hoeverre dit de juiste verklaring is voor dit proces; en of dit zich in de toekomst versterkt of uitbreid naar andere delen rond de mijnsteenstort is nog onduidelijk.

Invloed van de redoxpotentiaal op het verspreidingsgedrag van aluminium

Het is bekend dat uitspoeling van aluminium plaatsvindt (CSO, 2007). De pH in het gebied varieert rond 7 en bij deze pH komt aluminiumhydroxide niet in oplossing voor (Jongman, 2001), hoewel in een brongebied bij Schutterspark amorf aluminiumhydroxide voorkomt. Aluminium kan alleen bij lage pH oplossen daarom bestaat het vermoeden dat er in de mijnsteenbierg lokaal totaal kalkloze spots voorkomen waar aluminium wel in oplossing kan gaan.

Uitspoeling van aluminium is echter ook afhankelijk van de redoxconditie van het water. In sterk gereduceerd water gaat namelijk ook aluminium in oplossing, waarbij ondanks de neutrale pH tot 6000 µg/l aan opgelost Al is aangetroffen in Duitse mijnsteenbiergen (CSO, 2000).

Invloed van kationuitwisseling op het verspreidingsgedrag van aluminium

Aluminium dat in oplossing is gegaan door oplossing van mineralen of door het verweren van mineralen kan een interactie aangaan met het kation-uitwisselingscomplex van het sediment. De hoeveelheid geadsorbeerde kationen is in vergelijking met opgeloste kationen erg groot. Uitwisseling van kationen als Ca, Mg, Na en K door Al kan als volgt worden beschreven (Appelo and Postma, 1993):

Box II-4: Uitwisseling van kationen aluminium en calcium



Beschrijving is in dit geval gedaan voor uitwisseling met calcium omdat dat in de meeste gevallen het dominante kation is.

Omdat de Al^{3+} die is vrijgekomen bij oplossing van gibbsiet wordt gebonden aan een mineraal kan gibbsiet verder oplossen en daarmee de pH verder bufferen (paragraaf 5.6.1).

II.7. Zware metalen over het algemeen

Voor dit onderzoek wordt het verspreidingsgedrag van de zware metalen; arseen, cadmium, chroom, nikkel, koper en zink onderzocht. Veel van de beschikbare literatuur maakt echter geen onderscheid tussen afzonderlijke metalen.

Invloed van pH op het verspreidingsgedrag van zware metalen

Zware metalen komen voornamelijk vrij bij de oxidatie van pyriet. De mobiliteit van zware metalen neemt toe bij een lagere pH (Banks, 1996). Deze lage pH wordt ook veroorzaakt door de oxidatie van pyriet. De metalen komen hierdoor in oplossing in het grondwater.

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 [PBI, 1985].

pH van percolatiewater van mijnsteendeponieën in de oostelijke mijnstreek heeft een tamelijk constante waarde van rond de 7. Bij een dergelijk pH is de mobiliteit van zware metalen gering. Hieruit volgt dat de uitloging van metalen bescheiden zal zijn (Tauw, 1986). Dit wordt bevestigd door een onderzoek naar het uitlooggedrag van verschillende zware metalen door het ECN in 1995 (Tauw, 1986). Tijdens dit onderzoek is de uitloging van verschillende zware metalen en anionen uit mijnsteen bepaald in relatie tot de zuurgraad. Hieruit blijkt dat de uitloging van zware metalen bij pH 7 en hoger zeer gering is.

Bij kolomproeven uitgevoerd door CSO (2000) met een pH van 7 - 8 waren vrijwel alle metalen beneden de detectielimiet. In een onderzoek is bij kolom- en cascadetesten alleen barium en cadmium boven de detectielimiet aangetroffen.

Invloed van de redoxpotentiaal op het verspreidingsgedrag van zware metalen

Bij het ontstaan van een anoxisch milieu door bijvoorbeeld de oxidatie van organisch materiaal kan ijzer en sulfaat reduceren tot ijzersulfide (Box 1). Dit is de omgekeerde reactie van pyrietoxidatie. Behalve ijzer kunnen ook zware metalen als slecht oplosbare sulfides neerslaan. Dit zal vooral optreden als de beschikbaarheid van ijzer laag is. Verder kunnen de metalen coprecipiteren met ijzersulfide. De metaalconcentraties zullen bij deze processen sterk dalen (Alterra, 2010).

Invloed van totaal zoutgehalte op de verspreiding van zware metalen

Zoutgehalte is van invloed op het uitlooggedrag van mijnsteen. Vooral de uitloging van barium, koper en nikkel blijkt verhoogd te worden bij een toenemend zoutgehalte. Arseen blijkt bij hogere zoutgehaltes minder uit te logen (Kesseleer, 1993). Voor dit onderzoek wordt er vanuit gegaan dat er met het zoutgehalte wordt bedoeld het totaal aan opgeloste stoffen in het percolaat.

Invloed van kationuitwisseling op het verspreidingsgedrag van zware metalen

De concentratie van zware metalen in het grondwater wordt sterk beïnvloed door kationuitwisseling. Dit komt doordat de meest voorkomende kationen zoals Ca en Mg een kleinere capaciteit hebben om protonen wisselen van mineralen als Al₂O₃ en TiO₃ dan zware metalen zoals Pb, Cu en Cd etc. Zware metalen kunnen daarom al bij lage concentraties makkelijk hechten aan de bodemmatrix (Appelo en Postma, 1993). Hierdoor neemt de concentratie in grondwater af.

II.8. Arseen

Arseen komt vrij bij de oxidatie van pyriet. De hoeveelheid oplosbaar arseen varieert met de pH, redoxpotentiaal en de aanwezigheid van componenten als ijzer, en mangaanoxides, kleimineralen, en organisch materiaal.

Beide complexen arseniet (AsO_3^{3-}) en arsenaat (AsO_4^{3-}) worden sterk gebonden aan ijzer en aluminiumoxides, kleimineralen en organisch materiaal. Arseen kan ook neerslaan met ijzeroxiden. Onder zure en reducerende omstandigheden als de ijzermineralen oplossen neemt de arseenconcentratie in het grondwater weer toe (Evanko en Dzombak, 1997 en Environment Agency, 2002).

Bovenstaand is waargenomen stroomafwaarts van de mijnsteenbergen (Norddeutschland), daar neemt de redoxpotentiaal (en het zuurstofgehalte) af, terwijl de gehalten aan sulfaat, opgelost ijzer (Fe^{2+}), Ca, Mg en K strek toe nemen. Ook blijken gehalten aan opgelost arseen en chroom toe te nemen naar mate de redoxpotentiaal daalt (REF).

Arsenaat en andere anionische vormen van arseen gedragen zich als chelaten en kunnen neerslaan als er kationen aanwezig zijn (Evanko en Dzombak, 1997).

Onder reducerende omstandigheden is As(III) het meest voorkomende ion dat voorkomt als arseniet (AsO_3^{3-}). Arseniet kan neerslaan met metaal sulfiden zoals pyriet (Evanko en Dzombak, 1997).

Veel arseencomplexen binden zich sterk aan bodemdeeltjes en worden daarom alleen over korte afstanden getransporteerd in grond- en oppervlaktewater. Hechting en neerslag vormt het belangrijkste verwijderingsmechanisme onder natuurlijke omstandigheden voor arseen. Arsenaat kan gemakkelijk uitloggen als de hoeveelheid reactief metaal in de bodem laag is (Evanko en Dzombak, 1997).

II.9. Nikkel

Nikkel komt vrij bij de oxidatie van pyriet en door uitloging uit additionele storting van bijvoorbeeld huis-, bouw- en sloopafval.

pH is de belangrijkste factor die de oplossing, binding en mobiliteit van nikkel bepaald. Mobiliteit wordt daarnaast bepaald door aanwezigheid van klei, ijzermangaan verbindingen en organisch materiaal. Mobiliteit neemt toe met afnemende pH (Environment Agency, niet gedateerd). Boven een pH van 8 komt het complex $\text{Ni}(\text{OH})_4^{2-}$ in oplossing voor. Bij een lage pH komen nikkel sulfaat en nikkelwaterstoffosfaat in oplossing voor. De mate waarin is afhankelijk van de concentratie sulfaat en fosfaat in het grondwater.

