

Reuk en smaak van rivierwater i.v.m. voorraadvorming

1. Inleiding

Het aanleggen van voorraden oppervlaktewater in spaarbekkens of infiltratiegebieden heeft naast calamiteits-overwegingen tot doel de anorganische kwaliteit van het te produceren water te beheersen en de organische kwaliteit van het te zuiveren water te verbeteren. Deze organische kwaliteitsverbetering is een gevolg van het zelfreinigingsproces dat zich kan voltrekken gedurende de tijd dat het water in het voorraadgebied verblijft. Een van de belangrijkste aspecten van de organische kwaliteitsverbetering tijdens voorraadvorming in een spaarbekken is de verbetering van de smaak van het oppervlaktewater [1].

Teneinde een beter inzicht te verkrijgen in de processen die een smaakverbetering bewerkstelligen is een studie gemaakt van het verloop van het smaakgetal in de Nederlandse rivieren. Het smaakgetal leent zich voor kwantitatieve interpretaties daar het een maat is voor de in het water aanwezige concentratie aan smaakstoffen. Immers het smaakgetal geeft het aantal volume-eenheden bijmaakvrij water weer waarmee een volume-eenheid van het watermonster moet worden verdund tot het juist bijmaakvrij is. Kennis van de smaakreducerende processen kan enerzijds dienen om voorspellingen te doen aangaande het smaakgetal van rivierwater in zeer droge jaren, de invloed van een temperatuursverhoging op het smaakgetal wanneer het water dient als koelmedium voor een elektriciteitscentrale e.d., terwijl de aard van deze processen anderzijds mede bepaalt of een spaarbekken als verdringingsbekken dan wel als mengbekken zal worden ingericht.

De afnemende van de concentratie aan smaakstoffen in rivierwater zal in hoofdzaak afhankelijk zijn van de intensiteit van

- verdamping van vluchtige smaakstoffen
- biochemische oxidatieprocessen.

Op grond hiervan kunnen de reuk- en smaakstoffen in drie groepen met onderstaande kenmerken worden verdeeld:

- vluchtig en al dan niet biochemisch oxideerbaar
- weinig vluchtig en biochemisch oxideerbaar
- weinig vluchtig en biochemisch moeilijk oxideerbaar.

Tot de eerste groep behoren paraffinische en aromatische koolwaterstoffen met een laag kookpunt. Dergelijke aardoliebestanddelen bereiken een rivier door industriële lozingen en door lozing van de scheepvaart. In Duitsland bevatte de Nederrijn in januari 1964 gemiddeld 0,6 mg/l opgeloste oliebestanddelen [2].

Verschillende andere stoffen met een laag kookpunt als esters, organische aminen en mercaptanen kunnen tevens tot deze eerste groep van smaakstoffen worden gerekend.

Stoffen van bovengenoemde aard met een hoog kookpunt vallen onder de tweede groep van smaakstoffen. In deze groep kunnen ook tussenproducten van de biochemische oxidatie van koolwaterstoffen worden opgenomen [3].

Stoffen die deel uitmaken van de derde groep van moeilijk door het zelfreinigingsproces te verwijderen smaakstoffen worden doorgaans gekenmerkt door een sterk vertakte molecuulstructuur, zoals bv. gechlloreerde koolwaterstoffen [4]. Ook kunnen zij zijn gevormd door blauw-groene algen en Actinomyceten [5].

De concentratie aan smaakstoffen die het rivierwater bij een bepaald innamepunt langs de rivier bezit wordt geheel afkomstig gedacht van de smaakstoflozingen die stroomopwaarts plaatsvinden. Door menging van het geloosde afvalwater met rivierwater zal een sterke verdunning optreden. In het vervolg is deze verdunning als lineair afhankelijk van de rivierafvoer beschouwd.

Naast deze verdunning zal bij een constante lozing van smaakstoffen het smaakgetal van het rivierwater bij het innamepunt mede worden bepaald door smaakreducerende processen, zoals verdamping en biochemische oxidatie, die zich voltrekken tijdens het verblijf van de smaakstoffen in de rivier. Het effect van deze smaakreductie op het resterende smaakgetal zal afhankelijk zijn van de temperatuur van het water en de verblijftijd. De smaakreductie zal groter zijn naarmate de temperatuur hoger is en de verblijftijd langer.

De versnelling van de smaakreductie bij verhoogde temperatuur en een bepaalde verblijftijd in een rivier is in afb. 1 geïllustreerd. In deze afbeelding is het geval weergegeven dat de smaakreductie analoog verloopt met de reductie van het biochemisch zuurstofverbruik. De vermelde waarden van de versnellingsfactor f gelden ten opzichte van een temperatuur van 5 °C.

Bezit het rivierwater dat 's winters het te beschouwen innamepunt passeert een smaakgetal S_1 dan zal, wanneer sedimentatie en algengroei een te verwaarlozen invloed op de smaak uitoefenen, in het algemeen voor het smaakgetal S_2 in een zomermaand gelden:

$$S_2 = \frac{\alpha}{f} \cdot S_1 \quad (1)$$

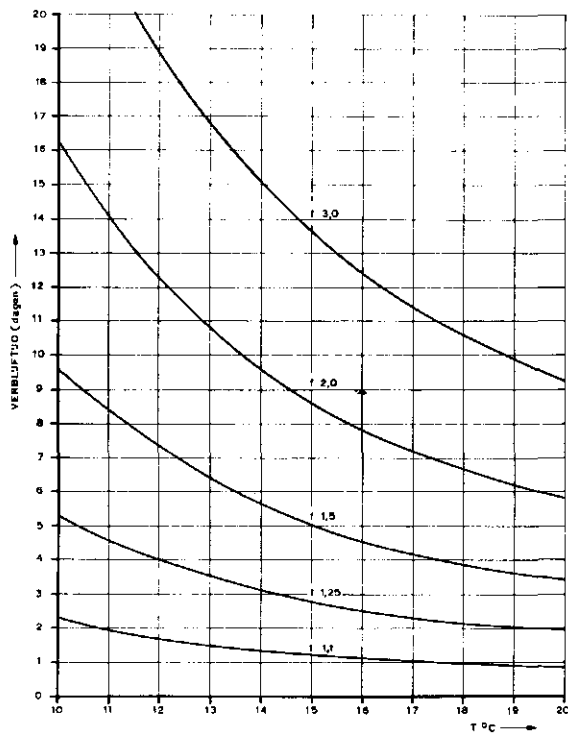
waarin:

S_1 = smaakgetal bij debiet Q_1 en temperatuur T_1
 S_2 = smaakgetal bij debiet Q_2 en temperatuur T_2 zodanig dat $Q_2 < Q_1$ en $T_2 > T_1$

α = factor waarmee de verdunning afneemt ($\alpha = Q_1/Q_2$).

f = factor waarmee de intensiteit van de smaakreducerende processen in de rivier toeneemt bij de gewijzigde omstandigheden (Q_2 en T_2).

