

De natuurlijke chemische samenstelling van Maaswater

Inleiding

Veel riviersystemen in de geïndustrialiseerde wereld zijn reeds gedurende tientallen jaren verontreinigd. Door gebrek aan voldoende chemische analyses van oudere datum is vaak niet meer vast te stellen wat de natuurlijke samenstelling was. Het is dan ook moeilijk te zeggen of een chemische substantie al dan niet als verontreiniging moet worden aangemerkt; en zo ja: in welke mate. Die kwantificering speelt een grote rol bij het maken van internationale afspraken over bijv. de maximaal toege-



DRS. B. W. ZUURDEEG
Vening Meinesz Laboratorium
voor Geochemie en Mineralogie
Rijksuniversiteit Utrecht

stane grensoverschrijdende last.

Niet al het water in het Maasbekken is verontreinigd. Een aantal beken bezit nog de oorspronkelijke chemische samenstelling. Het zijn deze beken die de basis vormen voor onze reconstructie van natuurlijk Maaswater. Aan de hand van de samenstelling die de Maas van nature moet hebben is door ons het verontreinigingsniveau voor een aantal elementen vastgesteld.

Beek- en bronwater

De samenstelling van beekwater is niet zonder meer gelijk aan die van het gemiddelde bronwater in het betreffende gebied. Men kan er van uitgaan dat het bronwater het gehele jaar door ongeveer dezelfde samenstelling zal behouden. De samenstelling van het beekwater is, daarentegen, duidelijk afhankelijk van het seizoen. De hoogste concentraties aan opgeloste stoffen komen voor in het begin van het natte seizoen, van oktober tot in november. Tegen het eind van het natte seizoen — maart tot mei — zijn de concentraties daarentegen minimaal. Naast het seizoenverschil bestaat een systematisch verschil tussen gemiddeld beekwater en gemiddeld bronwater. Beekwater wordt immers behalve door bronwater ook gevoed door surface runoff en interflow. De verdeling over de verschillende bijdragen is gebonden aan het soort gesteente, het soort bui en het seizoen.

Na een regenbui is, in het algemeen, surface runoff de snelste component en na enige tijd volgt hierop een stijgende bijdrage van de interflow. De afvoer zakt daarna weer tot het normale peil, dat bestaat uit een combinatie van bron- en interflowwater. Surface runoff is verantwoordelijk voor het

slibtransport naar de beken en dit vindt dus voornamelijk plaats tijdens en na hevige regenval.

Zwevend slib dat men in de drogere periodes in het beekwater aantreft zal echter hoofdzakelijk het gevolg zijn van het plantaardig en dierlijk leven in de beek. De chemische samenstelling van de surface runoff wordt bepaald door de samenstelling van regenwater, dat bovendien stoffen op de vegetatie en uit de bovenste bodemlaag oplost (w.o. kalizouten en nutriënten). Generaliserend kan men stellen dat met uitzondering van o.a. kalium, de surface runoff verdunnend werkt op de samenstelling van beekwater.

Zodra de bijdrage van de geconcentreerde interflow belangrijk gaat worden, kan het voorkomen dat een concentratie-maximum verschijnt in het beekwater. De gemiddelde concentraties in beekwater (zeker wat betreft calcium, ijzer en kalium) liggen veelal iets hoger dan de gehalten van gemiddeld bronwater. Dat is het gevolg van de permanente toevoer van interflowwater. Deze interflowwaters bereiken hun hoogste concentraties tegen het einde van het droge seizoen.

De genoemde detailprocessen zijn moeilijk te kwantificeren. Om seizoenverschillen in Maas- en beekwater buiten beschouwing te kunnen laten zijn de berekeningen uitgevoerd op jaarbasis. De natuurlijke samenstelling van het Maaswater is voornamelijk afgeleid uit de gegevens van niet verontreinigd beekwater, hier en daar aangevuld met die van het bronwater. Dat laatste vanwege het feit dat niet verontreinigd beekwater niet overal voorkomt.

De hydrogeochemische eenheden

In grote lijnen kan men stellen dat de Maas een drietal gesteentegroepen draineert. Het zuidelijk deel van de loop van de Maas, de Meuse Lorraine, ligt in het zgn. Bekken van Parijs dat is opgebouwd uit mesozoïsche sedimenten. De veel oudere Ardennen en Eifel vormen het middelste deel. In het noorden van het Maasbekken — Limburg en Brabant — ligt het tertiaire en kwartaire afbraakmateriaal afkomstig van het achterland van Maas en Rijn. In het Bekken van Parijs zijn de sedimenten slecht geconsolideerd. Het zijn kalken, dolomieten, mergels, kleien en zanden, waarvan de gelaagdheid praktisch horizontaal is. De kalken zijn sterk verkarst. Het gevolg van deze verkarsting is dat grote hoeveelheden Maaswater ondergronds getransporteerd worden. Bij de overige sedimentaire gesteenten maakt de relatief open korrelstructuur een intentief contact mogelijk tussen het percolerende water en het nevengeesteente.

De rivier- en beekdalen in het Bekken van Parijs zijn relatief breed en bevatten een vrij dikke verweringslaag. Deze verweringslaag, in combinatie met de verkarste aquifers, maakt dat de bergingscapaciteit van het gebied erg groot is. Piekafvoeren die het gevolg zijn van kortdurende regenval zullen in dit gebied sterk afgevlakt worden. De watertoevoer naar de rivieren geschiedt voornamelijk in de vorm van diffuse toevoer van grondwater en interflow door het rivierbed. De surface runoff zal gering zijn.

