

De belasting van oppervlaktewater door verontreinigende stoffen en de kwaliteitsverandering als gevolg daarvan

1. Inleiding

Oppervlaktewater wordt voor vele doeleinden gebruikt. Hoewel in het kader van deze voordracht op slechts twee doeleinden, het afvoeren van al dan niet gezuiverd afvalwater en de winning van drinkwater, nader zal worden ingegaan, zal in het kort ook op andere mogelijkheden van gebruik van oppervlaktewater de aandacht worden gevestigd (tabel I). In deze tabel is het „positieve” gebruik van oppervlaktewater aangegeven alsmede de globale kwaliteitseisen. Onder kwaliteit wordt verstaan een stelsel van concentraties of gehalten die niet mogen worden onder- of overschreden (grenswaarden). De grenswaarden hebben betrekking op de fysische, chemische en biologische gesteldheid van het water en variëren afhankelijk van het type van „positief” gebruik. Op de verschillende kwaliteitseisen zal niet verder worden ingegaan.

De opsomming onder „negatief” gebruik (tabel I) vermeldt de belangrijkste bronnen van belasting van het oppervlaktewater door verontreinigende stoffen. Kwalitatief gezien moet een beschouwing van de belasting van oppervlaktewater alle parameters omvatten, die in het betreffende stelsel van kwaliteitsnormen voor positief gebruik vastgesteld zijn.

Kwantitatief kan de belasting door opgave van de geïsoleerde hoeveelheid verontreiniging per tijdseenheid (bijvoorbeeld ton per dag, kg per uur, g per seconde etc.) van de in aanmerking komende stoffen worden uitgedrukt. Een dergelijke kwantificering van de belasting is slechts in algemene zin mogelijk, d.w.z. de soorten verontreinigende stoffen en de te verwachten hoeveelheid per vervuilingseenheid (bijv. per inwonerequivalent) kunnen worden genoemd. In het volgende zal ik mij hiertoe beperken.

Voor een bepaald oppervlaktewater moet de totale belasting met verontreinigende stoffen worden geïnventariseerd. De intensiteit van de belasting en de plaatselijke en tijdelijke variaties moeten worden opgespoord.

De kwaliteit van oppervlaktewater met betrekking tot het gebruik voor een bepaald doel wordt bepaald door een stelsel van concentratie normen. Dientengevolge is een kwaliteitsverandering door de concentratieverandering in het oppervlaktewater gegeven. De vraag naar de gevolgen van de belasting voor de kwaliteitsverandering kan derhalve door een beschouwing van de te verwachten concentratieveranderingen worden beantwoord. Daarbij spelen twee mechanismen een belangrijke rol:

de verdunning in het oppervlaktewater t.p.v. het punt van lozing, d.w.z. de verhouding van de vuilbelasting (g stof per seconde) en het debiet van het ontvangende water (m^3/s);

vorming van stankstoffen is, of het optreden van botulisme in eenden en andere watervogels. Een verhoogde groei van blauwvieren en actinomyceten wordt vaak geconstateerd. In weinig verontreinigd water en bij geschikte belasting van het koelwater zullen in een rivier geen onaanvaardbaar lage zuurstofgehalten optreden. (Ik spreek uiteraard niet over extreme situaties, zoals die, waarbij men wel aanneemt dat door de bouw van elektrische centrales in het stroomgebied van de Rijn in een bepaald jaar na 2000 het water van de Rijn op kookhitte ons land zou binnenstromen, ook niet over temperaturen hoger dan 30 tot 35 °C). Maar indien men uit dit alles de conclusie zou willen trekken dat temperatuurverhoging door de lozing van opgewarmd koelwater

TABEL I - Gebruik van oppervlaktewater.

1. „POSITIEF” GEBRUIK (met eisen)
1.1. Scheepvaart (waterstand, debiet)
1.2. Irrigatie (kwaliteitseisen)
1.3. Visserij (kwaliteitseisen)
1.4. Recreatie
1.41. aan het water (esthetische eisen)
1.42. op het water (esthetische en kwaliteitseisen)
1.43. in het water (kwaliteitseisen)
1.5. Drinkwaterwinning (kwaliteitseisen)
2. „NEGATIEF” GEBRUIK (type van lozing)
2.1. Afvoer van huishoudelijk en industrieel afvalwater (plaatselijk geconcentreerd)
2.2. Afvoer van regenwater
2.21. uit regenwaterriolen van gescheiden stelsels (geconcentreerd en verspreid)
2.22. via overstorten van gemengde stelsels (geconcentreerd en verspreid)
2.3. Afvoer van drainagewater van landbouwgronden (verspreid)
2.4. Afvoer van koelwater van elektrische centrales en van de industrie (geconcentreerd)

de concentratieveranderingen tengevolge van de afbraak van bepaalde stoffen, een proces, dat vaak met zelfreiniging wordt aangeduid.