Gehalten aan nikkel zijn niet gerelateerd aan de redoxpotentiaal en zijn relatief laag (CSO, 2000)

Nikkel kan zich binden aan organisch materiaal, een deel hiervan vormt eenvoudig oplosbare chelaten. Dit zijn organische moleculen waaromheen metalen zijn georganiseerd. In de aanwezigheid van fulvine- of humuszuur zijn deze complexen veel mobieler dan en veel belangrijker dan de kationen in oplossing (Environment Agency, niet gedateerd)

Vergeleken met andere zware metalen bindt nikkel zich niet sterk aan kleien ijzer en is het daarom meer mobiel.

II.10. Koper

Koper kan vrijkomen bij de oxidatie van pyriet. Grondwaterkwaliteit en het bodemtype hebben grote invloed op het type kopercomplex dat in grondwater voorkomt.

Bij een pH van 6,5 tot 7,1 komt deze metaalhydroxide in oplossing voor (Jongman, 2001).

In aerobe systemen met een neutrale tot hoge pH is CuCO_3 de dominante kopervorm in oplossing, Cu^{2+} , en hydroxidecomplexen, CuOH^+ en $\text{Cu}(\text{OH})_2$, zij doorgaans ook in oplossing. In een gereduceerd milieu waar ook sulfaat aanwezig is wordt CuS gevormd (Evanko en Dzombak, 1997).

Koper vormt oplossingscomplexen met humuszuren, deze binding neemt toe bij een toenamen in pH.

Koper hecht zich net als de andere metalen aan mineralen zoals kleimineralen, ijzeroxiden en organisch materiaal. Hierdoor neemt de mobiliteit van koper af (Evanko en Dzombak, 1997).

II.11. Zink

Zink komt vrij bij de oxidatie van pyriet. Zink komt meestal voor als Zn^{2+} en vormt complexen met anionen aminozuren en organische zuren (Evanko en Dzombak, 1997).

Zink is een van de meest mobiele zware metalen in grondwater en oppervlaktewater omdat het oplosbaar is bij een lage tot een neutrale pH waarde (Evanko en Dzombak, 1997). Bij een pH van 6,5 tot 7,1 komt deze metaalhydroxide in oplossing voor (Jongman, 2001). Bij hogere pH waarden kan zinkcomplexen vormen met karbonaten en hydroxiden die de oplosbaarheid bepalen (Evanko en Dzombak, 1997).

Onder reducerende omstandigheden of bij zeer hoge concentraties slaat zink neer. Zink kan neerslaan als $\text{Zn}(\text{OH})_2(\text{s})$, $\text{ZnCO}_3(\text{s})$, $\text{ZnS}(\text{s})$, or $\text{Zn}(\text{CN})_2(\text{s})$.

Zink wordt vooral vastgelegd door binding aan sediment als kleimineralen ijzeroxiden en mangaanoxiden en organisch materiaal. Binding neemt toe als de pH toeneemt en de zoutconcentratie van grondwater daalt (Evanko en Dzombak, 1997).

II.12. Cadmium

Cadmium komt vrij bij de oxidatie van pyriet. Cadmium heeft een soortgelijke chemie als zink met een sterke affiniteit voor zwavel. De verbindingen hebben bijna uitsluitend de $^{2+}$ oxidatie toestand en cadmium vormt eenvoudige zouten met zuurstof, zwavel en veel voorkomende anionen waaronder chloride, nitraat en carbonaat (Environment Agency, 2004).

In waterige oplossing vormt cadmium vaak eenvoudige positief geladen gehydrateerde hydroxyl ionen, zoals $[\text{Cd}(\text{OH})(\text{H}_2\text{O})_x]$ (Environment Agency, 2004)

Cadmium is relatief mobiel in oppervlaktewater en grondwatersystemen en bestaat vooral als gehydrateerde ionen of als complexen met humuszuren en andere organische liganden (Evanko en Dzombak, 1997). Onder zure omstandigheden kan cadmium ook complexen vormen met chloride en

sulfaat. Cadmium verdwijnt uit oplossing door neerslag en sorptie aan minerale ondergronden, in het bijzonder oxide mineralen, dit gebeurt voornamelijk bij hogere pH-waarden ($> \text{pH } 6$). Verwijdering door deze mechanismen neemt toe naarmate de pH toeneemt. Sorptie wordt ook beïnvloed door de kationuitwisselingscapaciteit (CEC) van de klei, carbonaat mineralen en organisch materiaal dat aanwezig is in de ondergrond. Onder reducerende omstandigheden, neerslag als CdS bepaald de mobiliteit van cadmium (Evanko en Dzombak, 1997).

Cadmium kan ook neerslaan in de aanwezigheid van fosfaat, arsenaat, chromaat en andere anionen, hoewel oplosbaarheid zal variëren afhankelijk van de pH en andere chemische factoren (Evanko en Dzombak, 1997).

II.13. Chroom

Chroom kan vrijkomen bij de oxidatie van pyriet. Chroom kan voorkomen als driewaardig chroom(III) en als zeswaardig chroom(VI), afhankelijk van de pH en redoxcondities. Veel chroomverbindingen zijn in water slechts moeilijk of helemaal niet oplosbaar (www.lenntech.nl).

In het ondiepe watervoerende lagen waar de aerobe omstandigheden heersen is Chroom(VI) de dominante vorm van chroom. Grote Chroom (VI) verbindingen zijn chromaat (CrO_4^{2-}) en dichromaat ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$), deze slaan snel neer in de aanwezigheid van metaalionen (in het bijzonder Ba^{2+} , Pb^{2+} en Ag^+). Chromaat en dichromaat kunnen ook adsorberen aan bodemdeeltjes, met name ijzer en aluminiumoxides (Evanko en Dzombak, 1997). Chroom(VI) is de meest giftige vorm van chroom en is ook meer mobiel.

Chroom (VI) kan worden gereduceerd tot Chroom(III) door in de bodem aanwezige organische stof, S_2 -en Fe^{2+} -ionen onder anaerobe omstandigheden (www.lenntech.nl; Evanko en Dzombak, 1997).

Chroom(III) is de dominante vorm van chroom bij lage pH (< 4). Chroom(III) vormt oplossing complexen met NH_4^+ , OH^- , Cl^- , F^- , CN^- , SO_4^{2-} , en oplosbare organische liganden. Chroom(III)verbindingen zijn niet alleen moeilijk oplosbaar, maar ook voor een groot deel aan zweefdeeltjes gebonden. Chroom(III)oxide en chroom(III)hydroxide zijn in water onoplosbaar. Chroom(VI)oxide is een voorbeeld voor een goed in water oplosbare chroomverbinding (www.lenntech.nl).

De mobiliteit van chroom (III) wordt verlaagd door adsorptie aan klei en oxide mineralen bij een pH lager dan 5. Oplosbaarheid van chroom (III) bij water met een pH boven de 5 is afhankelijk van de vorming van $\text{Cr}(\text{OH})_3$ (Evanko en Dzombak, 1997).

Bijlage 3. Normen per stof per normkader**Circulaire bodemsanering 2006**

Stof	Streefwaarde (ug/l)	Interventiewaarde (ug/l)
Aluminium	-	-
Arseen	7,20 (diep grondwater (>10 m-mv))	60
Benzo(a)antraceen	0,0001	0,5
Benzo(a)pyreen	0,0005	0,05
Cadmium	0,06	6
Chroom	2,50	30
Fluorantheen	0,003	1
IJzer	-	-
Koper	1,30	75
Kwik	0,01	0,30
Lood	1,7	75
Minerale olie	50	600
Naftaleen	0,01	70
Nikkel	2,1	75
Sulfaat	-	-
Zink	24	800

Vierde Nota Waterhuishouding 1998

Stof	Streefwaarde (µg/l)	Maximaal Toelaatbaar Risiconiveau (µg/l)
Aluminium	-	-
Arseen	1,3	32
Benzo(a)antraceen	0,0003	0,03
Benzo(a)pyreen	0,002	0,2
Cadmium	0,4	2
Chroom	2,4	84
Fluorantheen	0,005	0,5
IJzer	-	-
Koper	1,1	3,8
Kwik	0,07	1,2
Lood	5,3	220
Minerale olie	-	-
Naftaleen	0,01	1,2
Nikkel	4,1	6,3
Sulfaat	-	100 (mg/l)
Zink	12	40

Drinkwaterbesluit 2011

Stof	Maximumwaarde
Aluminium	200 µg/l
Arseen	10 µg/l
Benzo(a)antraceen	-
Benzo(a)pyreen	0,010 µg/l
Cadmium	5,0 µg/l
Chroom	50 µg/l
Fluorantheen	-
IJzer	200 µg/l
Koper	2,0 mg/l
Kwik	1,0 µg/l
Lood	10 µg/l
Minerale olie	-
Naftaleen	-
Nikkel	20 µg/l
Sulfaat	150 mg/l
Zink	3,0 mg/l

Bijlage 4. Legenda voor kaarten hoofdstuk 7

Legenda



Bijlage 5 Literatuurlijst

Appello & Postma, 1993. Geochemistry, groundwater and pollution. A.A Balkema, Rotterdam.