De Ardennen en Eifel zijn opgebouwd uit gesteenten die veel compacter zijn dan die van het Bekken van Parijs. Het grootste deel van deze gesteenten wordt gevormd door schalie (leesteen), siltsteen, zandsteen, en kwarsiet. In de Ardennen en Eifel komt relatief minder kalksteen voor dan in het Bekken van Parijs. Het watertransport in deze gesteenten is alleen mogelijk via open diaklazen en breuken. Open diaklaassystemen treft men eigenlijk alleen dicht onder het maaiveld aan. Het watertransport in de gesteenten zelf zal dan ook voornamelijk plaatsvinden in de oppervlakkige delen. Veel water zal echter niet of nauwelijks in contact met het gesteente komen. Dat water stroomt over het ondoorlatende gesteente-oppervlak door een vrij dunne verweringslaag. Sijpelbronnetjes treft men aan op plaatsen waar de verweringsbodem zeer dun wordt. Tijdens de zomermaanden verdrogen deze bronnen. In natte periodes is nauwelijks ondergrondse berging mogelijk en wordt dus veel water in de vorm van surface runoff afgevoerd. In dit gebied wordt hevige regenval snel gevolgd door hoogwater.

Bij Luik begint de puinwaaier van de Maas die, met het puin dat door het Rijnwater is afgezet, grote delen van Limburg en geheel Brabant omvat. Ze bestaat uit grind, zand en rivierklei. In het zuiden van Limburg ligt dit materiaal o.a. op de verschillende rivierterrassen; boven Weert echter meer in de vorm van opvulling van het dalende Nederland. Op deze wijze werden in Limburg ten noorden van de Feldbissbreuk en in Brabant dikke pakketten zand en grind op de ondoorlatende carbonische ondergrond afgezet. Dat gebeurde tijdens het Pliocene en het Pleistoocene. Deze formaties vormen er de belangrijkste aquifers. Bronnen komen in het Limburgse en het Brabantse gebied niet of nauwelijks voor. Ondanks het feit dat de infiltratie van regenwater in de zandgrond erg effectief is, vindt men dat eigenlijk niet terug in de vorm van beekafvoeren. De specifieke debieten van de verschillende beken zijn opvallend laag. Vermoedelijk is er een nettotransport in westelijke richting van het

grondwater onder de verschillende waterscheidingen door.

Samen met het Maaswater dat door rivierverliezen aan het grondwater wordt toegevoegd zou dat aanleiding geven tot zoete en brakke kwel in West-Brabant.

Mineralogisch zijn de door de Maas en Rijn afgezette zanden, grinden en kleien niet te vergelijken met het gemiddelde achterland. Het zijn alleen de meest resistente delen van de gesteenten die het transport door de rivieren hebben overleefd. Het grind bestaat alleen nog maar uit zandsteen, gangkwarts, witte kiezel en vuursteen. De zandfractie bestaat uit de meest resistente veldspaten en uit kwarts. Het kalkgehalte wordt voornamelijk bepaald door de kleifraction van de sedimenten.

Hydrogeochemisch afwijkend gedragen zich het Limburgse Krijt en de lössbedekking van midden België en Zuid-Limburg en het Duitse equivalent ervan in de benedenloop van de Eifelrur. Deze löss blijkt, praktisch onafhankelijk van de ondergrond, bepalend te zijn voor de samenstelling van het bron- en beekwater in het betreffende gebied.

De löss treft men aan op de mariene tertiaire afzettingen van Midden-België, fluviale pleistocene afzettingen van de Maas en Rijn en op het paleozoische voorland van de Ardennen en Eifel.

Het Limburgse Krijt komt in karakter overeen met dat van het Bekken van Parijs, waarmee het indertijd ook over de Ardennen heen verbonden is geweest. De morfologie van het gebied is echter anders en lijkt meer op de Ardennen. Onder de Kalksteen bevinden zich op de carbonische ondergrond de zanden van Herve en Vaals.

Hard en zachter water

Voor de genoemde vijf hydrogeochemische eenheden in het Maasbekken is een representatieve natuurlijke beekwatersamenstelling vastgesteld door per gebied de gemiddelde chemische samenstelling te nemen van de bemonsterde niet verontreinigde beken. Uit de verschillende groepen in tabel I treden de chemische karakteristieken duidelijk naar voren. De beken in het Bekken van Parijs, het lössgebied en het Krijt van België en Limburg zijn zeer kalkrijk in tegenstelling tot de matig calciumhoudende waters van de Ardennen en Eifel en het grootste deel van Limburg en Brabant. Deze laatste waters zijn ook zuurder, deels als gevolg van de relatief geringe interactie met de gesteenten, zoals in de Ardennen en Eifel, maar in Limburg en Brabant tevens onder invloed van organische zuren. In de zuurdere waters zijn de gehalten aan zware metalen als mangaan en zink relatief hoog. De natrium- en chloride gehalten zijn hoger in de benedenstroomse delen van het stroomgebied van

TABEL I - De gemiddelde samenstelling van beekwater in het Maasbekken (Ec in $\mu\text{mol/cm}$; overige in mg/l).