Bij de bespreking van de onderhavige problematiek zal steeds van een rivier worden uitgegaan. De principes zijn ook voor meren en estuaria geldig hoewel zij iets moeilijker te benaderen zijn.

2. De belasting van oppervlaktewater met verontreinigende stoffen

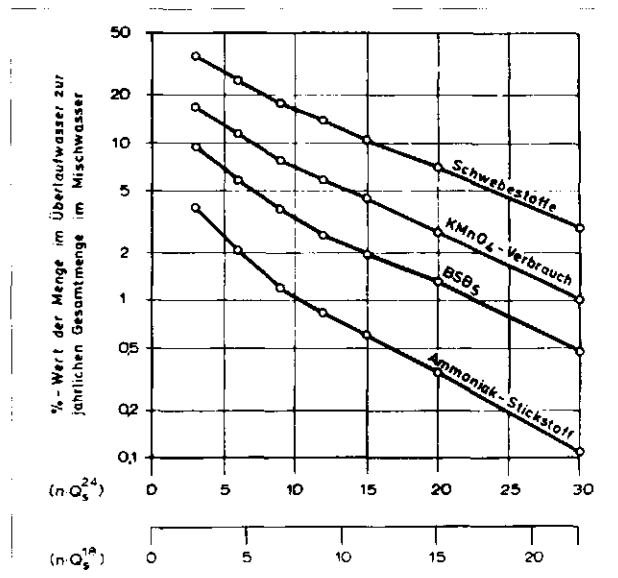
Zoals reeds werd opgemerkt, wordt hier de behandeling van de belasting van oppervlaktewater tot een overzicht van de voornaamste soorten verontreinigende stoffen beperkt (tabel II). In sommige gevallen, vooral voor huishoudelijk afvalwater, zijn voldoende gegevens beschikbaar om ook de vuilbelasting per vervuilingseenheid te kunnen aangeven. De belasting door industrieel afvalwater (punt C) is sterk afhankelijk van de soort van producten, het toegepaste

niet is toegestaan, zelfs geen graad, dan schijnt mij dat een omkering van het probleem. De ware conclusie moet dan ook zijn, dat het rivierwater reeds thans zo ver verontreinigd is met zuurstofverbruikende stoffen, dat een geringe temperatuurverhoging niet meer aanvaardbaar is. En dit leidt dan weer tot de slotsom, dat het water dat thans in de rivier stroomt, vanuit stedelijke riolerings, industriële lozings, mijngebieden en landbouwstreken te zeer is verontreinigd en dat daaraan op korte termijn alles moet worden gedaan. Met deze misschien wat ondeugende, maar verreikende conclusie, zou ik u willen opwekken tot een kritische benadering van de problematiek van de drinkwaterbereiding en haar beperkingen.

productieproces, de aard van de afvalwaterlozing (rechtstreeks op het oppervlaktewater of via een eigen of bij anderen in beheer zijnde rioolwaterzuiveringsinrichting). Nauwkeurige informatie over de industriële vuilbelasting vereist gewoonlijk steeds een uitgebreid onderzoek, hoewel soms een ruwe benadering van de belasting door middel van litratuurgegevens kan worden verkregen. Hieronder volgen enkele opmerkingen met betrekking tot tabel II.

TABEL II - De belasting van oppervlaktewater

A. HUISHOUDELIJK AFVALWATER EN REGENWATER		
1. Huishoudelijk afvalwater		
	belasting (g/l.e.)	
	niet gezuiverd	gezuiverd
1.1. organische stoffen (BOD)	54	5
1.2. bezinkbare stoffen	60	5
1.3. bemestende stoffen		
fosfor	2	1,5
stikstof	12	8
1.4. pathogene kiemen en virussen	70-98 % reductie	
2. Regenwater uit regenwaterriolen		
2.1. bezinkbare stoffen	200 - 300 g/m ³	
2.2. organische stoffen	15 - 30 g BOD/m ³	
3. Overstortwater uit gemengde rioleringsstelsels		
belasting afhankelijk van		
3.1.	de verdunning van regenwater gedurende het overstorten	
3.2.	de periode van droog weer tussen twee buien	
3.3.	de intensiteit en de duur van de neerslag	
B. DRAINAGE EN UITSPOELING UIT LANDBOUW		
1. Bemestende stoffen		
fosfor:	± 0.5 kg P/ha . jaar	
stikstof:	± 20 kg N/ha . jaar	
2. Gesuspenderde stoffen		
hoeveelheid afhankelijk van		
— neerslag (intensiteit en duur)		
— topografie		
— soort gewas, bodemstructuur en bemesting		
3. Chemische bestrijdingsmiddelen		
C. INDUSTRIEEL AFVALWATER		
1. Organische stoffen (opgelost en gesuspenderd)		
1.1. makkelijk afbreekbare organische stoffen		
1.2. moeilijk afbreekbare organische stoffen		
2. Inerte zouten		
bijv. Na ⁺ , K ⁺ , Ca ⁺⁺ , Mg ⁺⁺ , Cl ⁻ , SO ₄ ⁻⁻ , CO ₃ ⁻⁻		
zuur en loog (H ⁺ en OH ⁻), die door het bufferend vermogen worden opgevangen		
3. Giftige stoffen		
3.1. matig giftige stoffen, toxisch voor aquatische organismen in concentraties van 10 tot 100 g/m ³		
bijv. acrylonitril, benzoëzuur, acetaat-esters, looizuur, formaline, enkele alcoholen, chromaat, zwavelkoolstof, pikrinezuur, kobalt, nikkel.		
3.2. echt giftige stoffen		
toxisch voor aquatische organismen in concentraties van 0,1 tot 10 g/m ³		
zware metalen: Fe, Zn, Cu, Pb, Cd, Hg		
organische verbindingen: bijv. aniline, benzaldehyde, benzeen, hydrochinon, nitroverbindingen, fenolen		
3.3. zeer sterk giftige stoffen		
toxisch voor aquatische organismen in concentraties minder dan 0,1 g/m ³		
bijv. chemische bestrijdingsmiddelen		
4. Koelwater (warmte)		
5. Radio-actieve stoffen		