CSO, 2000. Inventarisatie Mijnsteenproblematiek.

De Straat Milieu-adviseurs, 2003. Omgaan met mijnsteen in Parkstad Limburg.

Gemeente Brunssum, mondelinge mededeling.

Gemeente Heerlen, mondelinge mededeling.

Gemeente Kerkrade, mondelinge mededeling.

Gemeente Landgraaf, mondelinge mededeling.

Gemeentewerken Rotterdam, 1991. MER-Mijnsteen; achtergronddokument 2 Milieuhygiënische kwaliteit van mijnsteen.

Grontmij/IWACO, 2000. Met mijnsteen/mijnslik opgevulde grindgaten en andere ontgroningen in de provincie Limburg.

Intron Bodemtech bv, 1997. Historisch onderzoek Brandt/Eiland te Stevensweert, gemeente Maasbracht (concept).

PBI (deelrapport A), 1985. Mijnsteen, Mijnslik en Milieu. Deelrapport A: Een inventariserend onderzoek naar de chemische en mineralogische samenstelling van mijnsteen en mijnslik en de mogelijke gevolgen van deze stoffen voor het milieu.

PBI (deelrapport B), 1985. Mijnsteen, Mijnslik en Milieu. Deelrapport B: Een inventariserend onderzoek naar de verspreiding van mijnsteen en mijnslik in de oostelijke mijnstreek in Zuid-Limburg.

Provincie Limburg, 1996. Ontgrondingsvergunning groeve te Brunssum, met kenmerk BW 13789.

Provincie Limburg, 2011. Ontgrondingsvergunning Groeve "Mourik" te Brunssum met kenmerk 2011/62265.

Royal Haskoning, 2002. Stroomgebiedsvisie Geleenbeek – Rode Beek – Worm.

Royal Haskoning, 2009. Analyse grondwatermeetnet in relatie met de mijnsteengebieden in Heerlen. Gebiedsspecifiek beleid mijnsteengebieden Besluit bodemkwaliteit.

SKB, 2009. Cahier Stofftransport.

Tauw, 1991. Samenvattende rapportage milieuhygiënisch onderzoek Limburgse mijnsteen.

Tauw, 1995. Milieuhygiënisch onderzoek gewassen en gesorteerde mijnsteen.

Tebodin, 2001. Onderzoek gevolgen mijnsteendeponie Oranje Nassau I (woonwijk Zeswegen) op de kwaliteit van het grondwater.

Tebodin, 2004. Sulfaatuitloging mijnsteenbergr Emma/Hendrik te Brunssum.

Waterschap Roer en Overmaas, schriftelijke mededeling.

Bijlage 6 Gezondheidkundige beoordeling door GGD Zuid Limburg

Gezondheidkundige beoordeling

Pilot 'Effect van mijnsteen op grond-
en oppervlaktewater'

Kenmerk: 2012/
Datum: Oktober 2012
Contactpersoon: Drs. Cindy Gielkens, Milieugezondheidkundige
Afdeling SIM, unit Medische Milieukunde
T 045 - 850 62 15
E cindy.gielkens@ggdzl.nl
Bereikbaar: ma, di 8.00 tot 17.00 uur; do, vrij 8.00 tot 14.30 uur

Medische Milieukunde

GGD Zuid Limburg

Postbus 2022, 6160 HA Geleen
T 046 - 850 66 66 . F 046 - 850 66 67 . info@ggdzl.nl . www.ggdzl.nl

1. Inleiding

De Provincie Limburg heeft de GGD Zuid Limburg, unit Medische Milieukunde, gevraagd om een gezondheidkundige beoordeling uit te voeren van de gegevens die verzameld zijn in het kader van ILG Informatiepilot Bodem 'Effect van mijnsteen op grond- en oppervlaktewaterkwaliteit'. De provincie heeft verzocht om met name de volgende vragen te beantwoorden:

- a. Is vanuit medisch milieukundig oogpunt de gehanteerde selectie stoffen aanvaardbaar?
- b. Wat is de gezondheidkundige betekenis van de geconstateerde overschrijdingen van normen?
- c. Wanneer geen interventiewaarden voorhanden zijn: wat is dan de maximale concentratie waarbij geen gezondheidseffecten optreden? Klopt de gekozen benadering van Witteveen en Bos?
- d. Kunnen er gezondheidsrisico's optreden door direct contact met de verontreinigingen in het oppervlaktewater van de zwempas Zeekoelen en de bovenloop van de Rode Beek?

2. Is vanuit medisch milieukundig oogpunt de gehanteerde selectie stoffen aanvaardbaar?

In de pilot is het beschouwde stoffenpakket beperkt tot 16 stoffen (zie pagina 29 van het provincierapport) waar genoeg bestaande meetgegevens van voorhanden waren en waar regelmatig verhoogde gehalten van zijn aangetroffen. De geselecteerde stoffen zijn: sulfaat, arseen, aluminium, nikkel, koper, ijzer, zink, cadmium, chroom, benzo(a)antracene, benzo(a)pyreen, naftaleen, fluorantheen, lood, kwik en minerale olie. De stof bicarbonaat is buiten het project gebleven, omdat daar geen meetgegevens van voorhanden waren.

Bovengenoemde vraag is voorgelegd aan het centrum Gezondheid en Milieu (cGM) van het RIVM. Het cGM geeft aan dat voor een gezondheidkundige beoordeling van grondwater in algemene zin een stoffenlijst zoals weergegeven in het drinkwaterbesluit een eerste optie zou zijn aangezien de mogelijkheid bestaat dat grondwater ook weer als drinkwater gebruikt kan worden.

Wat de huidige pilot betreft, acht de GGD de gehanteerde selectie van stoffen aanvaardbaar. Bij een eventueel vervolgonderzoek adviseert de GGD, uitgaande van de stoffenlijst uit het drinkwaterbesluit en het literatuuronderzoek uitgevoerd door Witteveen en Bos (o.a. de uitloegbare stoffen uit de tabel op de pagina's 12 t/m 17), om naast de reeds geselecteerde PAK ook andere PAK (zoals pyreen, benzo(ghi)peryleen, fenantreen, indeno (1,2,3-cd)pyreen, antracene, benzo(b)fluorantheen, benzo(k)fluorantheen en chryseen, conform EPA-16)). Gezien de effecten van fluoride op de gezondheid (tandfluorose¹ en bij hogere inname fluorose in de botten) adviseert de GGD ook de stof fluoride bij vervolgonderzoek mee te nemen. De effecten van fluoride treden op bij concentraties vanaf 1,5 mg/l.

3. Wat is de gezondheidkundige betekenis van de geconstateerde overschrijdingen van de normen?

Een verontreiniging kan pas leiden tot gezondheidsrisico's indien er één gevaarlijke stoffen aanwezig zijn én er ook blootstellingsmogelijkheden zijn.

Men kan met de stoffen in het grondwater in aanraking komen, door:

1. Gebruik van het grondwater voor het besproeien van tuinen
2. Gebruik van het grondwater voor veedrenking
3. Gebruik van het grondwater voor het vullen van zwembadjes

¹ Tandfluorose: tandglazuur vertoont witte plekken en in ernstiger vorm bruine plekken.