Nagegaan zal worden hoe de factor f in formule (1), dus de versnelling van de smaakreducerende processen, wordt bepaald door verdamping en biochemische oxidatie. Hierbij wordt ervan uitgegaan dat naast de bovengenoemde aannamen het water steeds voldoende zuurstofrijk is om anaerobe reuk- en smaakstofvorming door vissterfte en microbiologische reductieprocessen te voorkomen.



Afb. 1 - Versnellingsfactor f voor de smaakreductie ten gevolge van biochemische oxidatie bij constante verblijftijden t.o.v. $T = 5^\circ\text{C}$.

2. De invloed van biochemische oxidatie op het smaakgetal

Voor de berekening van de invloed van biochemische oxidatie op de smaakstoffenconcentratie van rivierwater wordt aangenomen dat dit oxidatieproces op analoge wijze verloopt als de reductie van de BOD van rivierwater [6 en 7]. Bij de berekening van deze invloed wordt verdamping van vluchtige smaakstoffen verwaarloosd. Wanneer op een bepaalde plaats smaakstoffen in het oppervlaktewater worden geloosd tot een concentratie S_0 dan geldt na een verblijftijd t voor de smaakstoffenconcentratie het verband:

$$S_t = S_0 e^{-kt} \quad (2)$$

waarin:

S_0 = smaakstoffenconcentratie bij lozingspunt

S_t = smaakstoffenconcentratie na een gemiddelde verblijftijd van t dagen

k = oxidatiesnelheidsconstante waarvoor de onderstaande afhankelijkheid van de temperatuur T ($^\circ\text{C}$) wordt aangenomen [7, 8 en 20]:

$$k = 0,23 e^{0,046(T-20)} \quad (3)$$

Met behulp van formule (2) is voor het smaakgetal in de winter bij maximale afvoer Q_1 en minimale temperatuur T_1 af te leiden:

$$S_{t_1} = S_0 e^{-k_1 t_1}$$

terwijl voor het smaakgetal onder zomerse condities bij een verlaagde afvoer Q_2 , een verhoogde temperatuur T_2 en een eventueel verhoogde verblijftijd t_2 is te schrijven:

$$S_{t_2} = \alpha S_0 e^{-k_2 t_2}$$

$$\text{waarin } \alpha = \frac{Q_1}{Q_2}$$

Substitutie van deze twee smaakgetallen in vergelijking (1) geeft voor de versnellingsfactor van de biochemische oxidatie:

$$f_{ox} = \frac{\alpha S_{t_1}}{S_{t_2}} = e^{k_2 t_2 - k_1 t_1} \quad (4)$$

Wanneer de verblijftijd constant mag worden gesteld bij variërende afvoer is formule (4) te schrijven als:

$$(f_{ox})^t = \text{const} = e^{(k_2 - k_1) t}$$

Na substitutie van formule (3) voor de oxidatiesnelheidsconstanten k_1 en k_2 is voor het temperatuurgebied

$4^\circ < T_1 < 5^\circ$ en $5^\circ < T_2 < 22^\circ$ de versnellingsfactor van de biochemische oxidatie bij benadering gelijk aan:

$$(f_{ox})^t = \text{const} = e^{(0,065 + 0,0076(T_2 - 13)) t} \quad (5)$$

Dit verband is afgeleid, uitgaande van de benadering $e^x \approx 1 + x$ voor $x \ll 1$. Formule (5) is in afbeelding 1 weergegeven.

3. De invloed van verdamping op het smaakgetal

In analogie met gasabsorptie in water [9] geldt voor de verdamping van een vluchtige smaakstof:

$$\frac{dC_w}{dt} = -k_w \cdot \frac{O}{V} \cdot (C_w - m C_l) \quad (6)$$

waarin:

C_w = smaakstofconcentratie in waterfase

C_l = smaakstofconcentratie in luchtfase

m = verdelingscoëfficiënt smaakstof over beide fasen

k_w = partiële stofoverdrachtscoëfficiënt in waterfase (m/s)

O = oppervlak water-lucht grensvlak (m^2)

V = watervolume (m^3)

t = verblijftijd (s)

Bij verwaarlozing van biochemische oxidatie kan voor de algemene vergelijking van de smaakstoffenconcentratie bij een beginconcentratie op het lozingspunt van S_0 na een verblijftijd van t seconden worden geschreven:

$$S_t = S_0 e^{-k_w \cdot \frac{O}{V} \cdot t} \quad (7)$$

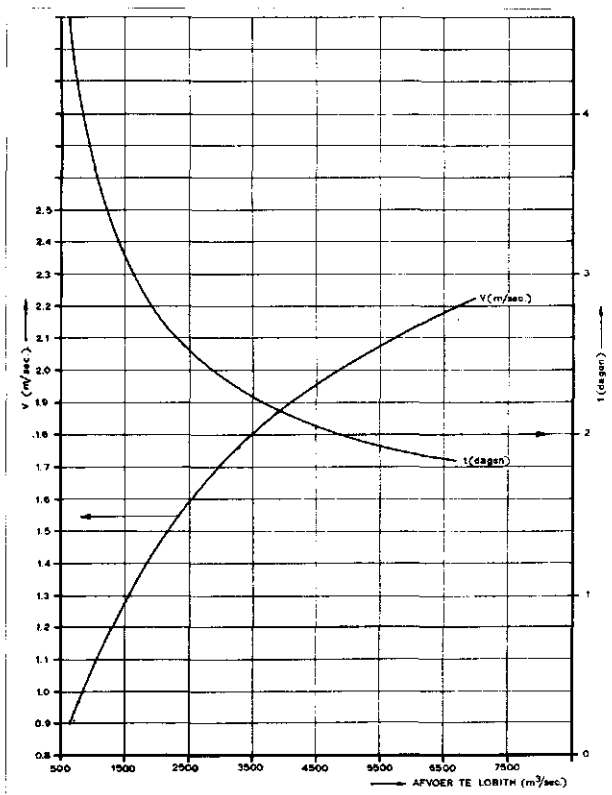
indien alleen die smaakstoffen als vluchtig worden beschouwd welke voldoen aan de voorwaarde $C_w \gg m C_l$.

Daar de partiële stofoverdrachtscoëfficiënt k_w in orde van grootte 10^{-4} m/s bedraagt [9] en de verhouding $\frac{O}{V}$ voor de grote rivieren in het algemeen op $0,20 \text{ m}^{-1}$ mag worden gesteld, geldt voor de grootte-orde van formule (7) wanneer t in dagen wordt uitgedrukt:

$$S_t = S_0 e^{-2t} \quad (8)$$

Vergelijking met de grootte-orde van formule (2) voor de biochemische oxidatie:

$$S_t = S_0 e^{-0,2t}$$



Afb. 2 - Model voor gemiddelde stroomsnelheid en verblijftijd van smaakstoffen in de Rijn bij variabele afvoer te Lobith.

geeft dat een bepaalde reductie in de concentratie van de beschouwde vluchtige smaakstoffen 10 maal sneller is voltooid dan een even grote reductie in het gehalte aan weinig vluchtige biochemische oxideerbare smaakstoffen. In een rivier zullen dus de meer persistente, weinig vluchtige smaakstoffen bepalend zijn voor het resulterende smaakgetal van het rivierwater bij het onttrekkingspunt. Om deze reden kan voor de algemene vergelijking van de versnellingsfactor f van de smaakreducerende processen in een rivier vergelijking (4) aangehouden worden:

$$f = e^{k_2 t_2 - k_1 t_1} \quad (9)$$

waarin k is vastgelegd door vergelijking (3).