Afb. 1 - Percentage van de totale vuilproductie in overstortwater bij een verdunning van n . dwa (onleidend aan 1).

ad A. De belasting ten gevolge van lozing van gezuiverd afvalwater is gebaseerd op reductie van de BOD en van de gesuspenderde stoffen van 90 % en op een reductie van fosfor en stikstof van 25 %. Dit rendement is door middel van een actief-slib-proces of door toepassing van laag belaste oxydatiebedden bereikbaar.

Uit onderzoeken in Europa, Zuid-Afrika en de Verenigde Staten is gebleken, dat de gemiddelde waarden van de vervuiling van afgevoerde neerslag van stedelijke gebieden goed overeenstemmen. Bijzonder moeilijk is de belasting van oppervlaktewater door overstortwater uit gemengde rioolstelsels vast te stellen.

Afb. 1 toont aan, welk percentage van de totale vuilproductie van bepaalde stoffen rechtstreeks in het oppervlaktewater terecht komt indien gedurende het overstorten een verdunning van „n” maal de dwa (gemiddelde waarden over 24 resp. 18 uur) optreedt. De grafiek is gebaseerd op metingen verricht in Northampton en houdt rekening met de in tabel II onder 3.1 t/m 3.3 genoemde factoren.

ad B. De gegeven gemiddelde waarden voor uitspoeling van bemestende stoffen zijn evenals de niet gekwantificeerde gesuspenderde stoffen sterk afhankelijk van de intensiteit en de duur van de neerslag, de topografie van het gebied, het soort gewas, de bodemstructuur en de aard en de intensiteit van de bemesting.

ad C. Zoals reeds vermeld, kan de belasting van oppervlaktewater met verontreinigende stoffen van industriële herkomst slechts kwalitatief benaderd worden. Vele van de genoemde stoffen veroorzaken onaangename kleur, smaak of reuk van het water. Hoewel koelwater niet per sé verontreinigd hoeft te zijn, is het in de tabel opgenomen, omdat het in verband met een temperatuursverhoging in sterke mate de kwaliteit van het oppervlaktewater kan beïnvloeden.

3. Kwaliteitsverandering tengevolge van de belasting

De twee reeds vermelde mechanismen van concentratieverandering ten gevolge van de belasting met verontreinigde stoffen zijn:

- de verdunning in het ontvangende water;
- de afbraak van de stoffen.

Achtereenvolgend zullen deze twee mechanismen worden besproken.

3.1. Verdunning van de belasting met als gevolg toename van de concentratie in het oppervlaktewater.

De verdunning van een puntsgewijs geloosde vuilbelasting van een bepaalde verontreinigende stof V (g/s) met het aanwezige debiet Q (m³/s) van een rivier leidt tot een concentratietoename van deze stof:

$\Delta C = V/Q$ (zie afb. 2). Deze toename van de concentratie wordt gelijk gesteld aan de door de belasting veroorzaakte kwaliteitsvermindering. Is deze stof vóór de lozing al met een concentratie van C_0 aanwezig, dan is de concentratie na de lozing — als volledige menging wordt verondersteld — $C = C_0 + \Delta C = C_0 + V/Q$ (g/m³).

Met betrekking tot de concentratie C als afhankelijke parameter en het debiet Q als onafhankelijke parameter is dit de vergelijking van een hyperbool.