	Bekken van Parijs	Ardennen en Eifel	Löss gebied	Krijt van België en Nederland	Brabant en Nd Limburg
	kalksteen mergel zand dolomiet gips	schalie zandsteen kwartsiet kalksteen	löss en zandige leem	mergel krijt kalk löss	zand grind klei veen
Ec	442	240	454	480	240
pH	8,0	7,3	7,9	7,5	6,7
Na+	7,0	6,8	10,5	8,4	16,7
K+	4,2	3,1	5,4	4,1	6,4
Ca ²⁺	94	28	96	114	38
Mg ²⁺	7,2	4,0	11	4,6	4,4
Fetot	0,28	0,035	0,047	0,038	1,13
Mntot	0,044	0,063	0,048	0,022	0,146
Cutot	0,006	0,002	0,003	0,003	0,004
Zntot	0,011	0,032	0,022	0,012	0,23
HCO ₃ ⁻	280	85	288	315	60
F ⁻	0,105	0,053	0,1	0,09	0,154
Cl ⁻	14,1	14,6	18	18,5	34
SO ₄ ²⁻	44	13,8	50	40	62
PO ₄ ³⁻	0,32	0,13	0,37	0,44	0,15
H ₄ SiO ₄ ⁰	11,6	9,5	14,9	36	12,6
Al		0,13			
totaal opgeloste stof	450	170	460	550	230

de Maas, hetgeen het gevolg is van een relatief diepere grondwaterbeweging. Het hoge sulfaatgehalte in het Nederlandse beekwater kan het gevolg zijn van het oplossen van sulfidische mineralen als bijv. pyriet (FeS₂). Ook in het Bekken van Parijs komen zwavelhoudende mineralen voor maar daar is het mineraal gips (CaSO₄·2H₂O) het belangrijkste.

De hogere fluoride gehalten in het Nederlandse deel zijn het gevolg van de wisselwerking tussen het grondwater en de in het sedimentpakket aanwezige fluviale kleien,

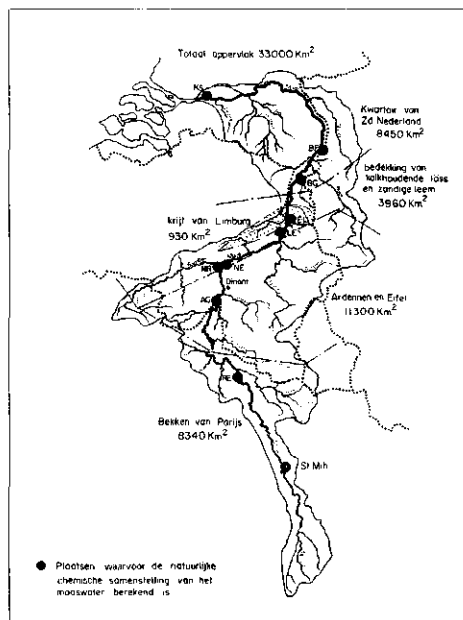
waarvan bekend is dat ze tamelijk veel fluor bevatten. Het fluoride in de beken van het Bekken van Parijs is afkomstig van het mineraal fluoriet (CaF₂) dat duidelijk gelieerd is met de evaporieten (gips en dolomiet) in dat gebied.

Natuurlijk Maaswater

De onderlinge bijdragen van de compartimenten in afb. 1 zijn voor de verschillende referentiepunten langs de Maas middels planimetrering vastgesteld. Gezien de neerslagverdeling en de verschillen in hydrogeologisch gedrag is het nodig om de oppervlakten te corrigeren. Hier is gecorrigeerd volgens de gemiddelde specifieke debieten in de vijf compartimenten van het Maasbekken.

De gekozen referentiepunten in tabel II corresponderen grotendeels met de meetpunten van het RIWA. Ze zijn zodanig gekozen dat de bijdragen van de belangrijkste zijrivieren van de Maas direct aantoonbaar zijn. De meetpunten bij Neufchateau en St. Mihiel zijn opgenomen omdat daarvan Franse metingen bekend zijn. De overige punten langs de loop van de Maas liggen bij de woonkernen Remilly (RE), Agimont (AG), Namur (NR), Namêche (NE), Liège (LE), Eijsden (EIJ), Berg (BG), Belfeld (BF) en Kerksloot (KS). Eijsden is in deze beschouwing opgenomen, niet vanwege een vermeend geochemisch belang, maar omdat voor dat punt overleg gaande is tussen België en Nederland over de vaststelling van maximaal toelaatbare lasten in het Maaswater dat Nederland binnenkomt.

Afb. 1 - Het stroomgebied van de Maas: De hydrochemische eenheden.



TABEL II - De natuurlijke samenstelling van Maaswater. Ec in $\mu\text{mhol/cm}$; overige in mg/l.

	St. Mihiel SMIH	Remilly RE	Agimont AG	Namur NR	Nameche NE	Liege LE	Eijsden EIJ	Berg BE	Belfeld BF	Kerksloot KS
Ec	502	464	386	355	362	334	335	336	332	318
pH		8,0	7,7	7,6	7,6	7,5	7,5	7,5	7,4	7,2
Na ⁺	6,3	±7,0	7,0	6,9	7,2	7,2	7,3	7,4	7,6	9,1
K ⁺		4,2	3,9	3,7	3,9	3,7	3,7	3,7	3,8	4,2
Ca ²⁺	99	94	76	66	68	59	59	59	58	55
Mg ²⁺	9,4	7,2	6,3	5,8	6,3	5,7	5,7	5,8	5,8	5,6
Fe _{tot}		0,28	0,21	0,17	0,16	0,12	0,12	0,13	0,14	0,30
Mn _{tot}		0,044	0,049	0,052	0,052	0,054	0,054	0,055	0,057	0,071
Cu _{tot}	0,006	0,006	0,005	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,003	0,004
Zn _{tot}	0,011	0,011	0,017	0,020	0,020	0,023	0,024	0,026	0,026	0,062
HCO ₃ ⁻	282	303	217	190	198	172	172	171	168	150
F ⁻	0,120	0,105	0,091	0,083	0,084	0,076	0,077	0,078	0,078	0,090
Cl ⁻	13,0	14,1	14,2	14,3	14,6	14,8	14,9	15,2	15,5	18,5
SO ₄ ²⁻	53	44	36	31	32	28	28	29	29	35
PO ₄ ³⁻		0,32	0,27	0,24	0,25	0,22	0,22	0,23	0,22	0,21
H ₄ SiO ₄ ^o		11,6	11,0	10,7	11,1	11,2	11,3	11,6	11,6	11,8
totaal opgeloste stof	±480	486	372	329	342	302	302	303	300	290