4. De Rijn

Het algemene karakter van de Rijn is dat van een natuurlijke, ongestuwde rivier.

De verontreiniging van de Rijn met organische stoffen vangt aan ter hoogte van Lauterbourg (km 350) waarna de vervuiling voortschrijdt tengevolge van lozingen van grote steden als Karlsruhe, Mannheim, Mainz, Koblenz, Köln en Duisburg en vooral doordat sterk verontreinigde zijrivieren als de Neckar, Main, Mosel, Wupper en de Ruhr in de Rijn uitmonden [12 en 13]. Wanneer een onttrekkingspunt van Rijnwater wordt beschouwd in midden Nederland dan kan worden gesteld dat over het traject km 350—km 950 een voortdurende lozing van afvalstoffen plaatsvindt. Wordt de totale lozing geconcentreerd gedacht op één punt dan zou dit halverwege het lozingstraject ofwel bij km 650 zijn gesitueerd.

Het is alleen toegestaan het gemiddelde lozingspunt halverwege het totale lozingstraject te plaatsen wanneer de stroomsnelheid over het traject constant is en wanneer

de beschouwde stof tijdens verblijf in de rivier niet aan het water wordt onttrokken of wordt ontleed.

Afwijkingen van de berekende plaats van het lozingspunt veroorzaakt door verblijftijdspreiding zullen hier buiten beschouwing worden gelaten. Hoewel niet correct zal de stroomsnelheid (v) over het lozingstraject constant worden verondersteld.

Door de afbraak van smaakstoffen tijdens het verblijf in de rivier zal het gemiddelde lozingspunt van de smaakstoffen die bij het onttrekkingspunt worden aangetroffen minder ver stroomopwaarts zijn gelegen dan halverwege het totale lozingstraject.

De gemiddelde lozingsafstand die behoort bij het referentie smaakgetal S_1 gedurende een wintermaand zal zodoende voor de biochemische afbraak moeten worden gecorrigeerd bij grote afwijkingen.

Verloopt de biochemische afbraak volgens formule (2), bedraagt de lengte van het lozingstraject L km en wordt een totale hoeveelheid smaakstoffen geloosd van P kg/sec., regelmatig verdeeld over deze afstand, dan kan de afstand (l) van het gemiddelde lozingspunt tot het innamepunt worden berekend uit de vergelijking:

$$\bar{l} \int_0^L \left(\frac{P}{L} \cdot e^{-kt} \right) dl = \int_0^L l \cdot \left(\frac{P}{L} \cdot e^{-kt} \right) dl.$$

Na substitutie van $t = \frac{l}{v}$ en integratie geeft dit:

$$\bar{l} = L \left(\frac{1}{\frac{kL}{v}} - \frac{1}{e^{\frac{kL}{v}} - 1} \right)$$

Voor waarden van $\frac{kL}{v} < 1$, waaraan in de winterperiode voor Rijn en Maas steeds wordt voldaan, blijkt \bar{l} te variëren van 0,4 L —0,5 L , zodat het gemiddelde lozingspunt bij benadering steeds halverwege het totale lozingstraject mag worden gekozen.

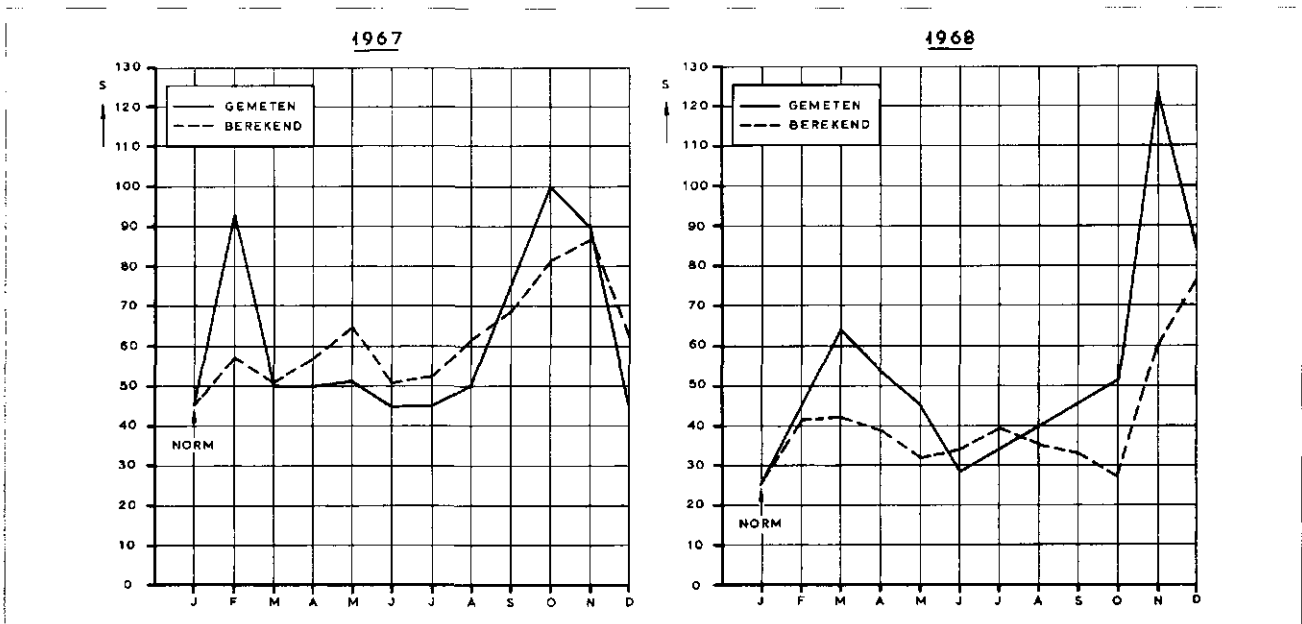
Tenslotte moet de plaats van het gemiddelde lozingspunt wel worden gecorrigeerd voor lozingen op de zijrivieren daar deze een zekere verblijftijd verkrijgen alvorens zij de Rijn bereiken. Het gemiddelde lozingspunt moet zodoende op grotere afstand worden vastgelegd dan km 650. Om deze reden wordt als gemiddeld lozingspunt een plaats overeenkomend met km 600 genomen.

Het bovenstaande resumerend zal voor de Rijn een afstand tussen gemiddeld lozingspunt en onttrekkingspunt van 950 — 600 = 350 km worden aangehouden.