Voor niet afbreekbare opgeloste stoffen, bijv. inerte zouten, kan C_0 dan als de natuurlijke concentratie worden geïnterpreteerd. Als voorbeeld geeft afb. 3 de hyperbolische samenhang tussen de chlorideconcentratie en de afvoer van de Rijn bij Emmerich/Lobith in het jaar 1955/56. De chlorideafvoer was volgens de in afb. 3 aangegeven formule ($y = 191042/x + 28$) toen nog 191 kg/s (tegenwoordig haast het dubbele) en het natuurlijke chloridegehalte 28 g/m³.

Een soortgelijk verband tussen de concentratie en de afvoer kan ook voor afbreekbare stoffen worden bepaald. Meestal zal daarbij echter nog een invloed van een derde parameter, die de snelheid van afbraak kan beïnvloeden, moeten worden opgespoord. Dit geldt vooral voor de temperatuur. Als voorbeeld is in afb. 4 het ammoniakgehalte als functie van de afvoer aangegeven, onderverdeeld in te temperatuur range van 0,5 tot 8 °C en van 8 tot 22 °C. In beide gevallen is het natuurlijke ammoniakgehalte zeer laag. Dit is te verwachten omdat NH_4^+ in aëroob milieu niet stabiel is maar tot nitraat wordt geoxydeerd.

Bijzonder duidelijk is de invloed van de temperatuur uit het laatste voorbeeld (afb. 5), namelijk het fenolgehalte van de Oder in 1966 bij Chalupki te constateren. Ten gevolge van temperatuurafhankelijkheid van de afbraakprocessen was de fenolafvoer in de temperatuur range van

0—10 °C	30,1 g fenol/s
10—15 °C	16,2 g fenol/s
15—22 °C	7,7 g fenol/s

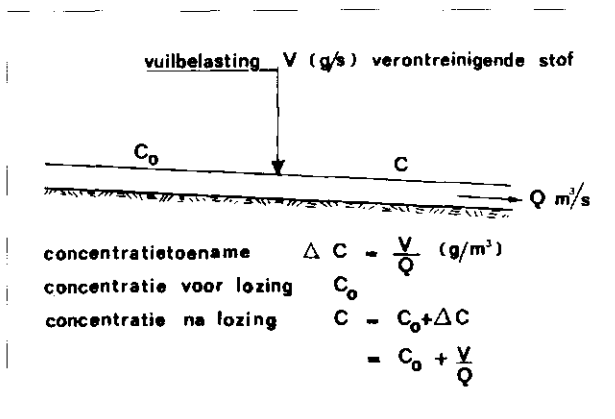
In alle drie gevallen bleek uit de berekening een natuurlijk fenolgehalte van nul, omdat de fenolen in het aquatisch milieu niet stabiel zijn.

De besproken benadering van het effect van een belasting op de kwaliteit (= concentratie) van het oppervlaktewater gaat van een constante belasting uit en houdt alleen maar rekening met variaties van het debiet. In werkelijkheid echter is ook de belasting aan grote schommelingen onderhevig.

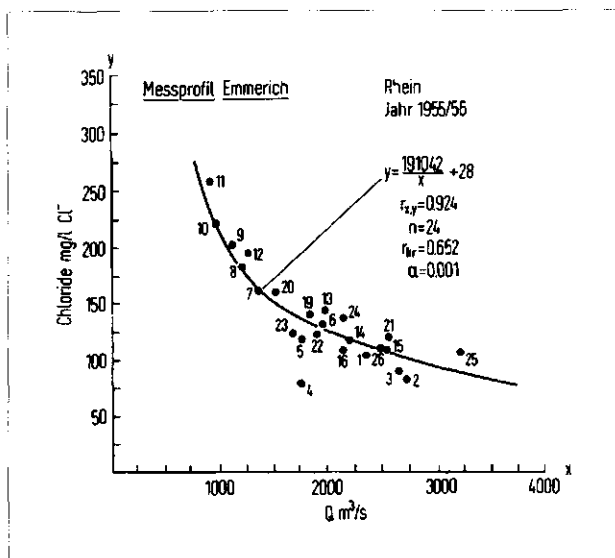
Als voorbeeld zijn in afb. 6 de maandelijkse gemiddelde waarden van de geloosde BOD₅²⁰-hoeveelheid in tonnen BOD₅/dag van een grote Engelse rioolwaterzuiveringsinrichting over een tijdperk van 16 jaren weergegeven. De arcering geeft de standaardafwijking binnen elke maand aan en geeft een indruk van de te verwachten schommelingen van de vuilbelasting. Bijzonder opvallend is, dat gedurende de zomer gemiddeld meer BOD wordt geloosd dan gedurende de winter.

Het is derhalve duidelijk dat de kwaliteitsverandering van het ontvangende water sterk van de hydrologische omstandigheden afhangt.

