

SYMPOSIUM NATUURLIJKE MOBILITEIT VAN ENKELE "ONGURE"
ELEMENTEN EN VERHOOGING DAARVAN DOOR MENSELIJK INGRIJPEN¹⁾

DE NATUURLIJKE EROSIE ALS BASISNIVEAU VOOR HET TRANSPORT VAN ELEMENTEN

R.D. SCHUILING

In de loop van de geologische geschiedenis zijn er sterke aanwijzingen dat er voor ieder element een evenwicht gehandhaafd werd, in die zin dat de hoeveelheid van dat element dat jaarlijks door natuurlijke verwerking en erosie naar het oceaansysteem getransporteerd werd, gelijk was aan de hoeveelheid die jaarlijks uit de oceanen verdwijnt door neerslag, adsorptie of isomorfe vervanging in mineralen op de zeebodem. De zee wordt dus niet zouter door de toevoer van opgeloste stoffen, maar er heerst een steady state.

Dank zij deze beschouwing kunnen wij voor ieder element een verblijftijd in het oceaansysteem definiëren, die gegeven wordt door de verhouding van de totaal aanwezige hoeveelheid van een element in de oceanen tot de jaarlijkse toevoer van dat element.

Als deze steady state gehandhaafd blijft, dan moeten de volgende betrekkingen gelden, vooropgezet dat er geen andere "sinks" aanwezig zijn dan de oceaانبodem:

$$\text{erosiesnelheid} \times \text{samenstelling geërodeerde materiaal} = \text{concentratie opgelost en vast materiaal in de rivieren} \times \text{debiet van de rivieren} = \text{samenstelling oceaansedimenten} \times \text{sedimentatie snelheid.}$$

Nu zijn er natuurlijk nog wel andere tijdelijke opslagplaatsen voor stoffen in de geochemische kringloop. Een hiervan is de opslag in de biosfeer; gezien het relatief kleine volume en de grote vervangingssnelheid kunnen we dit tussenstation meestal overslaan. Een andere tijdelijke opslagplaats wordt gevormd door de bodems, qua volume belangrijker dan de biosfeer.

Een bodem, die gevormd wordt door verwerking van het onderliggende gesteente, is vaak duidelijk afwijkend in samenstelling van dit moedergesteente. Bepaalde elementen gaan bij verwerking in oplossing, terwijl andere juist selektief in de bodem verrijkt worden. Als evenwel de verwerking van het vaste gesteente gelijke tred houdt met de erosie van de

bovenlaag van de bodem maakt dit voor balansberekeningen niets meer uit (d.w.z. als de bodem even dik blijft, ondanks het feit dat het materiaal steeds vernieuwd wordt). Ook hierbij is het dus, totdat het tegendeel blijkt, redelijk doenlijk om bij geochemische kringlopen de tijdelijke opslag van elementen in de bodem te verwaarlozen. Dit leidt tot fouten zodra door menselijk ingrijpen of door verandering van klimaat de erosie en bodenvorming kwantitatief gaan veranderen.

Een derde soort tijdelijke "sinks" wordt b.v. gevormd door meren in de loop van een rivier. Het feit dat in de Rijn de hoeveelheid gesuspendeerd materiaal kleiner is dan de hoeveelheid opgeloste stof in tegenstelling tot vrijwel alle andere rivieren is gedeeltelijk te verklaren uit de aanwezigheid van het Bodemeer. Hierin bezinkt een groot deel van de grovere mineraalkorrels. Een tweede oorzaak van de afwijkende verhouding vormen de zeer hoge gehalten aan opgeloste stoffen. Lozing van afvalzouten en de intensieve menselijke belasting in het algemeen hebben sinds het midden der vorige eeuw de hoeveelheid opgeloste stoffen in de Rijn ruimschoots verduubeld.

Wij kunnen nu proberen onze betrekkingen te verifiëren. In een door industrialisatie niet sterk beïnvloed riviersysteem moet de samenstelling van het totale transport gelijk zijn aan de gemiddelde samenstelling van het achterland, hetgeen in een groot riviersysteem met een gevariëerde geologische opbouw in de buurt zal komen van de gemiddelde samenstelling van de aardkorst.

Veel gegevens ontbreken echter, zodat dit slechts een eerste aanloop is tot de opzet van een dergelijke berekening; we kunnen dan evenwel zien welke gegevens we moeten verzamelen om op deze manier tot een pre-industrieel referentieniveau te komen voor het transport van elementen, w.o. zware metalen.

In tabel 1 zijn een aantal van de basisgegevens verzameld, zowel voor de gehele wereld als voor het stroomgebied van de Rijn.

¹⁾ Samenvatting van voordrachten gehouden op 23 november 1973 te Utrecht voor de Geochemische Kring en de sectie Milieuchemie van de Kon. Ned. Chemische Vereniging.

