

## Acid Mine Drainage

Op veel plaatsen in de wereld sijpelt water uit verlaten mijnen. Dit water heeft vaak een extreem lage pH en bevat hoge concentraties van ionen van metalen, waaronder zware metalen. In de vakliteratuur wordt dit Acid Mine Drainage (AMD) genoemd. Een oorzaak van deze waterverontreiniging is de reactie van zuurstof en water met metaalverbindingen. Eén van die metaalverbindingen is pyriet,  $\text{FeS}_2$ . In een wetenschappelijk artikel dat over AMD gaat, staat dat bij de reactie van pyriet met zuurstof en water  $\text{Fe}^{2+}$  en  $\text{SO}_4^{2-}$  ontstaan.  $\text{FeS}_2$  treedt op als reductor.

- 4p **13** Geef voor de reactie van pyriet met zuurstof en water de vergelijkingen van beide halfreacties en leid daaruit de totale reactievergelijking af. In de vergelijkingen van beide halfreacties komen onder andere  $\text{H}_2\text{O}$  en  $\text{H}^+$  voor.

Onder de heersende omstandigheden kan  $\text{Fe}^{2+}$  worden omgezet tot  $\text{Fe}^{3+}$ , maar zolang het mijnwater nog in contact is met pyriet gebeurt dit niet.

- 2p **14** Geef hiervoor een mogelijke verklaring.

Het water dat uit de mijnen sijpelt is buitengewoon zuur. In veel gevallen worden zelfs negatieve pH's gemeten. Dan is er veel  $\text{SO}_4^{2-}$  omgezet tot  $\text{HSO}_4^-$ .

- 4p **15** Bereken hoeveel procent van het  $\text{SO}_4^{2-}$  is omgezet tot  $\text{HSO}_4^-$  in een oplossing met  $\text{pH} = -0,70$  (298 K).

Wanneer het water uit zulke mijnen in rivieren terechtkomt, wordt het rivierwater sterk verontreinigd. Er kan vissterfte optreden, dieren die dat water drinken, kunnen doodgaan en er kan schade optreden aan planten. Het is dus zaak dit zure mijnwater voor het in de rivier terechtkomt, te zuiveren. Daar bestaan verschillende manieren voor. Eén manier is het inzetten van zogenoemde sulfaatreducerende bacteriën. Die zijn in staat om organisch materiaal om te zetten met behulp van sulfaat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ). Bij deze omzetting ontstaan waterstofsulfide ( $\text{H}_2\text{S}$ ), en waterstofcarbonaat ( $\text{HCO}_3^-$ ). Het blijkt dat hierdoor de pH van het water langzaam stijgt en dat de concentraties van ionen van (zware) metalen in het water langzaam dalen.

- 3p **16** Geef de reactievergelijking voor zo'n bacteriële omzetting van organisch materiaal met behulp van  $\text{SO}_4^{2-}$ . Gebruik glucose als organisch materiaal.

- 2p **17** Leg met behulp van Binas-tabel 49 uit dat de pH van het water bij dit proces stijgt.

De concentraties van de ionen van (zware) metalen in het water dalen doordat slecht oplosbare verbindingen worden gevormd. Dit kunnen sulfiden zijn, maar ook hydroxiden. Dit is na te gaan door aan het slib waarin deze slecht oplosbare verbindingen zich bevinden een oplossing van een sterk zuur toe te voegen.

Wanneer ijzer(II)sulfide of zinksulfide aanwezig zijn, zal een (stinkend) gas ontstaan: waterstofsulfide. Maar wanneer gasontwikkeling wordt waargenomen bij toevoeging van een oplossing van een sterk zuur, kan het toch zijn dat, behalve ijzer(II)sulfide en/of zinksulfide, ook hydroxiden in het slib aanwezig zijn.

- 3p **18** Beschrijf welke bepalingen je kunt doen om na te gaan of in het slib behalve ijzer(II)sulfide en/of zinksulfide, ook hydroxiden aanwezig zijn. Geef daarbij aan waarop je conclusie wordt gebaseerd.

Een andere manier om AMD te bestrijden is met behulp van chemicaliën. De stoffen die men daarvoor kiest, moeten chemisch gezien aan een aantal voorwaarden voldoen. Bovendien moeten de kosten voor de zuivering zo laag mogelijk worden gehouden. Deze kosten worden bepaald door de chemicaliën, maar ook door het vervoer ervan naar veelal afgelegen gebieden. Dat vervoer vindt vaak plaats met behulp van vrachtwagens.

Twee stoffen die in aanmerking komen voor zuivering van door AMD vervuild mijnwater, zijn calciumoxide en natriumhydroxide.

- 2p **19** Geef twee redenen, ontleend aan de chemie, waarom calciumoxide en natriumhydroxide beide geschikt zijn om door AMD vervuild mijnwater te zuiveren.

- 3p **20** Welk van beide stoffen heeft de voorkeur, gezien de kosten van het vervoer? Of maakt het (vrijwel) niet uit? Geef een verklaring voor je antwoord. Het maximaal laadvermogen van een vrachtwagen wordt uitgedrukt in kg.