Is bijvoorbeeld het ontvangende water een regenwaterrivier met een lage afvoer gedurende de zomer en een hoge afvoer in de wintermaanden (afb. 7), dan veroorzaakt de lozing van de in afb. 6 gekenmerkte vuilhoeveelheden een bijzonder intensieve concentratietoename in de zomermaanden (afb. 8). Het omgekeerde doet zich voor, als de in afb. 6 aangegeven

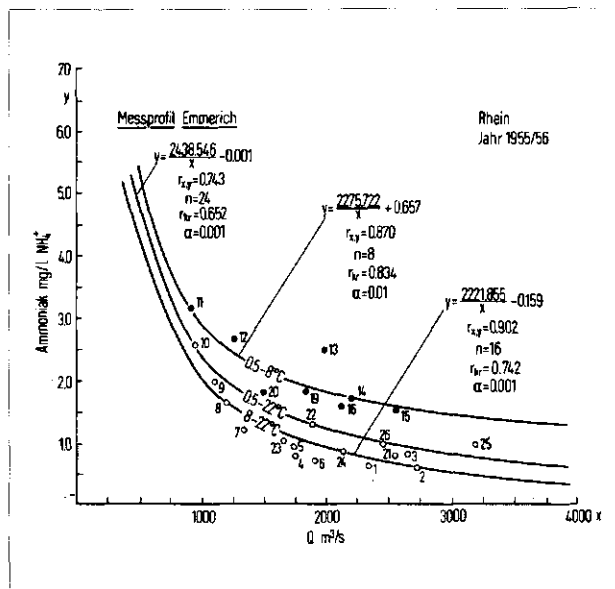


Afb. 2 - Verdunning van de vuilbelasting of toename van de concentratie.



Afb. 3 - Verband tussen het chloridegehalte en het debiet van de Rijn bij Emmerich in 1955/56 (ontleend aan 2).

Afb. 4 - Verband tussen het ammoniakgehalte, het debiet en de watertemperatuur van de Rijn bij Emmerich in 1955/56 (ontleend aan 2).



hoeveelheden BOD op een rivier die smeltwater afvoert met hoge zomerafvoer en lage winterafvoer (afb. 9) worden geloozd. Zoals afb. 10 laat zien is de concentratietoename van de BOD in dit geval geringer, ofschoon de rivier die smeltwater afvoert gemiddeld 10 % minder debiet heeft dan de voordien besproken regenwaterrievier.

Uit deze beknopte, theoretische beschouwing blijkt duidelijk, dat niet alleen de vuilbelasting en het debiet de kwaliteitsverandering door verdunning bepalen, maar dat de tijdelijke variaties van beide parameters van grote invloed op de concentratietoename zijn.

