

De schade aan de openbare watervoorziening door de kunstmatige chloridebelasting van de Rijn

1. Inleiding

Reeds vele jaren is binnen de Internationale Commissie ter Bescherming van de Rijn tegen Verontreiniging het vraagstuk van de kunstmatige chloridebelasting van de Rijn aan de orde.

Hierbij is ook ter sprake gebracht de schade die wordt toegebracht aan de belangen die in Nederland bij de hoedanigheid van het Rijnwater zijn betrokken.

In dit verband dienen met name de belangen van land- en tuinbouw, de openbare watervoorziening en de eigen watervoorziening van de industrie te worden genoemd. Dit artikel behandelt, op globale wijze, de schade die door de kunstmatige chloridebelasting van de Rijn aan de openbare watervoorziening wordt toegebracht.

Vooraf dient te worden gesteld dat de chloridebelasting aan de Rijn slechts één van de factoren is die schade veroorzaken. De hoge belasting met organische stoffen, resulterend in een laag zuurstofgehalte, alsmede de al dan niet tot reuk- en smaakbezwaren leidende organische stoffen zijn evenzovele factoren die in ons land tot geavanceerde zuiveringstechnieken noodzakelijk zijn.

Zuiveringstechnieken die eveneens noodzakelijk zijn om een barrière te vormen tegen de mogelijk in het ruwe water aanwezige toxische stoffen.

Naast de mogelijk nog belangrijker overwegingen van milieuhygiënische aard, is het van belang te beschikken over een cijfermatige benadering van de compenserende maatregelen die in ons land moeten worden genomen om uit het verontreinigde Rijnwater drinkwater van acceptabele kwaliteit te bereiden.

Dit artikel beperkt zich zoals gezegd tot een benadering van de schade die wordt ondervonden van de kunstmatige chloridebelasting. Het verdient aanbeveling om te gelegener tijd ook de schade veroorzaakt door de genoemde organische stoffen en eventueel andere bestanddelen nader te kwantificeren. Op deze manier kan immers nogmaals met klem worden benadrukt van welke betekenis preventieve maatregelen, ter bestrijding van de verontreiniging van de Rijn, zullen zijn.

In de volgende beschouwingen zal vooral aandacht worden besteed aan het gebruik van Rijnwater met inschakeling van open bekkens. Deze werkwijze is reeds nauwkeurig geanalyseerd in de bijlagen 9 en 10 van de nota „De toekomstige drinkwatervoorziening van Nederland”, Staatsuitgeverij, 1969.

Gebruik van Rijnwater als grondstof voor de openbare watervoorziening impliceert dat steeds zal moeten worden beschikt over een voorraad, om in perioden dat geen water uit de rivier kan worden ingenomen, een ongestoorde waterlevering te kunnen garanderen.

Deze perioden kunnen ontstaan wanneer zich ongelukken op de rivier voordoen waarbij giftige stoffen vrijkomen, danwel door ongecontroleerde lozingen van kwalijke stoffen. Bij lage stand van de rivier kan de verontreiniging zo sterk zijn geconcentreerd, dat de inlaat van rivierwater moet worden gestaakt. Voorraden kunnen worden aangelegd in perioden waarin aanbod van relatief goed water plaatsvindt. In het algemeen is dit het geval bij

hoge waterafvoer van de rivier. In perioden van lage waterafvoer, waarbij de kwaliteit relatief slecht is, kunnen de aangelegde voorraden worden geëxploiteerd. Genoemde voorraden kunnen intussen ondergronds worden aangelegd danwel bovengronds. De mogelijkheden voor de aanleg van ondergrondse voorraden zijn in ons land beperkt. Hier zal slechts aandacht worden besteed aan bovengrondse voorraden, aangelegd in de vorm van open, kunstmatig aangelegde spaarbekkens. Nagegaan zal worden hoe groot deze spaarbekkens zullen moeten zijn in relatie tot de kunstmatige chloridebelasting van de Rijn en een na te streven maximaal chloridegehalte van het af te leveren water. Vervolgens zullen de kosten van deze spaarbekkens worden bepaald en daarmee de schade die door deze compenserende maatregel wordt ondervonden. De aandacht zal hierbij vooral op de toekomst gericht zijn, wanneer in toenemende mate van Rijnwater gebruik zal moeten worden gemaakt.