Chemische evolutie

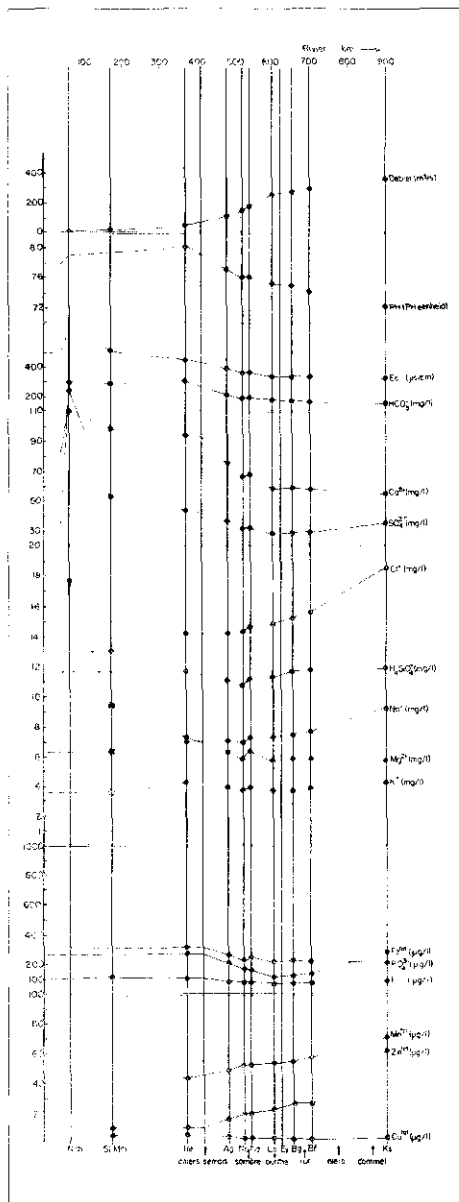
Afb. 2 toont de chemische evolutie van natuurlijk Maaswater. Deze ontwikkeling moet gezien worden in verband met de afvoer van de Maas. In het bovenstroomse deel van de Lotharingse Maas, waar de Maasafvoeren liggen tussen de 0 en 3 m³/s, kan een klein zijbeekje een aanzienlijke invloed hebben op de samenstelling van Maaswater. De bijdragen van de Mouzon en de Vair leggen de Maas in de buurt van Neufchateau hoge gehalten aan calcium, magnesium en sulfaat op. In het benedenstroomse deel van de Maas hebben riviertjes met vergelijkbare debieten (1-3 m³/s) nauwelijks invloed op de bulksamenstelling van het Maaswater. Eerst na de bijdragen van zijrivieren als de Chiers en de Semois begint de afvoer van de Maas iets voor te stellen (ca. 100 m³/s).

In de evolutie van de samenstelling van Maaswater over de gehele rivierloop zijn een viertal groepen te onderscheiden:

1. opgeloste stoffen waarvan de gehalten een voortdurende daling ondergaan, bijv. calcium, magnesium, bicarbonaat, orthofosfaat en in zekere zin ook sulfaat;
2. opgeloste stoffen waarvan de gehalten opvallend konstant blijven, t.w. kalium, fluoride en koper;
3. opgeloste stoffen waarvan de gehalten een continue stijging te zien geven, t.w. natrium, chloride, mangaan en zink;
4. opgeloste stoffen die een daling vertonen gevolgd door enig herstel zoals ijzer, kiezelzuur, sulfaat.

De gesteenten van de Ardennen en Eifel zijn uitgesproken silikaatgesteenten, ze bevatten dus relatief veel silicium, maar ze zijn bijzonder weinig reactief. Het gevolg is dat de Ardennen en Eifel verdunnend werken op het kiezelzuurgehalte van de Maas. Ook de pH

Afb. 2 - De natuurlijke chemische samenstelling van Maaswater.



toont een dalende tendens in stroomafwaartse richting. Wat de Ardennen betreft moet het zuurdere water voornamelijk gezien worden als het gevolg van de geringe oplosbaarheid van de gesteenten omdat chemische verwerking meestal leidt tot hogere pH-waarden. De afname van de pH over het traject Agimont-Luik door menging met water uit de Ardennen schrijft het RIWA abusievelijk toe aan 'omvangrijke zuurlozingen'. Er zullen ongetwijfeld zuurlozingen in de Maas plaatsvinden. Ze zijn echter niet van dien aard dat ze de pH van het Maaswater sterk beïnvloeden. Overigens is de pH van het werkelijke Maaswater eerder te hoog dan te laag.

Het constante verloop van kalium, koper en fluoride is terug te voeren tot een zekere onafhankelijkheid van het gebiedstype. Mogelijk zijn er bufferende mechanismen werkzaam, die reeds in het vroegste stadium van beekwater de gehalten op een zeker evenwichtsniveau brengen. Voor kalium kan men denken aan de interactie met organisch materiaal. Wat het koper betreft is mogelijk sprake van een chemisch precipitaat, of ook sorptie aan slib.

De hoogste gehalten aan opgeloste stof voert de Maas in het Lotharingse deel. De Ardennen werken praktisch wat alle ionen betreft verdunnend. In het Nederlandse deel daarentegen worden een aantal specifieke elementen in grote hoeveelheden toegevoegd.