Voor de berekening van de gemiddelde verblijftijd van geloosde smaakstoffen in de rivier is het noodzakelijk het verband tussen stroomsnelheid en afvoer te kennen. In Nederland kan de stroomsnelheid van de Rijn te Lobith volgens metingen van Rijkswaterstaat bij lage of hoge afvoer reeds met ruim een factor 2 variëren.

Als maatstaf voor de berekening van de gemiddelde verblijftijd zal de stroomsnelheid van de Rijn nabij Ruhrort worden genomen waar het plaatselijk aanwezige verhang het gemiddelde verhang over het traject Lauterbourg—midden Nederland (1 : 6500) benadert. De hier gemeten stroomsnelheden als functie van de afvoer te Lobith zijn in afb. 2 weergegeven [10].

De op het gemiddelde lozingspunt gebaseerde verblijftijd



Afb. 3 - Rijn te Bergambacht (Lek).

van smaakstoffen in de Rijn is eveneens in afb. 2 afgebeeld.

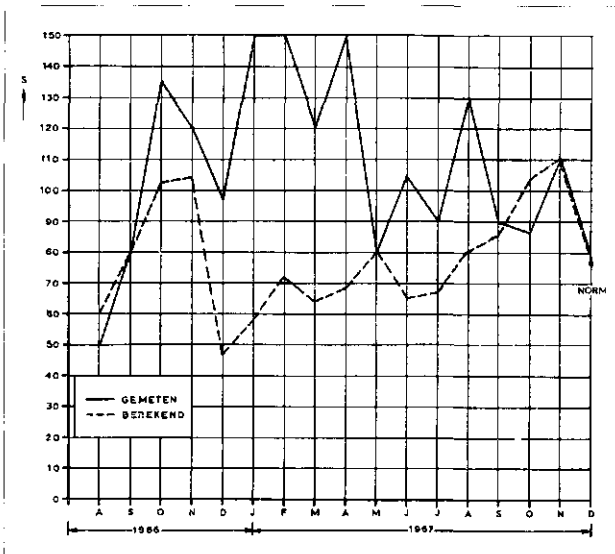
In de afb. 3 en 4 zijn gemeten en berekende smaakgetallen over de jaren 1967 en 1968 voor de Lek te Bergambacht [14 en 15] en over de jaren 1966 en 1967 voor de Oude Maas te Rotterdam [1] weergegeven.

Ten opzichte van het debiet behorend bij de in afb. 3 en 4 aangegeven normmaand werd de factor α berekend. Met behulp van afb. 2 werd voor elke maand afzonderlijk de verblijftijd bepaald.

Het gemeten gemiddelde smaakgetal in de normmaand werd genomen voor de waarde van de term S_1 uit formule (1).

Geeft het theoretische model een redelijke verklaring voor het verloop van het smaakgetal van de Lek te Bergambacht, in de Oude Maas te Rotterdam blijken grote afwijkingen op te treden gedurende de periode december 1966—april 1967. Mogelijk is de oorzaak hier-

Afb. 4 - Rijn te Rotterdam (Oude Maas) 1966/1967.



van de invloed van het getij of een toegenomen smaakstoflozing.

5. De Maas

De Maas is in Nederland alleen bij afvoeren boven 1000 m³/s een ongestuwde rivier. Beneden deze afvoer is de rivier gedeeltelijk gestuwd terwijl bij afvoeren kleiner dan 600 m³/s de Maas vanaf de Frans-Belgische grens tot Lith geheel is gestuwd.

De belangrijkste organische vervuiling van de Maas begint bij Namen waar de Sambre in de Maas stroomt. Wegens het verblijf van geloosde smaakstoffen in zijrivieren als de Sambre, de Ourthe en de Jeker wordt als beginpunt van de organische vervuiling van de Maas de Frans-Belgische grens genomen welke op een trajectafstand van 350 km van de monsterplaats Empel is gelegen.

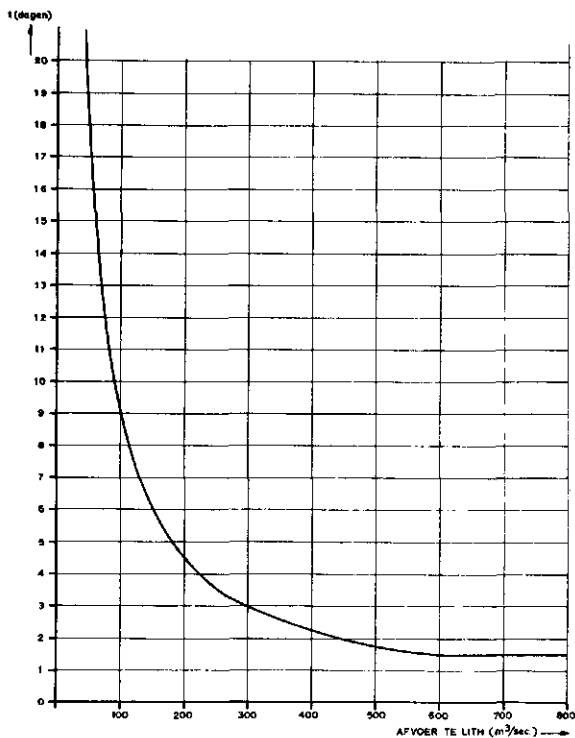
Voor de gestuwde Maas geldt dat de verblijftijd afhankelijk zal zijn van de afvoer Q (m³/s) en het water-volume V (m³) in de gestuwde panden. De gemiddelde verblijftijd t (s) van geloosde smaakstoffen kan nu worden benaderd volgens:

$$t = 0,5 \frac{V}{Q}$$

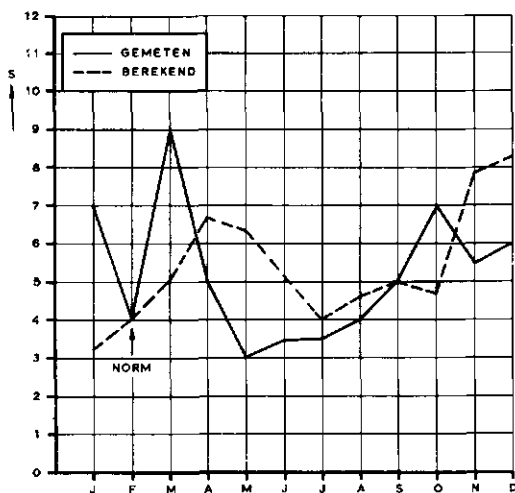
Bij een gemiddelde diepte van 4,5 m en een gemiddelde breedte van 100 m bedraagt de grootte van het water-volume van het lozingstraject: $1,6 \cdot 10^8$ m³. Voor het verband tussen de gemiddelde verblijftijd in dagen en de afvoer geldt zodoende:

$$t = \frac{900}{Q} \quad (10)$$

Formule (10) is alleen geldig als de Maas geheel is gestuwd. Teneinde het model zo eenvoudig mogelijk te houden wordt de gemiddelde verblijftijd bij afvoeren groter dan 600 m³/s op een constante waarde van 1,5 dagen gesteld.