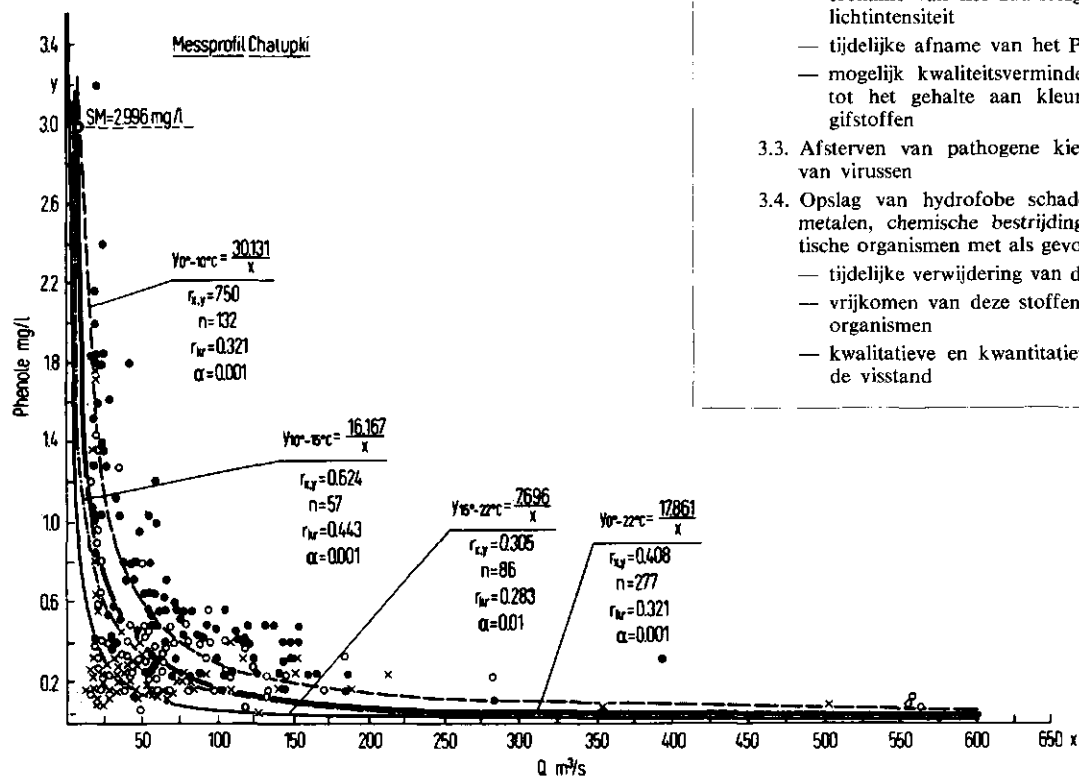
3.2. Kwaliteitsverandering door afbraak

De belangrijkste verandering van de concentratie van verontreinigende stoffen in oppervlaktewater wordt door afbraakprocessen veroorzaakt. Onder afbraak wordt in dit verband elke verandering van concentraties ten gevolge van fysische, chemische en biologische processen verstaan, dus ook verwijdering van gesuspendeerde stoffen door sedimentatie, afgifte van warmte, opname van zuurstof, processen die gewoonlijk niet onder afbraak worden begrepen, maar meestal met het begrip zelfreiniging worden omschreven.

Alvorens op de kwaliteitsverandering of verbetering door afbraakprocessen in te gaan, moet worden geconstateerd, dat bepaalde stoffen niet worden veranderd; in het anglo-amerikaans taalgebruik worden zij „conservative constituents” genoemd. Voorbeelden hiervan zijn alkali-metalen, anionen chloride, sulfaat en gedeeltelijk ook bicarbonaat. De concentratie- en kwaliteitsverandering wordt volledig door de reeds behandelde verdunning met oppervlaktewater bepaald.

Alle andere stoffen ondergaan een concentratieverandering door verschillende afbraakmechanismen. In tabel III is een poging gedaan deze mechanismen te classificeren. Tevens is aangegeven op welke soort verontreiniging de verschillende mechanismen inwerken en welke belangrijkste gevolgen daaruit voortvloeien.

Afb. 5 - Verband tussen het fenolgehalte, het debiet en de temperatuur van de Oder bij Chalupki in 1966 (ontleend aan 2).



TABEL III - Mechanisme van afbraak

1. FYSISCH-PROCESSEN

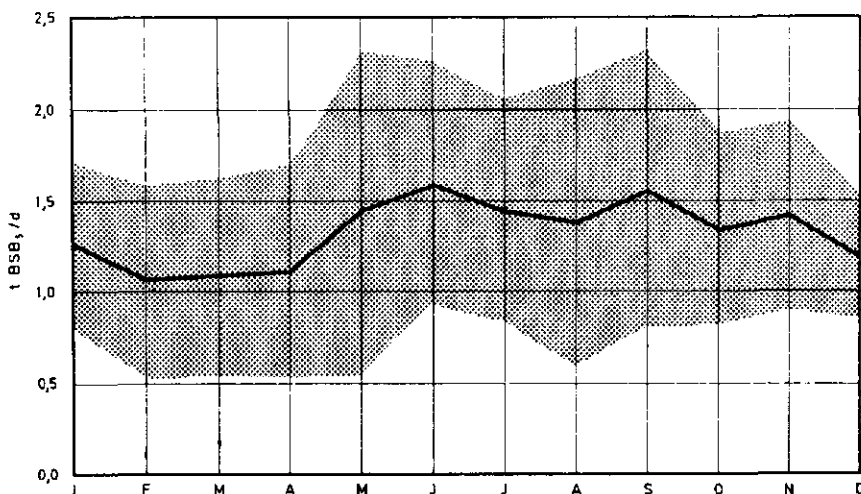
- 1.1. Sedimentatie van gesuspendeerde stoffen (organisch en anorganisch), afhankelijk van de stroomsnelheid opwoelen van bezonken materiaal tijdens toenemende stroomsnelheid
- 1.2. Gasuitwisseling met de atmosfeer vooral:
 - opname van zuurstof (afgifte bij overmaat aan zuurstof t.g.v. algenactiviteit)
 - afgifte van kooldioxyde
 - afgifte van vluchtige (reuk en smaak veroorzakende) stoffen
- 1.3. Afgifte van (koelwater-) warmte aan de atmosfeer verbonden met een daling van de temperatuur tot de (meestal onbekende) evenwichtstemperatuur
- 1.4. Radio-actieve splijting met als gevolg een (geringe) daling van de radio-activiteit