Effecten op de gezondheid van de gebruikers kunnen optreden bij een blootstelling die hoger is dan het Maximaal Toelaatbaar Risiconiveau (MTR). Er wordt hierbij onderscheid gemaakt in twee soorten stoffen:

1. Voor niet-kankerverwekkende stoffen, bijvoorbeeld zware metalen, komt het MTR overeen met de Toelaatbare Dagelijkse Inname (TDI). Dat wil zeggen: de hoeveelheid van een stof (uitgedrukt op basis van lichaamsgewicht) die iemand levenslang binnen kan krijgen zonder daar ziek van te worden.
2. Voor kankerverwekkende stoffen is het MTR gelijk gesteld aan de hoeveelheid van een stof waarbij sprake is van één extra kanker geval per 10.000 levenslang blootgesteld.

Op basis van het MTR en modelmatig berekende blootstelling zijn door het RIVM humane risicogrenswaarden (in het Engels afgekort als SRC: Serious Risk Concentration) voor grondwater en aquatisch sediment bepaald. De SRC_{grondwater} houdt rekening met alle mogelijke blootstellingsroutes uit het model CSOIL en daarnaast met de directe consumptie van grondwater als drinkwater (via privéputten). Directe consumptie van grondwater als drinkwater komt nauwelijks voor in Nederland, maar is bij de afleiding als een mogelijke blootstellingsroute meegenomen. Bij de bepaling van de SRC_{sediment} wordt naast blootstelling aan verontreiniging in het oppervlaktewater ook rekening gehouden met blootstelling aan verontreiniging in het sediment en zwevend stof, dat in het oppervlaktewater aanwezig is, en met de consumptie van vis (RIVM rapport 7711701023).

De GGD heeft een gezondheidkundige beoordeling uitgevoerd van de aangetroffen concentraties (hoger dan de wettelijke normen) in grond- en oppervlaktewater. Gezondheidkundige beoordeling vindt plaats op basis van de door het RIVM afgeleide humane risicogrenswaarden voor grondwater en aquatisch sediment. Voor stoffen waarvoor het RIVM geen humane risicogrenswaarden heeft afgeleid (chromium, ijzer, sulfaten) zijn de (voorlopige) advieswaarden of aanbevelingen van de WHO gebruikt (WHO guidelines for drinking-water Quality, 4th edition).

Het resultaat van deze beoordeling is samengevat in tabel 1 en tabel 2 in bijlage 1. Op gedeelten waar het grondwater dieper is dan 10 meter beneden maaiveld zijn gezondheidsrisico's niet aan de orde. De resultaten van deze metingen en de concentraties van stoffen lager dan de wettelijke normen en lager dan de detectielimiet (kwik, benzo(a)antracene, benzo(a)pyreen, naftaleen, fluorantheen en minerale olie) zijn daarom niet in onderstaande beschrijving en de tabellen opgenomen. Voor een volledig overzicht van de aangetroffen verontreinigingen en uitleg over het wettelijke normenkader wordt verwezen naar het rapport van het pilotonderzoek.

Uit tabel 1 en 2 in bijlage 1 kan geconcludeerd worden dat de **aangetroffen concentraties arseen, cadmium, koper, lood, nikkel, naftaleen en zink in grond- en oppervlaktewater geen gezondheidsrisico's opleveren**. Voor de overige stoffen wordt hieronder per stof afzonderlijk omschreven wat de gezondheidkundige betekenis is van de aangetroffen concentraties.

Aluminium

Voor aluminium zijn er geen gezondheidkundige advieswaarden afgeleid, omdat er onvoldoende betrouwbare gegevens beschikbaar zijn. De gezondheidkundige risico's van de aangetroffen concentraties aluminium zijn daarmee onbekend. Voor aluminium geldt een drinkwaternorm van 200 µg/l. De grondslag hiervoor is esthetisch/organoleptisch. Bij hogere concentraties dan de norm van 200 µg/l kan dat leiden tot klachten van de consument, omdat dan onder andere verkleuring in het water kan optreden.

Chroom

Voor chroom in drinkwater is door de WHO een voorlopige gezondheidkundige advieswaarde vastgesteld van 50 µg/l. Deze gezondheidkundige advieswaarde is voorlopig, omdat er onvoldoende betrouwbare onderzoeksgegevens beschikbaar zijn. De

aangetroffen concentraties chroom zijn allemaal ruim beneden 50 µg/l. Gezondheidsrisico's zijn daarmee waarschijnlijk niet aan de orde.

IJzer

Voor ijzer zijn geen gezondheidkundige advieswaarden afgeleid. Ter voorkoming van overmatige opslag van ijzer in het lichaam kan voor drinkwater een voorlopige maximale waarde van 2 mg/l afgeleid worden. In de peilbuizen PB1, PB3, PB122, PB123, PB124, PB139 en PB95 zijn concentraties in het grondwater aangetroffen die variëren tussen 4 mg/l en 28 mg/l (zie tabel 2, bijlage 1). Het is niet uitgesloten dat, onder bepaalde voorwaarden, het opdrinken van grondwater, bijvoorbeeld bij gebruik van het grondwater in kinderbadjes, met een concentratie ijzer zoals die bij hiervoor genoemde peilbuizen gemeten is, kan zorgen voor overmatige opslag van ijzer in het lichaam. Het lichaam heeft geen natuurlijke mogelijkheid om het teveel aan ijzer kwijt te raken. Het ijzer kan zich in het lichaam ophopen in o.a. de lever, maar ook in andere organen en weefsels. Ten gevolge van de schadelijke effecten van een teveel aan ijzer kan een aantal klachten en/of aandoeningen ontstaan, o.a. vermoeidheid, gewrichtsklachten, buikpijn, leverafwijkingen, diabetes en cardiale afwijkingen. De schade aan het lichaam hangt af van de totale hoeveelheid ijzer die in de loop van de jaren wordt gestapeld.

Voor ijzer geldt een drinkwaternorm van 200 µg/l. De grondslag voor deze norm is esthetisch/organoleptisch. IJzer geeft drinkwater een metaalachtige smaak. De smaakgrens ligt bij circa 100 - 200 µg/l. Bij waarden > 300 µg/l is de smaak voor de meeste mensen onaanvaardbaar.

Sulfaat

Voor sulfaat zijn geen gezondheidkundige advieswaarden afgeleid. Uit onderzoek is bekend dat sulfaatconcentratie tussen de 500 en 1000 mg/l een laxerende werking bij volwassenen en kinderen kan veroorzaken. Vooral kinderen en personen die niet gewend zijn aan een dergelijk hoge concentratie sulfaat lopen dit risico (bijvoorbeeld toeristen). De laxerende werking is van korte duur (maximaal 14 dagen en meestal korter) en heeft verder geen nadelige gevolgen. Om maag-darmproblemen te voorkomen adviseert de WHO om concentraties hoger dan 500 mg/l in drinkwater te voorkomen. In meetpunt 31 (MP31) zijn concentraties aangetroffen in het oppervlaktewater van respectievelijk 3400 mg/l en 1926,6 mg/l (zie tabel 1, bijlage 1). In de peilbuizen PB87, PB141 en PB144 zijn concentraties in het grondwater aangetroffen die variëren tussen 540 mg/l en 2000 mg/l (zie tabel 2, bijlage 1). Het is niet uitgesloten dat, onder bepaalde voorwaarden, het opdrinken/inslikken van grondwater (bijvoorbeeld bij gebruik van het grondwater in kinderbadjes) of oppervlaktewater met een concentratie sulfaat zoals die bij hiervoor genoemde peilbuizen/meetpunten gemeten is, kan zorgen voor maag-darmproblemen.

4. Wanneer geen interventiewaarden voorhanden zijn, wat is dan de maximale concentratie waarbij geen gezondheidseffecten optreden, klopt de benadering van Witteveen en Bos?

Witteveen en Bos heeft voor een viertal stoffen in hoofdstuk 7 een benadering beschreven om maximale concentraties af te leiden waarbij geen gezondheidseffecten optreden. Tevens zijn in tabel 7.1 adviesconcentraties opgenomen. De GGD kan niet beoordelen of de gehanteerde systematiek de juiste is. Deze vraag is daarom voorgelegd aan het centrum Gezondheid en Milieu (cGM) van het RIVM.