Afb. 5 - Model voor gemiddelde verblijftijd van smaakstoffen in de Maas bij variabele afvoer te Lith.



Afb. 6 - Maas te Empel in 1968.

Ter vergelijking kan de looptijd van hoogwatergolven dienen, welke volgens Van der Made [16] circa 2 dagen bedraagt bij afvoeren van 600–1000 m³/s voor het traject Borgharen—Lith. Het verhang over dit traject is ongeveer de helft van de gemiddelde waarde die geldt voor het totale lozingstraject, zodat in orde van grootte de gemiddelde looptijd van hoogwatergolven en de aangehouden gemiddelde verblijftijd bij deze hoge afvoeren met elkaar in overeenstemming zijn.

In afb. 5 is de gemiddelde verblijftijd van smaakstoffen in de Maas als functie van de afvoer te Lith weergegeven.

Met behulp van afb. 5 is op analoge wijze als bij de Rijn het smaakgetal berekend voor de Maas te Empel [15] over 1968 (zie afb. 6).

Verschillen tussen berekende en gemeten smaakgetallen worden waarschijnlijk veroorzaakt doordat de lozing van smaakstoffen niet steeds constant is.

6. Berekening van het smaakgetal van Rijn en Maas voor droge en zeer droge jaren

Met behulp van de gegevens over afvoercharacteristieken van de Rijn te Lobith [11] en de Maas te Lith [17] is het mogelijk aan de hand van bovenstaande modellen een voorspelling te doen betreffende het verloop van het smaakgetal in droge en zeer droge jaren. Hierbij wordt voor het Rijnwater en het Maaswater een zelfde temperatuurverloop aangenomen dat onafhankelijk wordt verondersteld van het voorkomen van natte of zeer droge jaren. De gebruikte waarden zijn in tabel I samengevat.

TABEL I. *Temperatuurverloop voor Rijn en Maas*

| Maand | januari | februari | maart | april | mei | juni | juli | augustus | september | oktober | november | december |
|-------|---------|----------|-------|-------|-----|------|------|----------|-----------|---------|----------|----------|
| T °C | 4 | 5 | 7 | 10 | 15 | 18 | 21 | 20 | 18 | 14 | 8 | 5 |

Voor de berekening van α werd de maand februari, welke de hoogste gemiddelde afvoer bezit, aangehouden.

De veranderingen in de verhouding α/f , ofwel in de verhouding $\frac{S_2}{S_1}$ zijn voor Rijn en Maas in de afb. 7 en 8

weergegeven voor een 50 % normaal jaar, een 10 % droog jaar en een 2 % zeer droog jaar. Uit deze afbeeldingen blijkt dat door de grote invloed van het gestuwde karakter van de Maas op de verblijftijd, de variatie van het smaakgetal van de Maas, ondanks de sterkere variatie in afvoer, in orde van grootte gelijk blijft aan de variatie van het smaakgetal van de Rijn.

De gunstige kwaliteit van het Maaswater t.o.v. het Rijnwater wat betreft de smaak zal dus ook in een zeer droog jaar gehandhaafd blijven. Ter illustratie dient afb. 9 waarin voor een smaakgetal van 50 van Rijnwater bij een afvoer te Lobith van 3800 m³/s in februari en een smaakgetal van 5 van Maaswater bij een afvoer te Lith van 900 m³/s in februari, het verloop van het smaakgetal is uitgezet voor een 2 % zeer droog jaar.

Globaal zal het smaakgetal van Rijnwater dus steeds een factor 10 maal hoger zijn dan het smaakgetal van Maaswater, ook in zeer droge jaren.

Wanneer men het tijdstip vergelijkt waarop het smaakgetal en het chloridegehalte van de rivieren maximaal worden, dan blijkt zich bij de Rijn de omstandigheid voor te doen dat beide maxima vrijwel samen vallen [11]. Voor de Maas geldt dat het berekende maximum van het smaakgetal 2 à 3 maanden later optreedt dan het maximale chloridegehalte dat medio september te verwachten is [17].

Hoewel de hier berekende smaakgetallen van Rijn en Maas in droge en zeer droge jaren geen directe aanleiding geven tot bijzondere maatregelen ten aanzien van

de zuivering en de voorraadvorming moet worden gesteld dat de smaak van Rijn- en Maaswater in droge jaren wel kan worden bedreigd door o.a. smaakstofvorming als gevolg van anaerobie [18].

7. Kwaliteitsverbetering ten aanzien van de smaak in doorstroombekkens

Evenals bij rivieren zal de kwaliteitsverbetering van oppervlaktewater wat betreft de smaak tijdens het verblijf in een doorstroombekken worden bepaald door biochemische oxidatieprocessen. Voor het smaakgetal S_t na een verblijftijd van t dagen in het bekken geldt zodoende formule (2):

$$S_t = S_0 e^{-kt}$$

Huisman en Martijn [19] hebben aan de hand van de op analoge wijze verlopende vermindering van het aantal pathogene bacteriën in een doorstroombekken afgeleid dat bij een volledig gemengd bekken voor de kwaliteits-

verbetering $R' = \frac{S_0}{S_t}$ zal gelden:

$$R' = 1 + kT' \quad (13)$$

met

$$T' = \text{gemiddelde verblijftijd in dagen d.w.z. } T' = \frac{V}{Q}$$

waarin V de bekkeninhoud en Q de stroomsterkte is.

Voor een doorstroombekken bestaande uit n in serie geschakelde reservoirs, met in ieder reservoir volledige menging, is door hen eveneens afgeleid:

$$R'' = \left(1 + k \frac{T'}{n}\right)^n \quad (14)$$

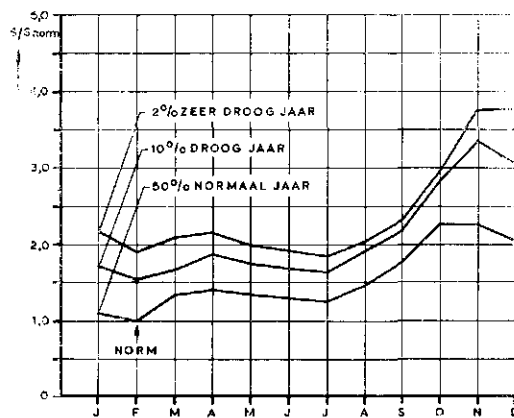
Bij het afleiden van formule (13) en (14) is ervan uitgegaan dat het bekken wordt gevoed met water van een constante kwaliteit. Worden steeds perioden van een maand beschouwd dan kan voor verdringingsbekkens de berekening van de kwaliteitsverbetering met formule (14) direct worden uitgevoerd wegens de geringe verblijftijdspreading.

Voor een mengbekken moet echter de verblijftijdspreading wel in rekening worden gebracht ten aanzien van de waarde die aan S_0 wordt toegekend. Daar de menging in vergelijking met het effect van de zelfreiniging vaak van ondergeschikt belang is zal de invloed van menging op het smaakgetal zeer globaal worden berekend.