2. FYSISCH-CHEMISCHE PROCESSEN

coagulatie van colloïdale stoffen met vervolgens sedimentatie

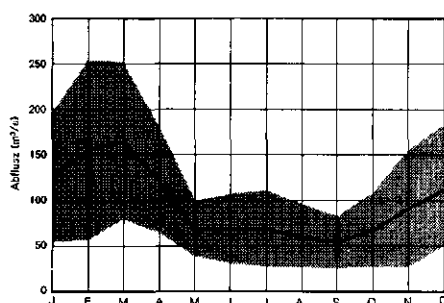
3. CHEMISCH-BIOLOGISCHE PROCESSEN

- 3.1. Afbraak van organische stoffen door oxydatie en opname door microorganismen met als gevolg afname:
 - van het gehalte aan organische verontreinigingen, die gemakkelijk afbreekbaar zijn van het zuurstofgehalte
 - toename:
 - van het gehalte aan oxydatieproducten ($\text{CO}_2, \text{NO}_3^-, \text{PO}_4^{---}$)
 - van het gehalte aan biomassa en dientengevolge van stofwisselingsproducten (eventueel reuk en smaak veroorzakend)
 - van het gehalte aan moeilijk afbreekbare organische verontreinigingen
- 3.2. Opname van bemestende stoffen en CO_2 door algen met als gevolg
 - toename van het zuurstofgehalte bij voldoende lichtintensiteit
 - tijdelijke afname van het P- en N-gehalte
 - mogelijk kwaliteitsvermindering met betrekking tot het gehalte aan kleur-, reuk-, smaak- en gifstoffen
- 3.3. Afsterven van pathogene kiemen en inaktivering van virussen
- 3.4. Opslag van hydrofobe schadelijke stoffen (zware metalen, chemische bestrijdingsmiddelen) in aquatische organismen met als gevolg
 - tijdelijke verwijdering van deze verontreinigingen
 - vrijkomen van deze stoffen na afsterven van de organismen
 - kwalitatieve en kwantitatieve achteruitgang van de visstand

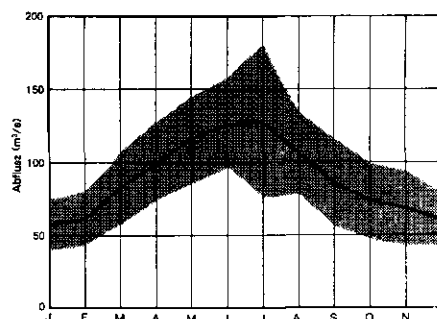


Afb. 6 - Maandelijks gemiddelde waarden en hun standaardafwijking van BOD_5^{20} -hoeveelheid (ton per dag) geloosd door een grote Engelse rioolwaterzuiveringsinrichting (Maple Lodge; ontleend aan 3).

Als deze hoeveelheid BOD_5^{20} wordt geloosd op

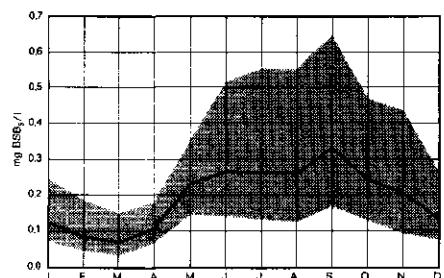


Afb. 7 - Maandelijks gemiddelde waarden en hun standaardafwijking van het debiet van een regenwaterrievier (Main; ontleend aan 3).

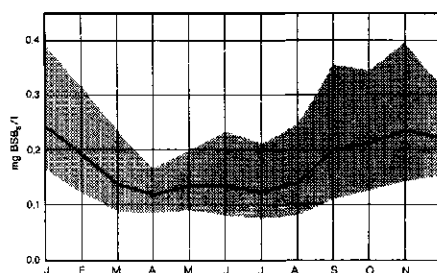


Afb. 9 - Maandelijks gemiddelde waarden en hun standaardafwijking van het debiet van een smeltwater afvoerende rivier (Isar; ontleend aan 3).

deze rivier ontstaat



Afb. 8 - Maandelijks gemiddelde waarden en hun standaardafwijking van de concentratie-toename ΔC bij lozing van de BOD_5^{20} volgens afb. 6 op een regenwaterrievier volgens afb. 7 (ontleend aan 3).



Afb. 10 - Maandelijks waarden en hun standaardafwijking van de concentratie-toename ΔC bij lozing van de BOD_5^{20} volgens afb. 6 op een smeltwater afvoerende rivier volgens afb. 9 (ontleend aan 3).

deze toename van de concentratie

De genoemde afbraakprocessen spelen zich uiteraard niet onafhankelijk van elkaar af: een wederzijdse beïnvloeding vindt immers plaats. Het bekendste voorbeeld is de zuurstofhuishouding van oppervlaktewater, waarop beknopt zal worden ingegaan, vooral omdat de daardoor beschreven wisselwerking tussen afbraak van organisch stof en zuurstofgehalte het meest toegepaste kwaliteitsmodel voor oppervlakte is. Soms heeft men zelfs de indruk, dat door een goede regeling van de zuurstofhuishouding de kwaliteitsproblemen van oppervlaktewateren opgelost zouden zijn.