Algen

Zoals gezegd, in beekwater is reeds voor verschillende stoffen buffering waargenomen. Hierdoor komt men vanzelf op de vraag hoe het zit met de zelfreinigende processen in de Maas. De tientallen stuwpanden en de relatief geringe afvoeren in de zomermaanden maken de Maas immers bij uitstek geschikt voor algengroei. Het directe gevolg van algengroei en algenbloei is het verbruik van fosfaat, kiezelzuur, ammonium en de verhoging van de pH wegens het CO₂ verbruik. Dat kan gemakkelijk precipitatie van calciumcarbonaat tot gevolg hebben. Het algenmateriaal en het fijnverdeelde anorganisch slib lenen zich bij uitstek voor de sorptie van zware metalen, van kalium en mogelijk ook van fluor.

In afb. 3 zijn de werkelijke gehalten van de verschillende stoffen in Maaswater uitgezet ten opzichte van het 'gladgestreken' natuurlijk niveau van afb. 2. Gladgestreken wil zeggen dat in de figuur de verschillen tussen de natuurlijke en de werkelijke concentraties uitgezet zijn. Er komen hier en daar negatieve waarden voor. Dat betekent dat in de Maas als gevolg van de natuurlijke reiniging soms tekorten geïnduceerd worden. Het betreft met name calcium, ijzer, mangaan, bicarbonaat en orthofosfaat. Over de gehele

TABEL III - De samenstelling van Maas- en Rijnwater.

	Natuurlijke samenstelling			Werkelijke samenstelling	
	wereid riv. water (Garrels en Mackenzie)	Maas (Kerksloot)	Rijn (Molt) 1961	Maas (Keizersveer Kerksloot) 1973/'75/'76	Rijn (Lobith) 1975
Na+	6,3	9,1	5	49	96
K+	2,3	4,2	5	6	7
Ca ²⁺	15	55	50	68	82
Mg ²⁺	4,1	5,6	10	8,3	10
Fetot	0,67	0,30		0,64	1,12
Mntot		0,07		0,12	
Cutot		0,004		0,008	0,080
Zntot		0,062		0,046	0,096
HCO ₃ ⁻	58,4	150	160	171	157
F-		0,090		0,550	0,220
Cl-	7,8	18,5	12	72	178
SO ₄ ²⁻	11,2	35	35	72	80
PO ₄ ³⁻		0,21		1,2	1,2
H ₄ SiO ₄ ^o	17	11,8		8,6	8
totaal opgeloste stof	123	290	± 280	457	621

beschouwing gelaten. De hier gegeven natuurlijke gehalten van Maaswater stellen dus voorzover het stoffen betreft die deelnemen aan het zelfreinigingsproces, maximaal bereikbare waarden voor.

Eerder onderzoek

In 1969 komt Jansen op een natuurlijk chloride gehalte bij Eijsden van 15 mg/l. Rijkswaterstaat berekent later 14 mg/l. Via een geheel andere aanpak komen wij op een waarde van 14,9 mg/l chloride in Maaswater bij Eijsden.

Van de Bos en Rook (1972) hebben volgens het principe als gehanteerd door Rijkswaterstaat, gebruik makend van 2e graads ergessielijnen, hetzelfde gedaan voor het monsterpunt bij Keizersveer. Zij vonden voor de natuurlijke gehalten van respectievelijk chloride en sulfaat de waarde 19 mg/l en 40 mg/l. Wij vonden voor deze anionen de waarde 18,5 mg/l en 35 mg/l. De verschillende onderzoeksmethoden zijn althans wat deze ionen betreft opmerkelijk goed met elkaar in overeenstemming.

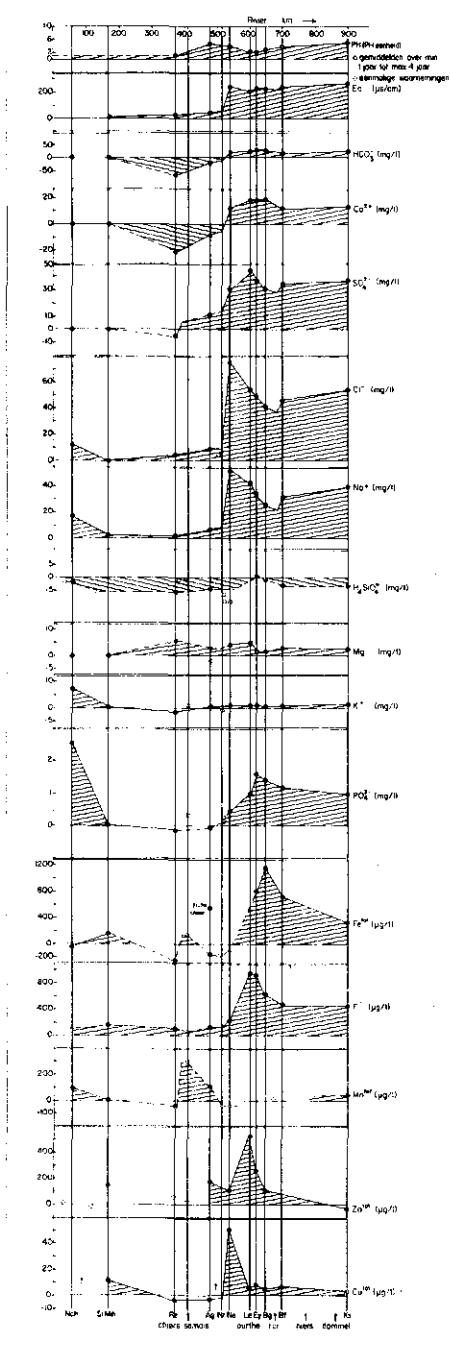
Maas en Rijn

Molt (1961) bepaalde het natuurlijke Rijnwater aan de hand van oude chemische analyses. Afgezien van de natrium- en chloride gehalten, lijken de natuurlijke samenstellingen van Rijn en Maas opmerkelijk veel op elkaar. Achteraf is dit niet zo verwonderlijk omdat de aard en de verdeling van de gesteenten in de stroomgebieden van Rijn en Maas duidelijke overeenkomsten vertonen. Weliswaar treft men in het Maasbekken geen granieten, gneizen en glimmerschisten aan; het gedrag van die gesteenten bij chemische verwerking is echter vergelijkbaar met dat van de schalies en zandstenen van de Ardennen en Eifel.