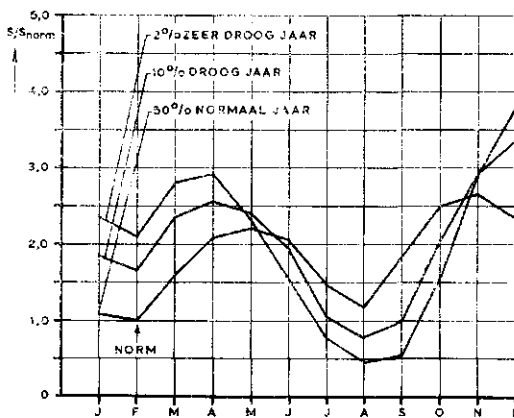
Hiertoe is ter bepaling van S_0 geen onderscheid gemaakt tussen een mengbekken en een verdringingsbekken wanneer de gemiddelde verblijftijd 30 dagen bedraagt. Bij mengbekkens met gemiddelde verblijftijden van 60 en 120 dagen is S_0 berekend volgens de methode van het voortschrijdende gemiddelde. De fout die zodoende optreedt komt hierop neer dat 36–37% van de inhoud van een mengbekken langer in het bekken verblijft dan de gemiddelde verblijftijd aangeeft.

Voor situaties waarin een nauwkeuriger beschrijving van de menging is gewenst kan gebruik worden gemaakt van het artikel van Huisman en Martijn [19] waar in afb. 9 de basisgegevens zijn weergegeven voor de leeftijdsopbouw van de inhoud van een mengbekken.

Wanneer voor het Berenplaatreservoir van de Drinkwaterleiding van Rotterdam [1] formule (14) met $n = 7$, $T' = 30$ dagen en met $k = 0,23 e^{0,046(T-20)}$ wordt toe-

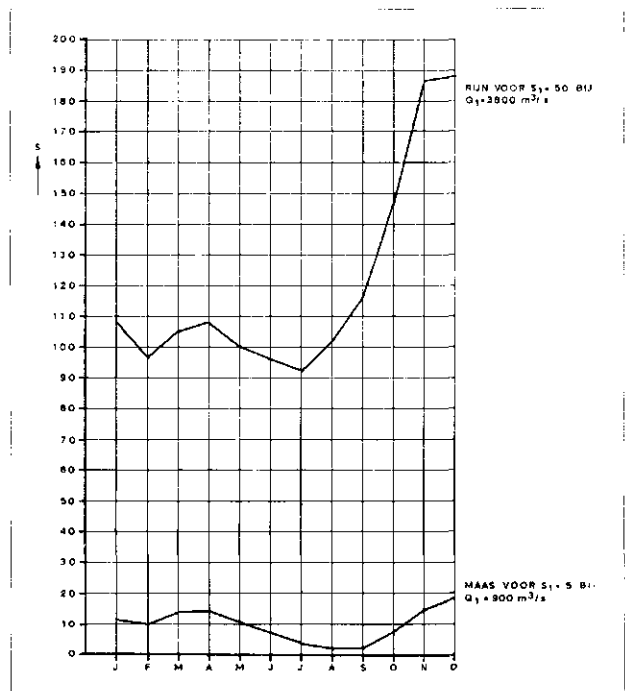


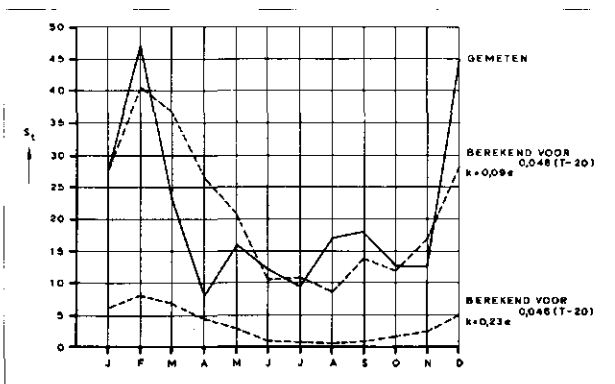
Afb. 7 - Verandering smaakgetal in de Rijn in Midden-Nederland voor een normaal, een droog en een zeer droog jaar.



Afb. 8 - Verandering smaakgetal in de Maas in Midden-Nederland voor een normaal, een droog en een zeer droog jaar.

Afb. 9 - Smaakgetal van Rijn en Maas in Midden-Nederland voor een 2% zeer droog jaar.





Afb. 10 - Smaakgetal water uit Berenplaatreservoir na 30 dagen verblijftijd in 1967.

gepast dan blijkt zoals afb. 10 weergeeft de smaakreductie minder snel te verlopen dan berekend. In afb. 10 is het berekende smaakgetal voor

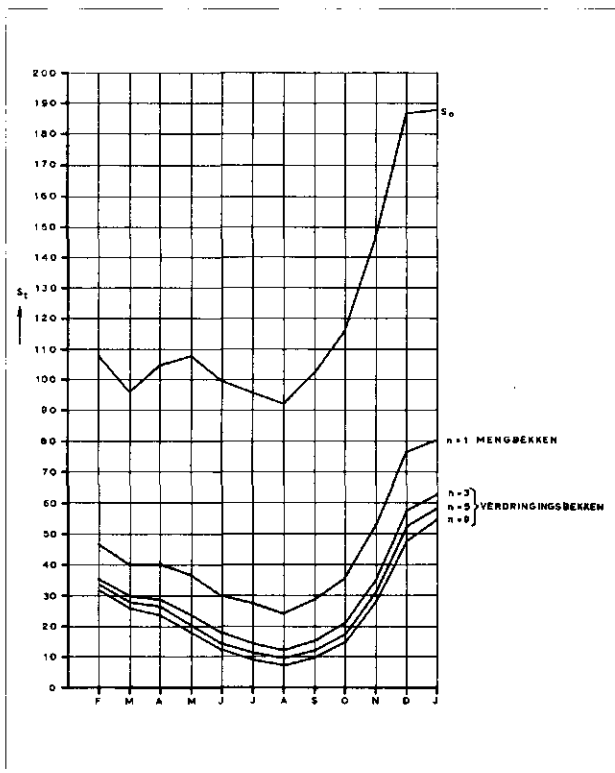
$$k = 0,09 e^{0,046(T-20)} \quad (15)$$

eveneens afgebeeld.

Met deze lagere k-waarde wordt het verloop van de smaakreductie in het bekken aanzienlijk beter beschreven zodat kan worden geconcludeerd dat de biochemische aantastbaarheid van de smaakstoffen in het reservoir geringer is dan van de smaakstoffen in de rivier of dat de afbraak wordt geremd door vermindering van het grensvlakoppervlak tussen vaste en vloeibare fase als gevolg van sedimentatie.

Hoewel de mogelijkheid niet is uitgesloten dat bij deze lagere k-waarde sprake is van een incidenteel geval moet

Afb. 11 - Smaakgetal van Rijnwater in 2% zeer droog jaar na 30 dagen verblijftijd in enige tijpen doorstroombekkens.



er rekening mee worden gehouden dat de nog aanwezige smaakstoffen in een met rivierwater gevoed bekken tot de meer persistente weinig vluchtige en biochemische moeilijk oxideerbare smaakstoffen kunnen behoren.