Tabel 2 geeft de hoeveelheid van de opgeloste stoffen in de Rijn. Enkele analyses van Rijnwater uit het midden van de vorige eeuw laten zien dat de concentraties toen, met name

Tabel 1: Basisgegevens voor de berekening van natuurlijke erosiesnelheden. Bed-load van de Rijn volgens opgave Studiedienst Bovenrivieren, Rijkswaterstaat.

| | gehele wereld | Rijn |
|--|-------------------------------------|------------------------------------|
| totaalafvoer | 3.6×10^{16} l/jaar | 7×10^{13} l/jaar |
| slibgehalte | 400 mg/liter | 45 mg/liter |
| bed-load | 10% van gesuspendeerde hoeveelheid? | 11% |
| gehalte opgeloste stof | 200 mg/liter | 600 mg/liter |
| totaal slib/jaar | 1.4×10^{16} g | 3×10^{12} g |
| totaal opgeloste stof | 0.7×10^{16} g | 4.2×10^{13} g |
| landoppervlak, resp. opp. stroomgebied Rijn | 150×10^6 km ² | 0.20×10^6 km ² |
| gem. erosiesnelheid gecorrigeerd voor ong. 60% industrieel en cyclisch zout, en voor het sediment in de Bodensee | 5.5 cm/1000 jr | 8 cm/1000 jaar |
| | | 4 cm/1000 jaar |

Tabel 2: Opgeloste stoffen in de Rijn, benaderde waarden voor gemiddelde afvoer

| | meq/liter | mg/liter |
|-------------------------------|-----------|----------|
| Ca ²⁺ | 4 | 80 |
| Mg ²⁺ | 1 | 12 |
| Na ⁺ | 4 | 92 |
| K ⁺ | 0.2 | 8 |
| HCO ₃ ⁻ | 2.8 | 171 |
| SO ₄ ²⁻ | 1.6 | 77 |
| Cl ⁻ | 4.8 | 170 |
| SiO ₂ | | 7 |
| | Totaal | 617 |

voor Cl⁻, Na⁺ en SO₄²⁻ beduidend lager waren, in de orde van 200 tot 250 mg/liter.

In tabel 3 wordt een overzicht gegeven van de gemiddelde samenstelling van de aardkorst en van gemiddeld carbonaat-

Tabel 3: Samenstelling van gemiddeld stollingsgesteente en gemiddeld carbonaatgesteente volgens Horn en Adams (1966). De gemiddelde samenstelling van het eroderend gesteente in het stroomgebied van de Rijn is aangegeven in de laatste kolom.

| element | igneous | carbonaat | Rijn-achterland 50% igneous en 50% carbonaat |
|---------|---------|-----------|---|
| Li | 30 | 5 | 17.5 |
| Be | 3.5 | 0.2 | 1.8 |
| F | 700 | 110 | 405 |
| Na | 28.100 | 400 | 14.210 |
| Mg | 17.600 | 45.300 | 31.450 |
| Al | 79.500 | 9.000 | 44.250 |
| Si | 285.000 | 33.900 | 159.400 |
| P | 1.100 | 280 | 690 |
| S | 410 | 4.550 | 2.480 |
| K | 25.700 | 2.400 | 14.050 |
| Ca | 36.200 | 272.000 | 154.100 |
| Ti | 4.830 | 380 | 2.600 |
| V | 150 | 12.5 | 80 |
| Cr | 200 | 7 | 104 |
| Mn | 940 | 840 | 890 |
| Fe | 42.200 | 8.200 | 25.500 |
| Co | 23 | 0.1 | 11.5 |
| Ni | 94 | 13 | 53 |
| Cu | 100 | 4.5 | 52 |
| Zn | 80 | 15.5 | 48 |
| As | 1.7 | 1.7 | 1.7 |
| Rb | 170 | 45 | 107 |
| Sr | 370 | 620 | 495 |
| Y | 41 | 15 | 28 |
| Zr | 160 | 18 | 90 |
| Mo | 1.2 | 0.7 | 1 |
| Ag | 0.15 | 0.19 | 0.17 |
| Cd | 0.2 | 0.05 | 0.13 |
| Sn | 2.5 | 0.2 | 1.4 |
| Sb | 0.5 | 0.2 | 0.25 |
| Ba | 600 | 30 | 315 |
| Hg | 0.3 | 0.04 | 0.17 |
| Pb | 16 | 16 | 16 |
| U | 3 | 2.2 | 2.6 |

Tabel 4: Flux van materiaal door de Rijn, bij een gemiddelde erosiesnelheid van 4 cm/1000 jaar, uit een achterland dat bestaat uit 50% gem. korstgesteente en 50% gem. carbonaatgesteente, vergeleken met gemeten fluxen.

Afkortingen: Z = extra bijdragen door exploitatie van evaporietafzettingen, met name in de Elzas,

I = bijdragen door industriële vervuiling in de ruimste zin van het woord.