Het verschil tussen Rijn en Maas schuilt voornamelijk in het natrium- en chloride gehalte. Dat verschil is terug te voeren tot de concentratie van zeezoutpartikeltjes in de lucht boven de twee stroomgebieden. Het stroomgebied van de Rijn ligt gemiddeld verder van zee dan het Maasbekken. Daardoor is het infiltrerende regenwater in het stroomgebied van de Maas iets zouter dan dat van het Rijnbekken. De discrepantie tussen de gemiddelde wereldrivier enerzijds en Maas en Rijn anderzijds komt in eerste instantie tot uiting in het totaal van de opgeloste stoffen. De reden ligt voor de hand. Het is namelijk zo dat het Europese continent ten opzichte van alle andere continenten relatief meer reactieve gesteenten als kalksteen en dolomiet herbergt.

Verontreinigingen in de Maas

Vergelijking van de werkelijke chemische samenstelling van Maaswater met de berekende natuurlijke samenstelling biedt een solide basis om uitspraken te doen over verontreinigingen in Maaswater. Afb. 3 dat het verloop toont van verschillende verontreinigingen, is samengesteld uit de gegevens van de tabellen II en IV. Alhoewel er rechtstreeks geloosd wordt op de Maas, zijn het toch een paar sterk verontreinigde zijrivieren die voor het spronggewijze verloop van de verontreinigingen verantwoordelijk zijn. In het bovenstroomse deel van de Lotharingse Maas kunnen de kleinere zijriviertjes de Maas nog sterk beïnvloeden. Deze zelfde belastingen van vergelijkbare riviertjes in het Nederlandse deel van de Maas vallen echter nauwelijks op. De eerste industriële lozingen in de Maas, van o.a. sulfaat, ijzer en mangaan worden via de Chiers aangevoerd. De daaropvolgende zeer sterk verontreinigende rivier is de



Afb. 3 - Kunstmatige lozing en natuurlijke reiniging in de Maas.

lengte van de Maas bestaat een tekort aan kiezelzuur. Door de algengroei is de pH van Maaswater duidelijk te hoog. Zonder de menselijke ingrepen zouden er geen stuwpanden zijn, de nutriënttoevoer zou veel geringer zijn. In de natuurlijke situatie zou algenbloei daarom minder frequent voorkomen dan nu het geval is. Het komt er op neer dat de zelfreinigende werking van de oorspronkelijke Maas nauwelijks te kwantificeren valt. Bij de berekening van de natuurlijke samenstelling van Maaswater is de zelfreiniging in de Maas dan ook buiten

TABEL IV - Samenstelling van Maaswater.

Naar gegevens van de RIWA en de Agence Financière de Bassin Rhin-Meuse in mg/l; (ongefiltreerd water); Ec in $\mu\text{mho/cm}$.

	15 km	15 km	8 km	5 km	15 km	8 km	8 km	Chooz	Agimont	Namèche	Liège	Eijsden		
	zuid	noord		zuid	noord		noord						noord	
	van	van	van	van	van	van	van							
	Neuf-	Neuf-	St. Mihiel	Verdun	Remilly	Remilly	Sedan	Charleville						
	chateau	chateau												
			1971						1971					
		1972	1972		1972				1972	1973		1973		
	1973	1973	1973		1973	1975			1973	1975		1975		
	1974	1974	1974	1974	1974	1976	1974	1974	1974	1976	1976	1976		
Ec	530	653	500	441	447	433	464	472	458	375	428	599	537	566
pH	7,6	8,0	7,9	8,0	8,0	7,9	8,1	7,9	7,9	8,0	8,2	8,0	7,7	7,7
Na ⁺	22	9,4	8,4	5,9	7,1	6,3	8,8	13,0	12,5	11,1	14,6	54	42	38
K ⁺	10,6	5,5	3,6	2,7	2,9	3,4	2,9	4,0	3,9	3,6	4,6	5,1	5,0	5,0
Ca ²⁺	82	110	99	90	90	112	72	90	87	69	67	80	77	78
Mg ²⁺	9,3	17,7	9,4	6,8	6,6	6,0	13	4,9	4,3	4,0	9,5	11,2	11,1	7,0
Fetot	± 0,23		0,46			0,56	(0,016)			0,77	(0,030)			(0,93)
Mntot	± 0,13		0,04			0,05	(0,005)			0,107	(0,016)			
Cutot			0,018			0,015	(0,003)			0,016	0,003	0,055	0,010	0,013
Zntot			0,160			0,180				0,197	0,126	0,555	0,279	
HCO ₃ ⁻	281	279	287	250	252	251	234	238	230	185	197	219	196	189
F ⁻	± 0,199		0,302			0,240	0,220			0,285	0,233	0,300	1,04	0,990
Cl ⁻	24	18,2	12,8	9,8	10,5	10,4	17,4	18,9	18,2	17,1	23,5	88	68	63
SO ₄ ²⁻	35	124	53	41	40	37	38	45	44	36	47	62	72	63
PO ₄ ³⁻	2,89	0,74	0,31	0,41	0,64	0,26	0,13	0,58	0,68	0,31	0,24	0,68	1,21	1,8
H ₄ SiO ₄ ^o	± 9,6						5,8				6,6			11,4
Totaal	490	560	470	407	410	427	392	414	401	327	370	520	474	458
Debiet m ³ /s	1,06	10,6	12,2	31,9	35,5	26,1		77,8	88,5		68 (1976)		143	

TABEL V - Landsbijdragen aan het totaal transport van de Maas; eenheid: 10³ton.jaar⁻¹; () : indien kunstmatige lozing verantwoordelijk zou zijn voor de overmaat aan K en Mg.