Om deze reden is bij onderstaande berekeningen voor doorstroombekkens formule (15) voor de oxidatiesnelheidsconstante aangehouden.

Daar de Rijn het sterkst wordt belast met smaakstoffen is voor de in de vorige paragraaf berekende te verwachten smaakgetallen van Rijnwater in een 2% zeer droog jaar de invloed op de kwaliteitsverbetering nagegaan voor een met dit water gevoed doorstroombekken bij

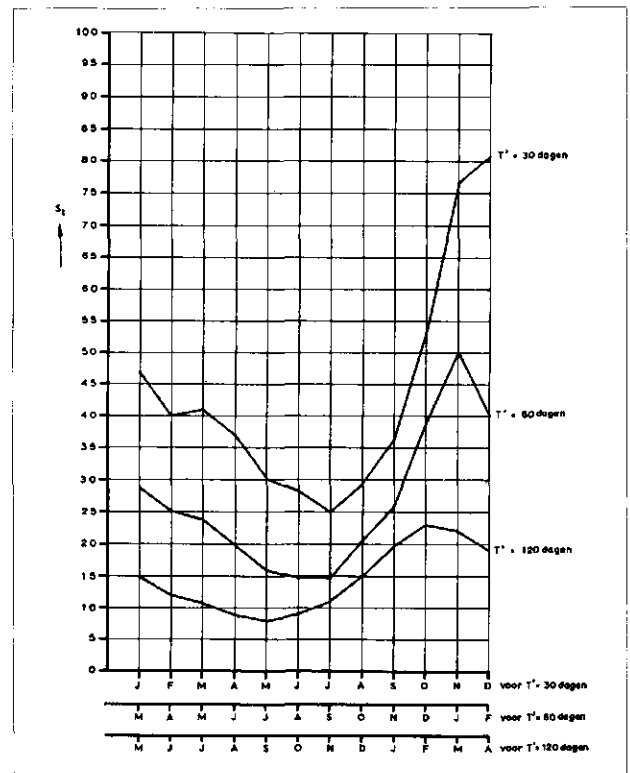
- vervanging van een mengbekken door n in serie geschakelde bekkens (afb. 11)
- verlenging van de verblijftijd (afb. 12 en 13)
- verhoging van de temperatuur (afb. 14).

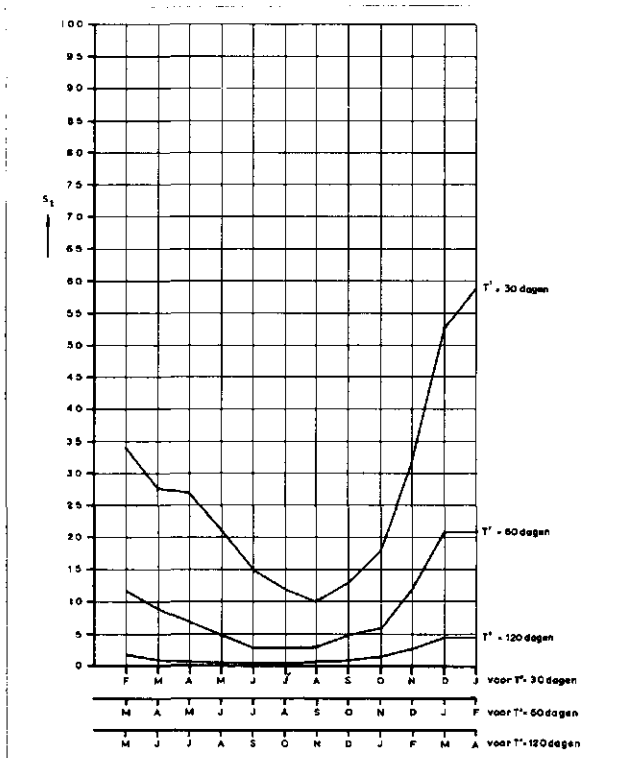
Voor het temperatuursverloop in het bekkenwater zijn de gemiddelde temperaturen berekend met behulp van tabel I.

Uit de vier afbeeldingen blijkt ten aanzien van de smaakverbetering duidelijk dat een aantal in serie geschakelde mengbekkens ofwel een verdringingsbekken de voorkeur verdient boven een mengbekken. Ook is het effect van een verlengde gemiddelde verblijftijd en een verhoogde temperatuur groter in een verdringingsbekken.

Ten opzichte van de invloed van een verdubbeling van de gemiddelde verblijftijd zal de invloed van een temperatuurverhoging betrekkelijk gering zijn. Een temperatuurstijging van 5 °C bij een doorstroombekken met een gemiddelde verblijftijd van 30 dagen komt globaal overeen met een verlenging van de verblijftijd met een week. Tenzij verdringingsbekkens met een lange gemiddelde verblijftijd van meerdere maanden worden toegepast zul-

Afb. 12 - Invloed van verblijftijd op het smaakgetal van water uit een mengbekken gevoed met Rijnwater in een 2% zeer droog jaar.





Afb. 13 - Invloed van verblijftijd op het smaakgetal van water uit een verdringingsbekken ($n = 5$) gevoed met Rijnwater in een 2% zeer droog jaar.

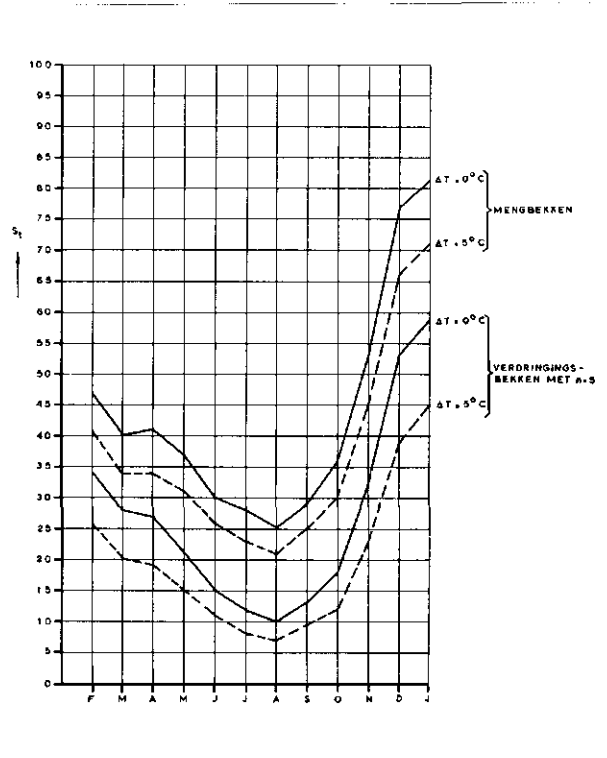
len chemische zuiveringstechnieken als ozonisatie en adsorptie aan actieve kool noodzakelijk blijven voor de bereiding van bijsmaakvrij drinkwater uit Rijnwater. Daar het smaakgetal van Maaswater globaal een factor 10 maal lager is dan dat van Rijnwater zou bij de huidige belasting met smaakstoffen volgens afb. 13 door middel van een verdringingsbekken met een gemiddelde verblijftijd van circa 3 maanden uit Maaswater steeds praktisch bijsmaakvrij water zijn te bereiden, indien de door biochemische processen gevormde smaakstoffen te verwaarlozen zijn. Dit zal echter bij lage waarden van het smaakgetal niet meer het geval zijn, zodat zowel bij de Maas als bij de Rijn chemische en fysische smaakverwijdering onmisbaar zal blijven.