In zijn algemeenheid geldt dat de stoffen sulfaat, aluminium, bicarbonaat en ijzer weinig toxisch zijn.

Voor sulfaat verwijst Witteveen en Bos naar de conclusie zoals door het RIVM getrokken in 2008: in het raamwerk van de humaan toxicologische risicogrenzen (MTR) kan sulfaat als niet-toxisch worden beschouwd.

De Wereldgezondheidsorganisatie (WHO) heeft in 2004 een beoordeling gemaakt voor aluminium in drinkwater. Aluminium wordt in het maagdarmlkanaal nauwelijks opgenomen. Er zijn studies naar het verband tussen het voorkomen van de ziekte van Alzheimer en aluminium in drinkwater, maar daaruit komt geen eenduidige conclusie. Over het algemeen is blootstelling via drinkwater veel lager dan die via voeding. De WHO heeft voor aluminium geen drinkwaterrichtlijn vastgesteld. Voor gebruik van aluminium als coagulant in de drinkwaterbereiding stelde de WHO een richtwaarde van 0,2 mg/liter voor. Deze waarde wordt door Witteveen en Bos voorgesteld in het huidige kader. Daartegen is geen bezwaar te maken, maar hij dient niet beschouwd te worden als enige interventiewaarde. Aluminium wordt niet beschouwd als genotoxisch of carcinogeen op basis van de beschikbare gegevens, dus de desbetreffende kwalificaties in de rapportage van Witteveen en Bos kunnen niet onderschreven worden.

Bicarbonaat is weinig toxisch voor de mens en komt algemeen voor in water en drinkwater. Het terugrekenen van de LD50 naar drinkwater, zoals gedaan door Witteveen en Bos, is geen gebruikelijke benadering (weinig zinvol). De waarde van 0,3 gram/liter (zoals voorgesteld door Witteveen en Bos) lijkt bruikbaar, maar niet als gezondheidkundige waarde.

Voor ijzer geldt een dagelijkse aanbevolen hoeveelheid van 30 tot 50 mg. Om te beschermen tegen ijzerstapeling in organen is een voorlopige toxicologische norm bekend van 0,8 mg/kg lichaamsgewicht/dag. De WHO stelde voor ijzer geen drinkwaterrichtlijn voor, maar geeft wel aan dat 2 mg/liter geen gezondheidsprobleem zou geven. Deze waarde zou gebruikt kunnen worden maar is wel erg conservatief voor grondwater.

5. Kunnen er gezondheidsrisico's optreden door direct contact met de verontreinigingen in het oppervlaktewater van zwempas de Zeekoelen en oppervlaktewater van de bovenloop van de Rode Beek?

In het onderzoeksgebied van de pilot zijn twee plekken waar direct contact (inslikken water en huidcontact) met oppervlaktewater mogelijk is: zwempas de Zeekoelen en de bovenloop van de Rode Beek.

De Zeekoelen

Voor het beoordelen van de gezondheidsrisico's van direct contact met oppervlaktewater zijn gegevens nodig over de kwaliteit van dit water. In het rapport 'Effect van mijnsteen op grondwater- en oppervlaktewaterkwaliteit' zijn geen gegevens opgenomen van de oppervlaktewaterkwaliteit van zwempas De Zeekoelen. Voor de beoordeling van de Zeekoelen is daarom gebruik gemaakt van de meetgegevens van het waterschap Roer en Overmaas².

Zoals blijkt uit tabel 3 in bijlage 2 liggen alle gemeten concentraties van verontreinigende stoffen in het oppervlaktewater beneden de gezondheidsnormen. Op basis van deze gegevens worden geen gezondheidsrisico's verwacht van direct contact (inslikken en huidcontact) met het oppervlaktewater van de Zeekoelen.

Bovenloop van de Rode Beek

Voor het beoordelen van de gezondheidsrisico's van direct contact met het oppervlaktewater van de bovenloop van de Rode Beek zijn de meetgegevens van de meetpunten 26, 27, 28, 29 en 36 uit de pilot gebruikt. Dit zijn de meetpunten voor het

² Meetdata Zeekoelen en Bovenloop Rode Beek Brunssum, ontvangen in mail van 24 april 2012

oppervlaktewater gelegen in het gebied vanaf de Brunssumerheide (bron) tot net onder de kern van Schinveld. Daarnaast zijn de meetgegevens van het waterschap Roer en Overmaas gebruikt.

Zoals blijkt uit tabel 4 in bijlage 2 liggen alle gemeten concentraties van verontreinigende stoffen in het oppervlaktewater beneden de gezondheidsnormen. Op basis van deze gegevens worden geen gezondheidsrisico's verwacht van direct contact (inslikken en huidcontact) met het oppervlaktewater van de bovenloop van de Rode Beek.

6. Conclusie

Op basis van de voorgaande uitleg concludeert en adviseert de GGD met betrekking tot de door de provincie gestelde vragen het volgende:

- De in de Informatiepilot Bodem 'Effect van mijnsteen op grond- en oppervlaktewaterkwaliteit' gehanteerde stoffenselectie is vanuit medisch milieukundig oogpunt aanvaardbaar. Bij een eventueel vervolgonderzoek adviseert de GGD, om het pakket PAK uit te breiden conform EPA-16 en ook fluoride in de metingen mee te nemen.
- Bij de aangetroffen overschrijdingen van de normen van de stoffen ijzer en sulfaat kunnen gezondheidseffecten niet geheel uitgesloten worden. Effecten kunnen optreden bij directe inname van het grondwater. Dit is met name aan de orde wanneer het grondwater opgepompt wordt voor eigen gebruik. Wij adviseren u om met betrokken partijen te bekijken of dit daadwerkelijk gebeurt en welke passende maatregelen hiervoor genomen kunnen worden.
- De door Witteveen en Bos gekozen benadering om voor de gezondheid maximale concentraties te berekenen waarbij geen effecten verwacht worden, wordt grotendeels onderschreven. Echter dienen de voor aluminium en bicarbonaat afgeleide waardes slechts als advieswaarden gebruikt te worden. Zij kunnen niet als interventiewaarden/gezondheidskundige normen worden gezien. De voor ijzer afgeleide waarde is conservatief.
- Op grond van de aangeleverde gegevens worden er, bij direct contact met de verontreinigingen in het oppervlaktewater van zwemplas de Zeekoelen en van de bovenloop van de Rode Beek, geen gezondheidsrisico's verwacht.

Bijlage 1: samenvatting meetresultaten in oppervlaktewater en grondwater**Tabel 1: Samenvatting van meetresultaten in oppervlaktewater**

Stof	Monster	Concentratie	Drinkwaternorm	Vierde nota waterhuishouding 2008		Gezondheidsnorm
			Max. waarde	Streefwaarde	MTR	SRC* humaan sediment
Arseen			10 µg/l	1,3 µg/l	32 µg/l	3300 µg/l
Cadmium	MP26	1,28 µg/l	5,0 µg/l	0,4 µg/l	2,0 µg/l	1800 µg/l
Chroom	MP23	3,68 µg/l	50 µg/l	2,4 µg/l	84 µg/l	50 µg/l **
	MP31	14,56 µg/l	50 µg/l	2,4 µg/l	84 µg/l	50 µg/l **
	MP35, 2006	8,86 µg/l	50 µg/l	2,4 µg/l	84 µg/l	50 µg/l **
	MP35, 2008	9,72 µg/l	50 µg/l	2,4 µg/l	84 µg/l	50 µg/l **
	MP36	3,16 µg/l	50 µg/l	2,4 µg/l	84 µg/l	50 µg/l **
	MP37	7,19 µg/l	50 µg/l	2,4 µg/l	84 µg/l	50 µg/l **
	MP38, 2007	2,56 µg/l	50 µg/l	2,4 µg/l	84 µg/l	50 µg/l **
	MP38, 2008	3,93 µg/l	50 µg/l	2,4 µg/l	84 µg/l	50 µg/l **
	MP39, 2009	4,73 µg/l	50 µg/l	2,4 µg/l	84 µg/l	50 µg/l **
	MP41	5,33 µg/l	50 µg/l	2,4 µg/l	84 µg/l	50 µg/l **
	MP42	5,28 µg/l	50 µg/l	2,4 µg/l	84 µg/l	50 µg/l **
Ijzer			200 µg/l	-	-	2 mg/l***
Koper	MP31	13,88 µg/l	2000 µg/l	1,1 µg/l	3,8 µg/l	> 100000 µg/l
	MP35	3,21 µg/l	2000 µg/l	1,1 µg/l	3,8 µg/l	> 100000 µg/l
	MP36	2,09 µg/l	2000 µg/l	1,1 µg/l	3,8 µg/l	> 100000 µg/l
	MP37	2,73 µg/l	2000 µg/l	1,1 µg/l	3,8 µg/l	> 100000 µg/l
	MP38, 2007	5,66 µg/l	2000 µg/l	1,1 µg/l	3,8 µg/l	> 100000 µg/l
	MP38, 2008	11,58 µg/l	2000 µg/l	1,1 µg/l	3,8 µg/l	> 100000 µg/l
	MP38, 2009	6,17 µg/l	2000 µg/l	1,1 µg/l	3,8 µg/l	> 100000 µg/l
* SRC = Serious Risk Concentration, humane risicogrenswaarde						
** o.b.v. voorlopige gezondheidkundige advieswaarde voor drinkwater (WHO)						
*** o.b.v. voorlopig vastgestelde maximaal toegestane dagelijkse inname via drinkwater (2 liter per dag)						