Het bekende model van Streeter en Phelps gaat uit van een exponentiële afbraak van de organische stof, die door het biochemisch zuurstofverbruik (BOD) wordt gemeten. Dien-

tengevolge verloopt ook de zuurstofonttrekking aan het water exponentieel. De snelheid van reëratie uit de atmosfeer is evenredig aan het verzadigingsdeficiet. De som van beide invloeden op de verandering van het zuurstofgehalte leidt tot een eenvoudige differentiaalvergelijking, waarvan de oplossing voor een puntlozing in afb. 11 is weergegeven (voor verschillende temperaturen). Het is de bekende zuurstofkromme, die de wisselwerking tussen afbraak van BOD en zuurstofopname uit de atmosfeer samenvat.

Maar ook andere afbraakprocessen en andere verontreinigingen spelen een rol hierbij. De afbraak wordt versneld bij stijgende temperaturen terwijl de snelheid van reëratie vermindert. Koelwaterlozingen veroorzaken dan ook een achter-

uitgang van de zuurstofhuishouding. Uit een voorbeeld, gebaseerd op metingen, blijkt de drastische afname van het zuurstofgehalte tengevolge van temperatuursverhoging (afb. 11).

Ook algen, en dus indirect de bemestende stoffen, leveren een zekere bijdragen tot de zuurstofhuishouding omdat zij overdag zuurstof produceren en 't nachts zuurstof onttrekken. Voorts hebben giftige stoffen een remmende invloed op de afbraaksnelheid en dus ook op de snelheid van zuurstofonttrekking. Anderzijds wordt door toename van geloosde makkelijk afbreekbare organische stoffen de groei van de biomassa bevorderd, als gevolg waarvan de verontreinigingen sneller afgebroken worden.

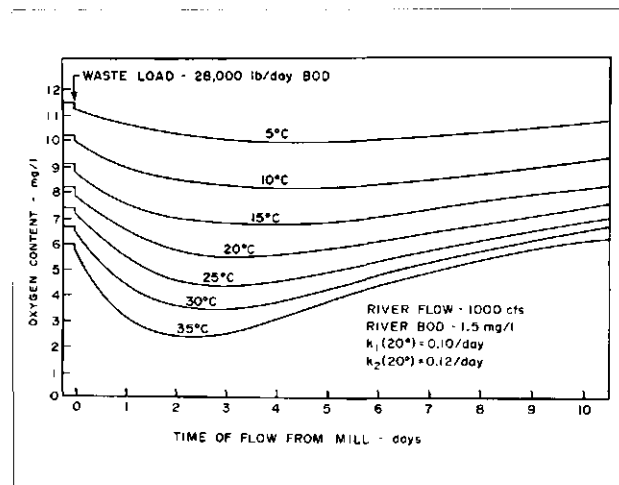
Tenslotte verminderen hydrofobe stoffen de intensiteit van reaëratie van oppervlaktewater omdat zij zich aan het grensvlak tussen water en lucht concentreren en daardoor de processen van diffusie door, en vernieuwing van het grensvlak belemmeren.

De bespreking van de zuurstofhuishouding en de beïnvloeding ervan door verontreinigingen en afbraakprocessen was bedoeld om aan dit voorbeeld de veelvuldige en gecompliceerde wisselwerkingen bij de kwaliteitsverandering van oppervlaktewater door afbraak aan te tonen.

Conclusie

Vele aspecten van de aangeduide afbraakprocessen (tabel III) leiden tot een kwaliteitsverbetering. Niettemin moet ook op mogelijke kwaliteitsverslechtingen ten gevolge van afbraakprocessen de aandacht worden gevestigd. De voornaamste zijn:

- de toename van moeilijk afbreekbare organische stoffen;
- de biogene vorming van stoffen, die reuk, smaak en kleur aan het water verlenen, soms ook van toxische stoffen;
- de opslag van schadelijke stoffen in aquatische organismen.



Afb. 11 - Zuurstofkromme veroorzaakt door een puntlozing van afvalwater door een papierfabriek bij verschillende temperaturen (ontleend aan 4).

Literatuur

1. Otto, H.: *Die Anforderungen an Regenüberläufe in Kanalisationsnetzen des Mischverfahrens im Verhältnis zu den Anforderungen an die Abwasserreinigung in Kläranlagen*, Dissertatie D 17, Darmstadt 1971.
2. Manczak, H.: *Ueber die Auswertung von Gewässergüteuntersuchungen, Vom Wasser XXXV* (1968).
3. Pöpel, H. J.: *Schwankungen von Kläranlagenabläufen und ihre Folgen für Grenzwerte und Gewässerschutz*, Verlag R. Oldenbourg, München 1971.
4. Parker, F. L., Krenkel, P. A.: *Physical and Engineering Aspects of Thermal Pollution*, Butterworth, London 1970.