De Rijn zou per jaar moeten transporteren:

maar transporteert in werkelijkheid:

| element | | vaste stof | in oplossing | totaal | opm. |
|---------|-------------------------|------------|--------------|---------|-------|
| Li | 350 x 10 ⁶ g | | | 1120 | Z |
| Be | 36 | | | 91 | I |
| F | 8100 | 3100 | 22400 | 25500 | I+Z |
| Na | 274200 | 30000 | 5950000 | 5980000 | Z+I |
| Mg | 629000 | 56000 | 700000 | 756999 | |
| Al | 885000 | 872500 | 30000 | 902500 | |
| Si | 3190000 | 1907000 | 210000 | 2117000 | |
| P | 13800 | 20000 | 55000 | 75000 | I |
| S | 49600 | | 1610000 | 1610000 | I+Z |
| K | 281000 | 154000 | 610000 | 764000 | Z(+I) |
| Ca | 3082000 | 296000 | 5390000 | 5446000 | I+Z |
| V | 1600 | | | 1330 | |
| Cr | 2080 | 2820 | 1250 | 4070 | I |
| Mn | 17800 | 10100 | 4200 | 14300 | |
| Fe | 510000 | 356000 | 7000 | 363500 | |
| Co | 230 | | | 170 | |
| Ni | 1060 | 235 | 765 | 1000 | |
| Cu | 1040 | 1355 | 765 | 2120 | I |
| Zn | 960 | 5800 | 8400 | 14200 | I |
| As | 34 | 500 | 375 | 875 | I |
| Ag | 3.4 | | | 40 | I |
| Cd | 2.8 | 105 | 125 | 230 | I |
| Hg | 3.7 | 53 | 42 | 93 | I |
| Pb | 320 | 1830 | 700 | 2530 | I |

Een iets groter aandeel van carbonaatgesteenten dan de 50% die hier is aangenomen, zou de discrepanties van calcium, silicium, magnesium en ijzer nog verder kunnen reduceren.

gesteente, aansluitend op het werk van Horn en Adams (1966).

Voor de samenstelling van het achterland van de Rijn is aangenomen dat dit voor 50% uit carbonaatgesteenten bestaat, en voor 50% uit gemiddeld korstgesteente. Dit is een te hoge schatting voor de carbonaatgesteenten, maar deze komen zeer veel voor in het noordelijk deel van de Alpen, waar de erosiesnelheid ongetwijfeld hoger is dan gemiddeld voor het stroomgebied van de Rijn. Ook de gegevens over de samenstelling van de sedimenten in de Bodensee pleiten ervoor om de carbonaatgesteenten zwaarder te laten meetellen dan uit het door deze gesteenten ingenomen areaal zou blijken.

Met de schaarse gegevens die ter beschikking staan kan dan tabel 4 berekend worden, die een bevredigende overeenstemming laat zien tussen de berekende fluxen voor Al, Mn, Co en Ni, tekorten voor Si en Fe en overschotten voor een aantal elementen, waarvan we weten dat ze door zoutlozing, industriële belasting, of indirecter door menselijke be- (resp. ont-)lasting in de Rijn gebracht worden.

Een grotere bed-load van mineraalkorrels dan hier aangenomen (10% van het zwevend slib) zou de tekorten voor Si en Fe kunnen verminderen, indien we de redelijke aanname maken dat de bed-load vooral uit kwartskorrels en zware

mineralen (onverweerde Fe-silikaten) bestaat.

Een meer gedetailleerde kennis over de verschillende fluxen, over de samenstelling van het achterland en de samenstelling van de sedimenten in de Bodensee, zou het mogelijk maken om exaktere basisniveaus voor de gehalten aan verschillende elementen aan te geven, zodat het aftelniveau voor de industriële vervuiling bekend wordt.

Zelfs zeer grote lokale geochemische anomalieën in het stroomgebied van de Rijn (b.v. enorme ertsvoorkomens) spelen nauwelijks een rol in de samenstelling van de afvoer.

Een Pb-erts voorkomen van 1 km² oppervlak, met een gehalte van 10% Pb, dat in hetzelfde tempo zou eroderen als het gehele stroomgebied, zou slechts een verschil van 3% uitmaken op de berekende afvoer.

Zelfs met de gebrekkige gegevens zoals nu bekend, biedt de methode van de geochemische balansberekening de beste mogelijkheden voor het vaststellen van referentieniveaus voor de natuurlijke belasting.

Hierbij kunnen een aantal hoofdelementen die in zulke grote hoeveelheden getransporteerd worden, dat industriële vervuiling nauwelijks invloed heeft op hun concentraties, als maat dienen; de zeldzamere elementen moeten dan in de verhoudingen tot deze hoofdelementen getransporteerd worden zoals ze ook in uitgangsgesteenten voorkomen.