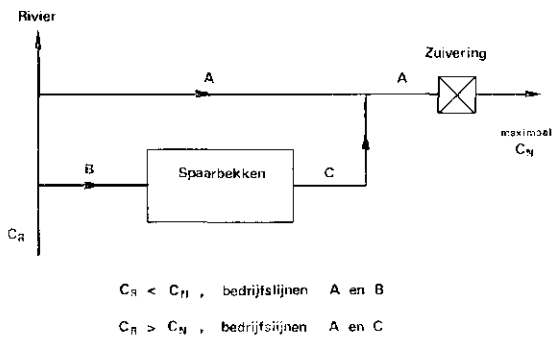
Het is geenszins de bedoeling om tenslotte met één cijfer de verwachte schade te karakteriseren. Aangegeven zal worden het verband tussen kunstmatige chloridebelasting van de Rijn, gewenst chloridegehalte van het af te leveren water, nodige inhoud van het spaarbekken en de daaruit voortvloeiende kosten.

Tenslotte moet worden opgemerkt dat de exploitatie van voorraden zeker niet de enige methode is om het chloridegehalte van het af te leveren water te beperken. Menging met grondwater van laag chloridegehalte of ontzout water kunnen evengoed tot het gewenste doel leiden. Deze laatste methodieken vallen echter buiten het bestek van dit artikel.

2. Uitgangspunten

De exploitatie van spaarbekkens kan op velerlei manieren plaatsvinden. Hier zal worden gekozen voor een exploitatiewijze waarbij de gehele bedrijfsvoering wordt ondergeschikt gemaakt aan de wens een van tevoren gekozen chloridegehalte C_N in het af te leveren water niet te overschrijden. Aangenomen is dat het spaarbekken slechts wordt gevuld in perioden dat het chloridegehalte van het Rijnwater C_R kleiner dan wel gelijk is aan C_N . In deze perioden wordt voorts aangenomen dat het water rechtstreeks, dus buiten het reservoir om, naar de zuivering kan worden gevoerd.

In perioden dat het chloridegehalte C_R groter is dan C_N wordt dit water met het water uit het spaarbekken gemengd, en wel zodanig dat op ieder ogenblik het chloridegehalte van het naar de zuivering gevoerde water gelijk is aan C_N . Ter verduidelijking is deze wijze van bedrijfsvoering schematisch in afb. 1 aangegeven. Bijlage 6 van de eerdergenoemde nota „De toekomstige drinkwatervoorziening van Nederland” behandelt de constructie van de afvoer- en chloridekarakteristieken van de Rijn voor een normaal, een droog en een zeer droog jaar. Onder een normaal jaar, een droog jaar en een zeer droog jaar worden hierbij verstaan de gefixeerde afvoerpatronen behorende bij respectievelijk totale jaarafvoeren



Afb. 1 - Gekozen schema van de bedrijfsvoering met een spaarbekken.

die gemiddeld 1 x per 2 jaar, 1 x per 10 jaar en 1 x per 50 jaar voorkomen.

Als uitgangspunt zal worden gekozen, dat ook in een droog jaar aan de te stellen wensen ten aanzien van het chloridegehalte van het af te leveren water zal kunnen worden voldaan.