	Frankrijk			België (+ stukje Frankrijk + stukje Luxemburg)			Maas Eijsden		W.-Duitsland en Nederland			Maas Kerkvloot Keizersveer	
	kunstmatig	natuurlijk	zelfreiniging totaal	kunstmatig	natuurlijk	totaal	totaal	actueel	kunstmatig	natuurlijk	totaal	totaal	actueel
Na ⁺	21	25	46	226	34	260	58,7	305,8	193	42	235	100,4	540,8
K ⁺	+	14	15	+	16	35	29,8	40,2	+	17	26	46,4	66,2
Ca ²⁺	—	276	247	182	198	380	474,4	627,3	—	133	123	607,1	750,6
Mg ²⁺	+	23	24	+	23	32	46,2	56,3	+	15,7	35,3	61,8	91,6
Fetot	0,68	0,76	1,45	5,8	0,2	6,0	1,0	7,48		2,3	—	3,31	7,06
Mntot	+	0,18	0,22	?	0,26	?	0,44	?		0,43	?	0,784	1,32
Cutot	+	0,02	0,03	0,06	0,01	0,07	0,032	0,1045		0,012	—	0,044	0,088
Zntot	0,65	0,06	0,71	1,4	0,14	1,53	0,197	2,24		0,49	—	0,684	0,508
F ⁻	0,6	0,33	0,94	6,7	0,3	7,0	0,62	7,96		0,37	—	0,99	6,07
Cl ⁻	23	51	74	363	70	433	120,6	506,6	204	84	288	204,2	794,7
SO ₄ ²⁻	20	131	151	258	98	356	229,2	506,6	131	157	288	386,3	794,7
PO ₄ ³⁻	0,02	0,98	1,0	12,7	0,8	13,5	1,81	14,48		0,5	—	2,32	13,25
totaal	66 (68)	522	561	1056 (1083)	441	1524	962	2075	328 (557)	453	995	1414	3067
netto													
natuurl. reiniging	Ca ²⁺ :	29											

Ca: 10; Fe, Cu, Zn, F, PO₄: 3,2

Sambre die de Maas piekbelastingen aan natrium, chloride en koper, oplegt. Andere stoffen als calcium, zink, bicarbonaat, sulfaat en fluoride nemen bij de monding van de Sambre in Namen weliswaar toe, maar piekbelastingen liggen in het traject Namen-Luik.

Tussen Luik en Berg culineren de ijzer- en fosfaatgehalten van Maaswater. Het water van de Roer bij Roermond is verantwoordelijk voor nieuwe injecties van natrium, chloride en sulfaat.

Inmiddels is de afvoer van de Maas dermate toegenomen dat de bijdragen van de overige Nederlandse zijrivieren, slechts in tijden van lage afvoer, duidelijk merkbaar zijn. In de

benedenloop van de Maas zijn de lozingen zodanig dat de gehalten aan natrium, chloride en sulfaat nog enigszins toenemen en de waarden voor calcium, en bicarbonaat en fluoride op een te hoog niveau gehandhaafd blijven.

In dit deel van de Maas zijn de effecten van de natuurlijke reiniging van dien aard dat eventuele lozingen van ijzer, koper en fosfaat, gemaskeerd worden. Het voorkomen van deze stoffen toont een dalende tendens.

Van het teveel aan bicarbonaat dat het Maaswater benedenstrooms van Namen bevat, is niet zeker welk deel het gevolg is van lozingen en welk deel van de opname van

atmosferisch CO₂ dat nodig is voor de (hernieuwde) oplossing van calcium uit het zwevend slib door bijmenging van iets zuurder Ardennen water.

Discrepancie in chemische analyses

Wat magnesium betreft bestaat er een discrepantie tssen enerzijds de Franse en onze eigen metingen en anderzijds de analyses van de waterleidinglaboratoria. Vergelijk daartoe de magnesiumconcentraties bij de Frans-Belgische grens (Chooz en Agimont) in tabel IV. Het is daarom niet mogelijk om een kwantitatieve uitspraak te doen over eventuele magnesium verontreinigingen in de Maas.

Berg	Belfeld	Grave	Keizersveer	
			Heusden	Kerksloot
1975	1975	1975 1973	1976 1975 1973	1976 1975 1973
560	570	573	605	587
7,8	7,8	7,7	7,6	7,7
31	40	47	50	49
4,3	5,0	5,5	5,9	6
78	70	69	68	68
7,8	9	9	8,1	8,3
(1,3)	(0,86)	(0,58)	(0,33)	(0,64)
0,010	(0,012)	(0,015)	0,009	0,008
0,145		(0,065)	0,072	0,046
195	183	162	169	171
0,700	0,550	0,680	0,560	0,550
55	62	70	73	72
59	64	71	73	72
1,6	1,4	1,2	1,5	1,2
10,7	8,2	9,2	9,1	8,6
445	444	445	459	457
190 (Lith)				

Natrium, chloride en sulfaatlozingen

Tabel V geeft het totaaltransport van stoffen door Maaswater op jaarbasis. Er is een indeling gemaakt naar de bijdragen van de verschillende landen. De tabel pretendeert niet meer dan het geven van ordes van grootte. Bij de tabel dient ook aangetekend te worden dat de Nederlandse en Duitse bijdrage aan de benedenloop van de Maas er gunstiger afkomt dan in werkelijkheid het geval is. Dat is het gevolg van het feit dat de zelfreiniging door de gevolgde rekenmethode geheel ten gunste komt van de genoemde bijdragen. Het betreft hier met name de stoffen: calcium, ijzer, koper, zink en fluoride.