Hoewel bij vorenstaande reeds rekening is gehouden met biochemisch moeilijk oxideerbare smaakstoffen bestaat de mogelijkheid dat naarmate de verblijftijd in een spaarbekken toeneemt de biochemische oxideerbaarheid van de resterende smaakstoffen geringer is, hetgeen het effect van een verlengde verblijftijd op de kwaliteitsverbetering zal doen afnemen.

8. Samenvatting

De smaak van rivierwater zal in hoofdzaak afkomstig zijn van weinig vluchtige smaakstoffen daar vluchtige smaakstoffen relatief veel sneller in concentratie afnemen dan de weinig vluchtige biochemisch oxideerbare smaakstoffen. Zodoende kan de reductie van smaakstoffen in de rivieren Rijn en Maas worden beschreven aan de hand van een model voor het biochemische oxidatieproces met als parameters de afvoer, de watertemperatuur en de gemiddelde verblijftijd van de smaakstoffen.

Toetsing van dit model aan de nog in beperkte mate beschikbare gegevens leidt tot de conclusie dat smaak-



Afb. 14 - Invloed van verhoogde temperatuur op het smaakgetal van water uit een doorstroombekken gevoed met Rijnwater in een 2% zeer droog jaar na een verblijftijd van 30 dagen.

getallen met een redelijke betrouwbaarheid kunnen worden berekend mits de hoeveelheid geloosde smaakstoffen in voldoende mate constant blijft over een periode van een jaar.

In een normaal jaar zijn voor de Rijn en de Maas minimale waarden voor het smaakgetal te verwachten in de periode januari—februari en maximale waarden in de maand november.

Tijdens droge en zeer droge jaren kan voor de Rijn een minimaal smaakgetal optreden in de maand juli en voor de Maas in de maand augustus terwijl voor beide rivieren het smaakgetal maximaal zal zijn in de periode november—december.

Ondanks de relatief grote variaties in afvoer die de Maas vertoont zal door het gestuwde karakter van deze rivier de variatie in smaakgetal in orde van grootte gelijk zijn aan de variatie in smaakgetal van Rijnwater. Daarom zal zowel in zeer droge als normale jaren het smaakgetal van Maaswater globaal een factor 10 maal lager zijn dan dat van Rijnwater, in de huidige situatie. Wanneer in de toekomst stuwen in de Rijn worden geplaatst kan dit een verbetering van de smaak tot gevolg hebben.

Een maximale smaakverbetering bij doorstroombekkens kan worden bereikt door deze als verdringingsbekkens in te richten.

De resterende smaakstoffen die aanwezig zijn in een met rivierwater gevoed bekken kunnen tot de meer persistente, weinig vluchtige en biochemisch moeilijk oxideerbare stoffen behoren. In dit geval zal de smaakverbetering tijdens verblijf in een bekken minder snel verlopen dan in de rivier. Te verwachten is dan ook dat voor het verkrijgen van bijsmaakvrij water uit Rijnwater door middel van het zelfreinigingsproces een verdringingsbekken met

een gemiddelde verblijftijd van een half jaar of langer noodzakelijk zal zijn.

Voor een met Maaswater gevoed bekken is te verwachten dat bijsmaakvrij water kan worden bereid bij een gemiddelde verblijftijd in een verdringingsbekken van ongeveer 3 maanden, afgezien van smaakproductie door algen en dergelijke.

Verdere optimalisering van de smaakverbetering door zelfreiniging is vooral bij kortere verblijftijden dan een maand mogelijk door vergroting van de inhoud van het verdringingsbekken.

Het reinigende effect van een permanente verhoging van de temperatuur van het water in een bekken met 5 °C is ten opzichte van een verlenging van de verblijftijd van een maand tot twee maanden relatief gering, terwijl het gevaar voor microbiologische smaakproductie toeneemt. Het is deze mogelijke microbiologische smaakproductie door algen en Actinomyceten die de aanwezigheid van kunstmatige smaakverwijderingsprocessen ook bij voorraadbekken met lange verblijftijden nodig maakt.

Dankbetuiging

Gaarne wil ik prof. ir. L. Huisman danken voor zijn waardevolle opmerkingen tijdens het tot stand komen van deze studie.

Literatuur

1. Rook, J. J., Oskam, G., *H₂O* 2 (1969) no. 11, 269-278.
2. Holluta, J., Kölle, W., *GWF* 108 (1967) 370-373.
3. Linden, A. C. v. d., Thijssse, G. J. E., *Adv. Enzymol.* 27 (1965) 469-538.
4. Koppe, P., *Gewässerschutz, Wasser, Abwasser* 2 (1968), 45.
5. Medsker, L. L., Jenkins, D., Thomas, J. F., *Envir. Sci. Technol.* 2 (1968) 461-464.
6. Streeter, H. W., *Proceedings of a Seminar of the Sanitary Eng. Center. Technical Report W 58-2*, (1958) Ohio, 25-32.
7. Gameson, A. L., Barrett, M. J., *Proc. Sem. San. Eng. Center, Technical Report W 58-2*, (1958) Ohio, 63-91.
8. Gotaas, H. B., *Sewage Wks J.* 20 (1948) 441.
9. Beek, W. J., *H₂O* 1 (1968) no. 19, 436-445.
10. Duitse metingen, ter beschikking gesteld door RWS Dir. Bovenrivieren, afdeling Studiedienst.
11. Martijn, Th. G., *Water* 51 (1967) 76.
12. Molt, E. L., TH Delft, Afdeling Weg- en Waterbouwkunde, *Vakantie cursus* 13 (1961) 46-71.
13. Kölle, W., TH Karlsruhe, *Veröffentlichungen der Abteilung Wasserchemie*, 4 (1969) 59-86.
14. Jaarverslag Duinwaterleiding van 's-Gravenhage (1967).
15. Gegevens ter beschikking gesteld door Duinwaterleiding van 's-Gravenhage.
16. Made, J. W. van der, Rijkswaterstaat, Directie Waterhuishouding en waterbeweging, *Rapport no. 161*, (1967).
17. Martijn, Th. G., *Water* 51 (1967) 423.
18. Jansen, Ph., *Water* 52 (1969) 719.
19. Huisman, L., Martijn, Th. G., *H₂O* 1 (1968) no. 3 en 4.
20. Edeline, F., Fatticioni, H., *La tribune du CEBEDEAU* 20 (1967) 361 en 21 (1968) 89.