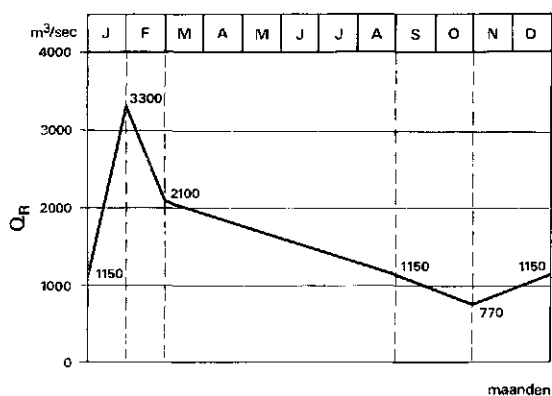
In figuur 13 van bijlage 9 van genoemde nota „De toekomstige drinkwatervoorziening van Nederland”, is een schematische weergave gegeven van het verloop van het chloridegehalte van de Rijn te Lobith in een droog jaar. Uitgangspunt hierbij was een kunstmatige chloridebelasting van de Rijn van 230 kg/sec.

Zoals bekend wordt de relatie tussen de waterafvoer van de Rijn te Lobith en het chloridegehalte aldaar bij benadering beschreven door de formule:

$$C_R = C_N + \frac{A}{Q_R} \quad (1)$$

In deze formule is C_R het chloridegehalte van de Rijn te Lobith, C_N het natuurlijk chloridegehalte, A de kunstmatige chloridebelasting en Q_R de waterafvoer van de Rijn te Lobith. Het natuurlijk chloridegehalte is gesteld op 20 mg/l.

Afb. 2 - Karakteristiek van de Rijnafvoer in een droog jaar.



A. Schematische weergave van de afvoer van de Rijn te Lobith in een droog jaar.

Met genoemde formule kan de figuur 13 worden omgevoerd tot een schematische weergave van het verloop van de waterafvoer van de Rijn te Lobith in een droog jaar.

Het resultaat van deze bewerking is weergegeven in afb. 2A. Afb. 2B geeft de cumulatieve frequentielijn weer, geconstrueerd uit afb. 2A. Hieruit kan worden afgelezen hoelang een bepaalde afvoer in een droog jaar wordt overschreden.

Met behulp van formule (1) kan nu worden nagegaan hoelang, bij verschillende waarden van de kunstmatige chloridebelasting, een bepaald chloridegehalte in een droog jaar wordt overschreden. Afb. 3 geeft hier van een beeld voor een kunstmatige chloridebelasting oplopend van 100 kg/sec tot 400 kg/sec. Geen rekening is gehouden met de wel waargenomen terughouding van zout bij lage Rijnafvoeren.

Voor ons doel zijn de met een streeplijn aangegeven verlopen geschematiseerd tot het met volgetrokken lijnen weergegeven beeld.

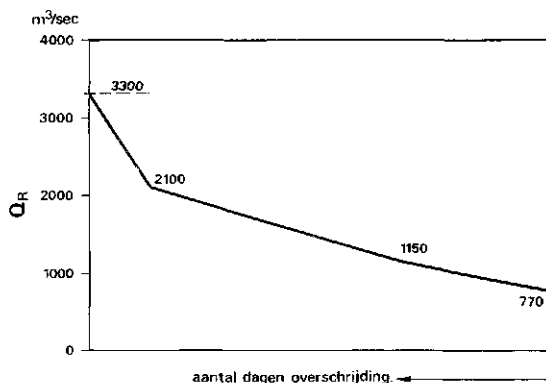
Zoals bekend is, zal de behoefte aan leidingwater in de komende decennia sterk stijgen. Naast de beperkte hoeveelheid winbaar grondwater zal in toenemende mate gebruik moeten worden gemaakt van opervlaktewater. Aangenomen is dat in de komende 30 jaren het gebruik van Rijnwater met inschakeling van spaarbekkens zal stijgen tot 1000 miljoen m³ per jaar.

In de volgende paragraaf zal een berekeningsmodel worden uitgewerkt, waarmede op eenvoudige wijze de nodige spaarbekkeninhoud voor een bedrijfsvoering in een droog jaar kan worden bepaald.