Wat de anorganische verontreinigingen in de waterfase van de Maas betreft komt België op de eerste plaats met 1.050.000 ton per jaar. Nederland en Duitsland dumpen gezamenlijk minstens 530.000 ton per jaar. De bijdrage van Frankrijk is, in vergelijking met die van de andere landen, maar klein en omvat globaal 66.000 ton per jaar.

De bulk van de lozingen bestaat uit natrium, chloride en sulfaat. Mogelijk is het overgrote deel daarvan direct of indirect afkomstig van de mijnindustrie in België, Nederland en Duitsland.

De zelfreiniging van Maaswater

De zelfreiniging van de Maas kan gekwantificeerd worden door de trajecten waarover de verschillende bijdragen berekend zijn te verkleinen. Uit de gegevens van tabel V met een indeling in drie trajecten, komt men reeds op een jaarlijkse slibproductie van

100.000 ton kalk, 100.000 ton organisch materiaal en 3.000 ton spoorelementen als ijzer, koper, zink, fluor en fosfaat. De hoeveelheid organisch materiaal is gebaseerd op een verlies van 10.000 ton Si uit de waterfase en de aanwezigheid van 10 % silicium in organisch materiaal. Vermoedelijk zijn deze waarden nog aan de lage kant. Het slibtransport door Maaswater ter hoogte van de Biesbosch bedraagt ca. 220.000 ton per jaar. Dat slib bestaat echter maar voor 30 % uit kalk + organisch materiaal. Daaruit moet men de conclusie trekken dat het grootste deel van het geproduceerde slib weer in oplossing gaat of sedimenteert. Het 'grazen' van de zoömassa speelt daarbij een grote rol.

De heilzame werking van de zelfreiniging is echter maar betrekkelijk. Het zijn de drinkwaterleidingbedrijven die ervan profiteren. Rijkswaterstaat blijft echter met grote hoeveelheden verontreinigd slib zitten.

Dankbetuiging

Het Maasonderzoek is bekostigd door de Rijksuniversiteit Utrecht. Het project is opgezet in samenwerking met Dr. C. H. van der Weijden, dhr. L. Belle en mevr. M. Reith. Een deel van de gegevens is verzameld door de studenten: Rienk Arnoldus, Adriaan Hamaker, Paul Smit, Leo Houtman, Mick Dusée, Paul Boddeke en Jan Hoogendoorn. Ondersteuning is verleend door: Agence financière de Bassin Rhin-Meuse te Metz. Bureau de Recherches et Minières te Nancy, Barrage de Nisramont (Ourthe), Rijkswaterstaat: Directie Waterhuishouding en Waterbeweging, Directie Limburg, Milieudienst te Maastricht, RIZA; Meetponton te Eijsden en het Waterschap De Dommel.

Literatuur

- Bos, M. van den en Rook, J. J. (1972). *Toetsing van het chloride en sulfaat gehalte van de Maas als parameter voor de vervuiling van deze rivier*. H₂O 19.
- Craenenbroeck, W. J. *Die Beschaffenheit des Maaswassers*.
- Carte hydrogéologique de Bassin Rhin-Meuse*; Uitgave Agence Financière de Bassin Rhin-Meuse
- Diricks, J. (1972) *Waterkwaliteit van de Maas in België*. H₂O 19.
- Jansen, Ph. (1969) *Onderzoek naar de kwaliteit van het Maaswater in Frankrijk en België*. Water 53 (4), 179-186.
- Made, J. W. van der (1972) *Hydrography of the river Meuse drainage basin*. H₂O (5) nr. 17, 103-119.
- Molt, E. L. (1961) *Verontreiniging van het Rijnwater*. In: De Rijn, TH Delft.
- Pissart, A. (editor) (1976) *Géomorphologie de la Belgique*. Lab. Géol. Geogr. Phys. Liège.
- Provinciale Waterstaat Limburg; *Toestand van het oppervlaktewater in Limburg in 1972 en 1973*.
- Rijksinstituut voor zuivering van afvalwater; 1970; *Hydrobiologisch onderzoek van de Maas*.
- Romijn, E. (1973) *Development of groundwater*

resources in the Netherlands. Verh. Kon. Ned. Geol. Mijnb. Gen. vol. 29, 91-104.

Rossum, H. van, (1962) *De Maas van oorsprong tot uitmonding*. Land en Water, 6e jrg., no. 4, 122-131.

Rijkswaterstaat, RIVO en RID; *Kwaliteitsonderzoek in de rijkswateren*; kwartaal verslagen, 1972-1977.

Rijncommissie Waterleidingbedrijven; *De samenstelling van het Rijn- en Maaswater*; jaarverslagen 1973-1977.

Schuiling, R. D. (1974) *De natuurlijke erosie als basisniveau voor het transport van elementen*. Chem. Weekbl. febr. M2.

Schuiling, R. D., Weijden, C. H. van der, Hek H. de, Helden, A. K. van (in bewerking) *Natural erosion as a reference for the transport of elements in polluted riversystems*.

Vereerstraeten, J. *Le bassin de la Meuse, étude de géographie hydrologique*. Soc. Roy. Belge de Géographie.

Wasserwissenschaftlicher Rahmenplan Rur (Eifel/Rur). 1967.

Waterleidingmaatschappij Oost-Brabant. Jaarverslagen 1973-1977.

Zuurdeeg, B. W. (1979) *De natuurlijke samenstelling van de Nederlandse wateren*; 107 pp. Uitgave R.U., Utrecht.