Bijlage 1: samenvatting meetresultaten in oppervlaktewater en grondwater

Vervolg tabel 1: Samenvatting van meetresultaten in oppervlaktewater

Stof	Monster	Concentratie	Drinkwaternorm	Vierde nota waterhuishouding 2008		Gezondheidsnorm
			Max. waarde	Streefwaarde	MTR	SRC* humaan sediment
Koper	MP39	4,67 µg/l	2000 µg/l	1,1 µg/l	3,8 µg/l	> 100000 µg/l
	MP40, 2006	6,77 µg/l	2000 µg/l	1,1 µg/l	3,8 µg/l	> 100000 µg/l
	MP40, 2007	6,67 µg/l	2000 µg/l	1,1 µg/l	3,8 µg/l	> 100000 µg/l
	MP40, 2008	5,98 µg/l	2000 µg/l	1,1 µg/l	3,8 µg/l	> 100000 µg/l
	MP40, 2009	6,26 µg/l	2000 µg/l	1,1 µg/l	3,8 µg/l	> 100000 µg/l
Lood	MP38, 2007	6,54 µg/l	10 µg/l	5,3 µg/l	220 µg/l	3210 µg/l
	MP38, 2008	6,71 µg/l	10 µg/l	5,3 µg/l	220 µg/l	3210 µg/l
Nikkel	MP26	13,63 µg/l	20 µg/l	4,1 µg/l	6,3 µg/l	735 µg/l
	MP31	128,29 µg/l	20 µg/l	4,1 µg/l	6,3 µg/l	735 µg/l
	MP35	6,06 µg/l	20 µg/l	4,1 µg/l	6,3 µg/l	735 µg/l
	MP36, 2006	9,59 µg/l	20 µg/l	4,1 µg/l	6,3 µg/l	735 µg/l
	MP36, 2008	10,73 µg/l	20 µg/l	4,1 µg/l	6,3 µg/l	735 µg/l
	MP38, 2007	4,72 µg/l	20 µg/l	4,1 µg/l	6,3 µg/l	735 µg/l
	MP38, 2008	7,19 µg/l	20 µg/l	4,1 µg/l	6,3 µg/l	735 µg/l
	MP38, 2009	6,2 µg/l	20 µg/l	4,1 µg/l	6,3 µg/l	735 µg/l
	MP39	6,77 µg/l	20 µg/l	4,1 µg/l	6,3 µg/l	735 µg/l
	MP40, 2006	7,14 µg/l	20 µg/l	4,1 µg/l	6,3 µg/l	735 µg/l
	MP40, 2007	11,60 µg/l	20 µg/l	4,1 µg/l	6,3 µg/l	735 µg/l
	MP40, 2009	6,58 µg/l	20 µg/l	4,1 µg/l	6,3 µg/l	735 µg/l
Sulfaat	MP24	314,2 mg/l	150 mg/l	-	100 mg/l	500 mg/L****
* SRC = Serious Risk Concentration, humane risicogrenswaarde						
**** Aanbeveling WHO, geen advieswaarde						

Bijlage 1: samenvatting meetresultaten in oppervlaktewater en grondwater**Vervolg tabel 1: Samenvatting van meetresultaten in oppervlaktewater**

Stof	Monster	Concentratie	Drinkwaternorm	Vierde nota waterhuishouding 2008		Gezondheidsnorm
			Max. waarde	Streefwaarde	NTR	SRC* humaan sediment
Sulfaat	MP31, 2007	3400 mg/l	150 mg/l	-	100 mg/l	500 mg/l ****
	MP31, 2009	1926,6 mg/l	150 mg/l	-	100 mg/l	500 mg/l ****
	MP36, 2006	259 mg/l	150 mg/l	-	100 mg/l	500 mg/l ****
	MP36, 2008	269 mg/l	150 mg/l	-	100 mg/l	500 mg/l ****
	MP41	336,25 mg/l	150 mg/l	-	100 mg/l	500 mg/l ****
	MP42	185,5 mg/l	150 mg/l	-	100 mg/l	500 mg/l ****
	MP35, 2006	389 mg/l	150 mg/l	-	100 mg/l	500 mg/l ****
	MP35, 2008	321,8 mg/l	150 mg/l	-	100 mg/l	500 mg/l ****
Zink	MP10, 2007	30,49 µg/l	3 mg/l	12 µg/l	40 µg/l	> 100000 µg/l
	MP10, 2008	32,15 µg/l	3 mg/l	12 µg/l	40 µg/l	> 100000 µg/l
	MP10, 2009	24,46 µg/l	3 mg/l	12 µg/l	40 µg/l	> 100000 µg/l
	MP23	23,51 µg/l	3 mg/l	12 µg/l	40 µg/l	> 100000 µg/l
	MP26	131,46 µg/l	3 mg/l	12 µg/l	40 µg/l	> 100000 µg/l
	MP31	133,54 µg/l	3 mg/l	12 µg/l	40 µg/l	> 100000 µg/l
	MP35	29,89 µg/l	3 mg/l	12 µg/l	40 µg/l	> 100000 µg/l
	MP36, 2006	24,16 µg/l	3 mg/l	12 µg/l	40 µg/l	> 100000 µg/l
	MP36, 2008	38,7 µg/l	3 mg/l	12 µg/l	40 µg/l	> 100000 µg/l
	MP37	21,40 µg/l	3 mg/l	12 µg/l	40 µg/l	> 100000 µg/l
	MP38, 2007	68,8 µg/l	3 mg/l	12 µg/l	40 µg/l	> 100000 µg/l
	MP38, 2008	81,57 µg/l	3 mg/l	12 µg/l	40 µg/l	> 100000 µg/l
	MP38, 2009	104,8 µg/l	3 mg/l	12 µg/l	40 µg/l	> 100000 µg/l
	MP39	45,42 µg/l	3 mg/l	12 µg/l	40 µg/l	> 100000 µg/l
	MP40, 2006	56,08 µg/l	3 mg/l	12 µg/l	40 µg/l	> 100000 µg/l
	MP40, 2007	61,53 µg/l	3 mg/l	12 µg/l	40 µg/l	> 100000 µg/l
	MP40, 2008	77,79 µg/l	3 mg/l	12 µg/l	40 µg/l	> 100000 µg/l
	MP40, 2009	63,03 µg/l	3 mg/l	12 µg/l	40 µg/l	> 100000 µg/l
* SRC = Serious Risk Concentration, humane risicogrenswaarde						
**** Aanbeveling concentratie in drinkwater (WHO, geen advieswaarde)						

Bijlage 1: samenvatting meetresultaten in oppervlaktewater en grondwater**Tabel 2: Samenvatting van meetresultaten in grondwater**