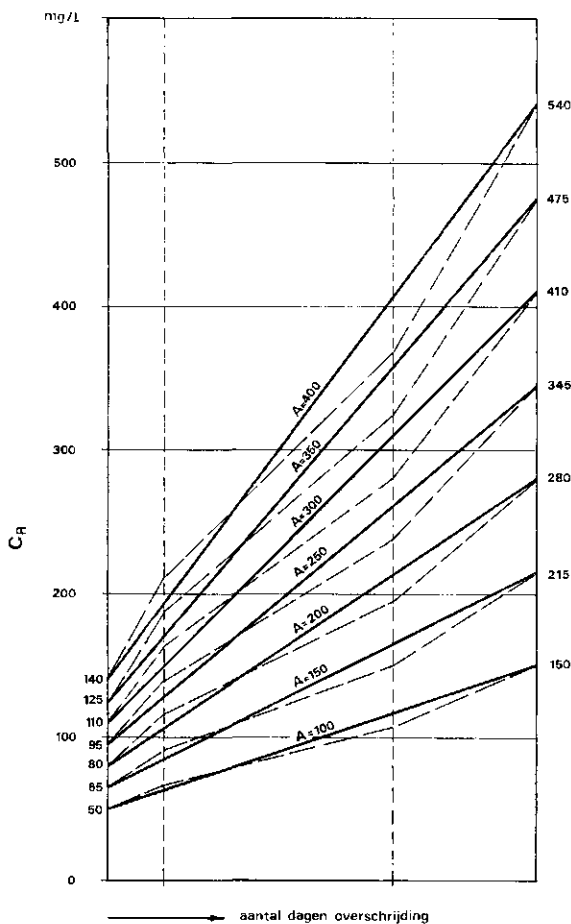
3. Het model

Afb. 4 geeft een schematisch beeld van één der frequentielijnen van het chloridegehalte te Lobith. De aangegeven grootheden kunnen als volgt worden gedefinieerd:

- C_R = het chloridegehalte van het Rijnwater;
- C_0 = het chloridegehalte van het Rijnwater ten tijde $t = 0$;
- C_T = het chloridegehalte van het Rijnwater ten tijde $t = T$;
- C_N = maximaal chloridegehalte in het af te leveren water.



B. Cumulatieve frequentielijn van de afvoer van de Rijn te Lobith in een droog jaar.



Afb. 3 - Karakteristiek van het chloridegehalte van de Rijn bij Lobith in een droog jaar bij verschillende waarden van de kunstmatige chloridebelasting A (kg/sec).

In paragraaf 2 werd de bedrijfsvoering met het spaarbekken reeds kort beschreven. Het spaarbekken wordt alleen gevuld indien C_R kleiner dan wel gelijk is aan C_N . Dit is het geval in de periode a.

C_N = het gemiddelde chloridegehalte van het water in het spaarbekken, bereikt in de periode a.

Tijdens de periode b is C_R groter dan C_N . Door menging van x % spaarbekkenwater met ij % rivierwater wordt bereikt dat het afgeleverde water in de periode b steeds een chloridegehalte C_N zal hebben. De dagelijkse productie wordt hierbij op Q gesteld.

Op de volgende wijze kan over de periode b het percentage x ten tijde t worden berekend:

$$C_R = C_0 + tg \alpha \cdot t = C_0 + \frac{C_T - C_0}{T} \cdot t \quad (2)$$

$$x \cdot Q \cdot C_S + ij \cdot Q \cdot C_R = Q \cdot C_N \quad (3)$$

$$x + ij = 1 \quad (4)$$

Eliminatie van ij uit vergelijking (4) en invullen in vergelijking (3) levert:

$$x = \frac{C_N - C_0 - \frac{C_T - C_0}{T} \cdot t}{C_S - C_0 - \frac{C_T - C_0}{T} \cdot t} \quad (5)$$

De totale jaarproductie is gelijk aan Q.T.

Het deel van deze productie afkomstig uit het spaarbekken, derhalve de spaarbekkeninhoud V, kan als volgt worden beschreven:

$$V = \frac{\int_0^T x \cdot Q \cdot dt}{Q \cdot T} = \frac{C_N - C_0}{C_T - C_0} \cdot T \quad (6)$$

De uitwerking van vergelijking (6) levert:

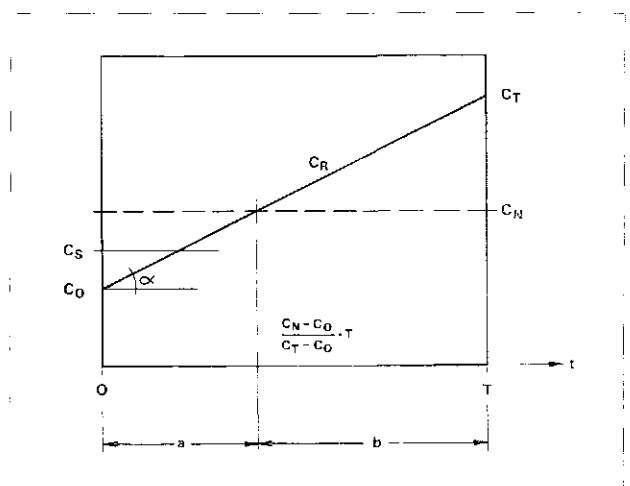
$$V = 1 - \frac{C_N - C_0}{C_T - C_0} - \frac{C_N - C_S}{C_T - C_0} \cdot \ln \frac{C_S - C_T}{C_S - C_N} \quad (7)$$

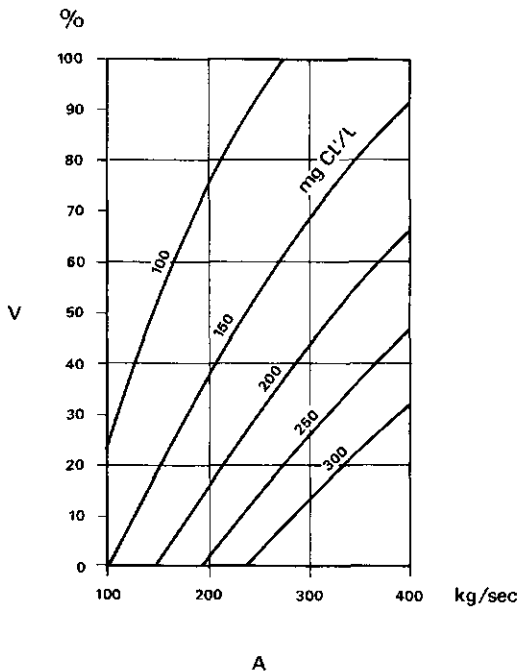
Nu langs mathematische weg de nodige inhoud van het spaarbekken is vastgesteld, moet nog wel worden opgemerkt dat ervan uit is gegaan dat de periode van aanbod van water met een relatief laag chloridegehalte in het algemeen in het begin van het jaar plaatsvindt. Dit is inderdaad meestal het geval, zodat van de frequentielijn van het chloridegehalte mag worden uitgegaan. Tenslotte is aangenomen dat de gehele inhoud van het spaarbekken in het droge jaar wordt aangesproken.

4. Numerieke uitwerking

Met behulp van formule (7) is bij verschillende waarden van de kunstmatige chloridebelasting van de Rijn (A) en verschillende waarden van C_N de nodige inhoud van het spaarbekken berekend. De resultaten van de berekeningen zijn aan gegeven in tabel I en afb. 5.

Afb. 4 - Schematische aanduiding van een cumulatieve frequentielijn van het chloridegehalte.





Afb. 5 - Nodig volume V van het spaarbekken, in procenten van de jaarproductie, in relatie tot de kunstmatige chloridebelasting A , bij verschillende waarden van het gewenste maximale chloridegehalte in het afgeleverde water C_N .