Stof	Monster	Concentratie	Drinkwaternorm	Circulaire bodemsanering		Gezondheidsnorm
			Max. waarde	Streefwaarde	Interventiewaarde	SRC* humaan grondwater
Aluminium	PB1	214 µg/l	200 µg/l	-	-	-
	PB3, 2008	350 µg/l	200 µg/l	-	-	-
	PB3, 2009	740 µg/l	200 µg/l	-	-	-
Arseen	PB29	9,6 µg/l	10 µg/l	7,20 µg/l	60 µg/l	320 µg/l
	PB30	9,2 µg/l	10 µg/l	7,20 µg/l	60 µg/l	320 µg/l
	PB87	24 µg/l	10 µg/l	7,20 µg/l	60 µg/l	320 µg/l
	PB95	8,5 µg/l	10 µg/l	7,20 µg/l	60 µg/l	320 µg/l
	PB124	19,0 µg/l	10 µg/l	7,20 µg/l	60 µg/l	320 µg/l
	PB139, 2006	6 µg/l	10 µg/l	7,20 µg/l	60 µg/l	320 µg/l
	PB139, 2008	5,6 µg/l	10 µg/l	7,20 µg/l	60 µg/l	320 µg/l
	PB144, 3,0 m-mv	13,0 µg/l	10 µg/l	7,20 µg/l	60 µg/l	320 µg/l
	PB144, 6,2 m-mv	11,0 µg/l	10 µg/l	7,20 µg/l	60 µg/l	320 µg/l
	PB145	7,5 µg/l	10 µg/l	7,20 µg/l	60 µg/l	320 µg/l
	PB146	8,10 µg/l	10 µg/l	7,20 µg/l	60 µg/l	320 µg/l
Cadmium	PB118	0,47 µg/l	5,0 µg/l	0,06 µg/l	6,0 µg/l	11 µg/l
Chroom	PB14	4,40 µg/l	50 µg/l	2,50 µg/l	30 µg/l	50 µg/l**
IJzer	PB1, 2008	621 µg/l	200 µg/l	-	-	2 mg/l***
	PB1, 2009	9900 µg/l	200 µg/l	-	-	2 mg/l***
	PB3, 2008	1140 µg/l	200 µg/l	-	-	2 mg/l***
	PB3, 2009	4000 µg/l	200 µg/l	-	-	2 mg/l***
	PB8, 2008	296 µg/l	200 µg/l	-	-	2 mg/l***
* SRC = Serious Risk Concentration, humane risicogrenswaarde						
** voorlopige advieswaarde voor drinkwater (WHO)						
*** o.b.v. voorlopig vastgestelde maximaal toegestane dagelijkse inname via drinkwater						

Bijlage 1: samenvatting meetresultaten in oppervlaktewater en grondwaterTabel 2, vervolg: Samenvatting van meetresultaten in grondwater

Stof	Monster	Concentratie	Drinkwaternorm	Circulaire bodemsanering		Gezondheidsnorm
			Max. waarde	Streefwaarde	Interventiewaarde	SRC* humaan grondwater
Ijzer	PB8, 2009	310 µg/l	200 µg/l	-	-	2 mg/l***
	PB10, 2008	460 µg/l	200 µg/l	-	-	2 mg/l***
	PB10, 2009	330 µg/l	200 µg/l	-	-	2 mg/l***
	PB124	6600 µg/l	200 µg/l	-	-	2 mg/l***
	PB133	230 µg/l	200 µg/l	-	-	2 mg/l***
	PB123	13000 mg/l	200 µg/l	-	-	2 mg/l***
	PB124	6600 µg/l	200 µg/l	-	-	2 mg/l***
	PB133	230 µg/l	200 µg/l	-	-	2 mg/l***
	PB123	13000 mg/l	200 µg/l	-	-	2 mg/l***
	PB141, 2006, 6,5 m-mv	270 µg/l	200 µg/l	-	-	2 mg/l***
	PB139, 5,9 m-mv	5800 µg/l	200 µg/l	-	-	2 mg/l***
	PB144, 3,0 m-mv	240 µg/l	200 µg/l	-	-	2 mg/l***
	PB95, 2006	8300 µg/l	200 µg/l	-	-	2 mg/l***
	PB95, 2008	7200 µg/l	200 µg/l	-	-	2 mg/l***
	PB118	290 µg/l	200 µg/l	-	-	2 mg/l***
	PB123	1300 µg/l	200 µg/l	-	-	2 mg/l***
	PB8, 2008	296 µg/l	200 µg/l	-	-	2 mg/l***
	PB8, 2009	310 µg/l	200 µg/l	-	-	2 mg/l***
Koper	PB118	11 µg/l	2000 µg/l	1,30 µg/l	75 µg/l	4060 µg/l
Lood			10 µg/l	1,7 µg/l	75 µg/l	17 µg/l
Nikkel	PB16	10 µg/l	20 µg/l	2,1 µg/l	75 µg/l	735 µg/l
* SRC = Serious Risk Concentration, humane risicogrenswaarde						
*** o.b.v. voorlopig vastgestelde maximaal toegestane dagelijkse inname via drinkwater						

Bijlage 1: samenvatting meetresultaten in oppervlaktewater en grondwater

Tabel 2, vervolg: Samenvatting van meetresultaten in grondwater						
Stof	Monster	Concentratie	Drinkwaternorm Max. waarde	Circulaire bodemsanering		Gezondheidsnorm SRC* humaan grondwater
				Streefwaarde	Interventiewaarde	
Naftaleen	PB19	0,15 µg/l	-	0,01 µg/l	70 µg/l	15600 µg/l
	PB21	0,15 µg/l	-	0,01 µg/l	70 µg/l	15600 µg/l
	PB23	0,14 µg/l	-	0,01 µg/l	70 µg/l	15600 µg/l
	PB30	0,13 µg/l	-	0,01 µg/l	70 µg/l	15600 µg/l
Sulfaat	PB60	379,49 mg/l	150 mg/l	-	-	500 mg/L****
	PB139, 2006	310 mg/l	150 mg/l	-	-	500 mg/L****
	PB139, 2008	250 mg/l	150 mg/l	-	-	500 mg/L****
	PB141, 2006, 6,5 m-mv	120 mg/l	150 mg/l	-	-	500 mg/L****
	PB141, 2008, 6,5 m-mv	180 mg/l	150 mg/l	-	-	500 mg/L****
	PB141, 2006, 17 m-mv	960 mg/l	150 mg/l	-	-	500 mg/L****
	PB141, 2008, 17 m-mv	1100 mg/l	150 mg/l	-	-	500 mg/L****
	PB104	1390 mg/l	150 mg/l	-	-	500 mg/L****
	PB144, 2006, 3,0 m-mv	610 mg/l	150 mg/l	-	-	500 mg/L****
	PB144, 2008, 3,0 m-mv	550 mg/l	150 mg/l	-	-	500 mg/L****
	PB144, 2006, 6,2 m-mv	610 mg/l	150 mg/l	-	-	500 mg/L****
	PB144, 2008, 6,2 m-mv	540 mg/l	150 mg/l	-	-	500 mg/L****
	PB87, 2006	1100 mg/l	150 mg/l	-	-	500 mg/L****
	PB87, 2008	2000 mg/l	150 mg/l	-	-	500 mg/L****
* SRC = Serious Risk Concentration, humane risicogrenswaarde						
**** Aanbeveling concentratie in drinkwater (WHO, geen advieswaarde)						

Bijlage 1: samenvatting meetresultaten in oppervlaktewater en grondwater**Tabel 2, vervolg: Samenvatting van meetresultaten in grondwater**