5. De schade

In paragraaf 2 is de veronderstelling uitgesproken dat in de komende 30 jaren het gebruik van Rijnwater met inschakeling van spaarbekkens zal stijgen tot 1000 miljoen m^3 per jaar. Met behulp van tabel I kan nu worden berekend welke omvang het totale spaarbekkenareaal zal moeten hebben om, uitgaande van een zekere waarde van de kunstmatige chloridebelasting, een maximaal in het af te leveren water gewenst chloridegehalte niet te overschrijden in een droog jaar. Tengevolge van chloordosering bij het zuiveringsproces zullen de gehalten van het afgeleverde water intussen nog iets hoger liggen. De aanleg van deze spaarbekkens zal worden aangepast aan de groeiende waterbehoefte.

Verondersteld kan worden dat in de komende 30 jaren driemaal één produktie-eenheid van 333,3 miljoen m^3 tot stand wordt gebracht, waarbij de spaarbekkens een

TABEL I - Spaarbekkeninhoud V (in procenten van de jaarproductie) als afgeleide van de kunstmatige chloridebelasting A (in kg/sec) en het gewenste maximale chloridegehalte in het afgeleverde water C_N (in mg/l).

	A=100	A=150	A=200	A=250	A=300	A=350	A=400
$C_N = 100$	23	53	75	93	>100	>100	>100
$C_N = 150$	0	17	38	55	69	81	92
$C_N = 200$	0	1	15	30	44	56	66
$C_N = 250$	0	0	2	13	26	37	47
$C_N = 300$	0	0	0	3	12	23	32

grootte zouden kunnen hebben van bijvoorbeeld 30 miljoen m^3 .

Ir. P. L. Knoppert heeft tijdens zijn voordracht „De invloed van het ontwerp op de kostprijs”, in de 22e Vakantiecursus Drinkwatervoorziening, een interessante grafiek getoond, waarin de aanlegkosten van spaarbekkens zijn gerelateerd aan de bruto inhoud. Zijn berekeningen zijn gebaseerd op in Nederland gebouwde of ontworpen spaarbekkens. De volgende uitgangspunten, respectievelijk beperkingen werden gehanteerd:

- Alleen de kosten van de bekken „sec” worden berekend. In- en uitlaatwerken worden dus niet meegerekend. Wel de wegen op de dijken, de taludbekleding, de landschappelijke verzorging en een eventuele aanlegplaats bij het bekken als dit rondom in het water ligt, zoals bijvoorbeeld de Biesbosch bekken.
- De voor de dijksopbouw benodigde specie kan direct aan het bekken zelf worden onttrokken.
- De eventuele afvoer van overtollige grond uit het bekken brengt geen extra kosten met zich mee. Aangenomen is hierbij, dat de kosten van het opgraven en afvoeren van deze specie worden gecompenseerd door de waarde ervan.
- De kosten, die vooral bij diepe bekken nodig zijn ter verzekering van de stabiliteit van de taluds bij zakkend water, zijn meegerekend.
- De eventuele maatregelen, die genomen moeten worden om de waterdichtheid te verzekeren, zijn meegerekend.
- De werken die in diepe bekken moeten worden uitgevoerd ter voorkoming van stratificatie (rondpompinstallaties of luchtbeschermen) zijn meegerekend.
- Kosten voor grondaankoop en pachtvrijmaking zijn in rekening gebracht.
- De bouwkosten zijn gerekend inclusief de bouwrente.
- Alle bouwkosten zijn contant gemaakt tegen 1968/1969, waarbij gerekend is met een plaatsgevonden hebbende jaarlijkse bouwkostenstijging van $3\frac{1}{2}\%$.

Bij bovengenoemde uitgangspunten berekent Knoppert voor één eenheid van 30 miljoen m^3 een aanlegprijs van ruim één gulden per m^3 spaarbekkeninhoud. Gezien de sterke stijging van de bouwkosten over de laatste jaren wordt deze aanlegprijs heden (1 januari 1973) op f 1,40 per m^3 spaarbekkeninhoud gesteld.

Indien nu de afschrijvingsperiode van een bekken op 40 jaren wordt gesteld en een rentepercentage van 8 wordt gehanteerd, kan worden berekend welke totale kosten aan afschrijving en rente over een periode van 30 jaren moeten worden gemaakt bij verschillende spaarbekkenarealen.

Voor een geleidelijke tot 1000 miljoen m^3 toenemende produktiecapaciteit over een periode van 30 jaren, zijn deze kosten berekend voor spaarbekkeninhouden als aangegeven in tabel I. Zoals eerder is vermeld wordt aangenomen dat deze arealen steeds in drie fasen tot stand komen. Vervolgens is het aldus berekende bedrag gedeeld door 30 jaren, waarmee de gemiddelde spaarbekkenkosten per jaar zijn vastgesteld.

In tabel II zijn de uitgevoerde berekeningen samengevat:

TABEL II - Gemiddelde jaarlijkse kosten van de spaarbekkens (in miljoenen guldens) als afgeleide van de kunstmatige chloridebelasting A (in kg/sec) en het gewenste maximale chloridegehalte in het afgeleverde water C_N (in mg/l).

	A=100	A=150	A=200	A=250	A=300	A=350	A=400
$C_N = 100$	18	41	58	72			
$C_N = 150$		13	29	43	53	63	71
$C_N = 200$		1	12	23	34	43	51
$C_N = 250$			2	10	20	29	36
$C_N = 300$				2	9	18	25

De in tabel II vermelde bedragen kunnen nu als schade aan de openbare watervoorziening in Nederland worden beschouwd, welke als een gemiddelde over 30 jaren zal optreden bij een zekere kunstmatige chloridebelasting van de Rijn. De grootte van de schade is bovendien afhankelijk van het chloridegehalte dat in een droog jaar als maximaal aanvaardbaar wordt gekozen.

Slechts ter illustratie moge het volgende voorbeeld worden beschouwd.

De huidige kunstmatige chloridebelasting van de Rijn wordt aangenomen op 300 kg/sec (in 1970 was deze feitelijk 302 kg/sec). Vervolgens wordt verondersteld dat een maximaal chloridegehalte van 150 mg/l in een droog jaar in het afgeleverde water wenselijk wordt geacht. Bij een uiteindelijke jaarproductie van 1000 miljoen m^3 bedraagt volgens tabel II de gemiddelde schade jaarlijks 53 miljoen gulden. De gemiddelde productie per jaar bedraagt 500 miljoen m^3 , waarmee de ge-

middelde kosten per m^3 op bijna 11 cent kunnen worden berekend. Hierbij dient nog te worden bedacht dat de werkelijke kosten nog belangrijk hoger zullen liggen, gezien de in de aanvang van de exploitatie optredende aanloopverliezen.

Zou het mogelijk zijn de kunstmatige chloridebelasting van de Rijn met 100 kg/sec terug te brengen tot 200 kg/sec, dan zou het schadebedrag, bij overigens dezelfde uitgangspunten, kunnen worden teruggebracht tot gemiddeld 29 miljoen gulden per jaar of bijna 6 cent per m^3 .

Een reductie tot 100 kg/sec zou spaarbeskkenaang in relatie tot het chloridegehalte overbodig maken en derhalve de schade in dit opzicht tot nul reduceren.

6. Slotbeschouwing

In dit artikel is een poging gedaan om de schade te evalueren welke in Nederland wordt ondervonden door de openbare watervoorziening ten gevolge van de kunstmatige zoutlozingen op de Rijn.

Het is geenszins de bedoeling geweest hierbij tot één schadebedrag te komen. Slechts heeft voorgestaan de orde van grootte aan te geven in relatie tot de eisen welke in dit opzicht aan het afgeleverde produkt kunnen worden gesteld.

Aangetoond is de grote waarde, die moet worden gehecht aan een drastische vermindering van de kunstmatige zoutbelasting van de Rijn.