Stof	Monster	Concentratie	Drinkwaternorm	Circulaire bodemsanering		Gezondheidsnorm
			Max. waarde	Streefwaarde	Interventiewaarde	SRC* humaan grondwater
Zink	PB79	87 µg/l	3,0 mg/l	24 µg/l	800 µg/l	17700 µg/l
	PB86	32 µg/l	3,0 mg/l	24 µg/l	800 µg/l	17700 µg/l
	PB87	290 µg/l	3,0 mg/l	24 µg/l	800 µg/l	17700 µg/l
	PB95	89 µg/l	3,0 mg/l	24 µg/l	800 µg/l	17700 µg/l
	PB100	130 µg/l	3,0 mg/l	24 µg/l	800 µg/l	17700 µg/l
	PB108	40 µg/l	3,0 mg/l	24 µg/l	800 µg/l	17700 µg/l
	PB123	110 µg/l	3,0 mg/l	24 µg/l	800 µg/l	17700 µg/l
	PB125	34 µg/l	3,0 mg/l	24 µg/l	800 µg/l	17700 µg/l
	PB134	160 µg/l	3,0 mg/l	24 µg/l	800 µg/l	17700 µg/l
	PB139, 2006	56 µg/l	3,0 mg/l	24 µg/l	800 µg/l	17700 µg/l
	PB139, 2008	61 µg/l	3,0 mg/l	24 µg/l	800 µg/l	17700 µg/l
	PB141, 2006	68 µg/l	3,0 mg/l	24 µg/l	800 µg/l	17700 µg/l
	PB141, 2008	49 µg/l	3,0 mg/l	24 µg/l	800 µg/l	17700 µg/l
	PB144	30 µg/l	3,0 mg/l	24 µg/l	800 µg/l	17700 µg/l
	PB145, 2006 4,0 m-mv	26 µg/l	3,0 mg/l	24 µg/l	800 µg/l	17700 µg/l
	PB145, 2008 4,0 m-mv	90 µg/l	3,0 mg/l	24 µg/l	800 µg/l	17700 µg/l
	PB145 7,0 m-mv	120 µg/l	3,0 mg/l	24 µg/l	800 µg/l	17700 µg/l
	PB146 7,1 m-mv	88 µg/l	3,0 mg/l	24 µg/l	800 µg/l	17700 µg/l
	PB146, 2006 4,5 m-mv	30 µg/l	3,0 mg/l	24 µg/l	800 µg/l	17700 µg/l
	PB146, 2008 4,5 m-mv	110 µg/l	3,0 mg/l	24 µg/l	800 µg/l	17700 µg/l

* SRC = Serious Risk Concentration, humane risicogrenswaarde

Bijlage 2: gegevens risicobeoordeling de Bovenloop Rode Beek**Tabel 3: gegevens risicobeoordeling de Zeekoelen Brunssum**

Stof	Monster	Concentratie	Gezondheidsnorm	Info over norm	Risico voor gezondheid?
Cadmium	OZEEKO10	0,32 µg/l	1800 µg/l	SRC* Humaan sediment	Nee
Chroom	OZEEKO10	3,68 µg/l	50 µg/l	voorlopige advieswaarde drinkwater (WHO)	Nee
IJzer	OZEEKO10	0,89 µg/l	2 mg/l	voorlopige advieswaarde drinkwater (WHO)	Nee
Koper	OZEEKO10	15 µg/l	> 100000 µg/l	SRC* Humaan sediment	Nee
Lood	OZEEKO10	2,1 µg/l	3210 µg/l	SRC* Humaan sediment	Nee
Nikkel	OZEEKO10	6,8 µg/l	735 µg/l	SRC* Humaan sediment	Nee
Sulfaat	OZEEKO10	109 mg/l	500 mg/l	Aanbeveling WHO / geen advieswaarde	Nee
Zink	OZEEKO10	69 µg/l	> 100000 µg/l	SRC* Humaan sediment	Nee

* SRC: Serious Risk Concentration, humane risicogrenswaarde

Tabel 4: gegevens risicobeoordeling Bovenloop Rode Beek

Stof	Monster	Concentratie	Gezondheidsnorm	Info over norm	Risico voor gezondheid?
Chroom	MP26	BD**	50 µg/l	voorlopige advieswaarde drinkwater (WHO)	Nee
Zink	MP26	131,46 µg/l	> 100000 µg/l	SRC* Humaan sediment	Nee
Cadmium	MP26	1,28 µg/l	1800 µg/l	SRC* Humaan sediment	Nee
Koper	MP26	0,51 µg/l	> 100000 µg/l	SRC* Humaan sediment	Nee
Lood	MP26	1,49 µg/l	3210 µg/l	SRC* Humaan sediment	Nee
Nikkel	MP26	13,63 µg/l	735 µg/l	SRC* Humaan sediment	Nee
Sulfaat	MP26	41,8 mg/l	500 mg/l	Aanbeveling WHO / geen advieswaarde	Nee
Sulfaat	MP27	43 mg/l	500 mg/l	Aanbeveling WHO / geen advieswaarde	Nee
Sulfaat	MP28	55,5 mg/l	500 mg/l	Aanbeveling WHO / geen advieswaarde	Nee
Sulfaat	MP29	88,4 mg/l	500 mg/l	Aanbeveling WHO / geen advieswaarde	Nee
Chroom	MP36	3,16 µg/l	50 µg/l	Voorlopige advieswaarde drinkwater (WHO)	Nee
Zink	MP36	38,7 µg/l	17700 µg/l	SRC* Humaan sediment	Nee
Cadmium	MP36	BD**	11 µg/l	SRC* Humaan sediment	Nee
Koper	MP36	2,09 µg/l	4060 µg/l	SRC* Humaan sediment	Nee
Lood	MP36	BD**	3210 µg/l	SRC* Humaan Sediment	Nee

* SRC: Serious Risk Concentration, humane risicogrenswaarde

** BD : Beneden Detectielimiet

Bijlage 2: gegevens risicobeoordeling de Bovenloop Rode Beek**Vervolg tabel 4: gegevens risicobeoordeling Bovenloop Rode Beek**

Stof	Monster	Concentratie	Gezondheidsnorm	Info over norm	Risico voor gezondheid?
Nikkel	MP36	10,73 µg/l	735 µg/l	SRC* Humaan sediment	Nee
Sulfaat	MP36	269 mg/l	500 mg/l	Aanbeveling WHO / geen advieswaarde	Nee
Cadmium	ORODE050	0,62 µg/l	1800 µg/l	SRC* Humaan sediment	Nee
Chroom	ORODE050	BD**	50 µg/l	voorlopige advieswaarde drinkwater (WHO)	Nee
Koper	ORODE050	0,37 µg/l	> 100000 µg/l	SRC* Humaan sediment	Nee
Lood	ORODE050	0,57 µg/l	3210 µg/l	SRC* Humaan sediment	Nee
Nikkel	ORODE050	11,124 µg/l	735 µg/l	SRC* Humaan sediment	Nee
Sulfaat	ORODE050	43 mg/l	500 mg/l	Aanbeveling WHO / geen advieswaarde	Nee
Zink	ORODE050	58,488 µg/l	> 100000 µg/l	SRC* Humaan sediment	Nee
* SRC: Serious Risk Concentration, humane risicogrenswaarde					
** BD : Beneden Detectielimiet					

Bijlage 7 Ecologische beoordeling door het Waterschap Roer en Overmaas

Hieronder staat de reactie van de waterkwaliteitsbeheerder op het onderhavige rapport.

"Een aantal waterlopen in Zuid-Limburg wordt direct of indirect beïnvloed door stoffen afkomstig uit mijnsteendeponieën. Deze stoffen (metalen, PAK en sulfaat) zijn echter niet specifiek voor mijnsteen, maar kennen meerdere bronnen. Het aandeel van de stoffen afkomstig uit de mijnsteendeponieën op de totale hoeveelheid aanwezig in de waterlopen is niet bekend.

De aanwezigheid van genoemde stoffen leidt er toe dat de ecologische levensgemeenschappen in deze wateren veranderd zijn ten opzicht van de natuurlijke situatie. In deze wateren worden bv zouttolerante soorten aangetroffen die kenmerkend zijn voor brak en zout water en die niet thuishoren in snelstromende beken op zand- en kalkrijke gronden.

Tegelijkertijd ontbreken soorten die juist wel thuishoren in dergelijke beken. In gevallen is het mogelijk dat hierdoor de KRW doelstellingen niet gehaald worden.

In dit verband is van belang te vermelden dat niet alleen het voorkomen van 'vreemde soorten' of juist de afwezigheid van 'gewenste soorten' als gevolg van verhoogde metaal- en zoutgehalten de reden is van het niet behalen van de doelstellingen. Ook de mate van watervoerendheid, de inrichting en het beheer van wateren zijn belangrijke redenen waarom de doelen niet behaald worden. Vaak is een combinatie van deze factoren de reden dat de gestelde KRW doelen vooralsnog niet behaald zullen worden."