

Kwaliteit als parameter bij de keuze van de bron

Waternvoorziening kan worden omschreven als de ongestoorde bedrijfsmatige levering van water, waarbij hoeveelheid, kwaliteit, plaats en kosten optimaal voldoen aan de eisen van de consument.

Deze omschrijving omvat die aspecten die bij elke beslissing van de waterfabrikant een belangrijke rol spelen en zo ook bij het kiezen van een bron voor een waternvoorziening. Hierbij moet immers aandacht worden besteed aan:

- de beschikbare hoeveelheid, zowel naar duur als naar omvang;
- de kwaliteit, zowel gemiddeld als schommelingen in de tijd;
- de bedrijfszekerheid, garanties van kwantiteit en kwaliteit, nu en in de toekomst;
- de ligging van de bron t.o.v. het afzetgebied;
- de economie van winning, zuivering, transport en distributie.

Steeds zullen behalve de kwaliteit ook de andere parameters deel uitmaken van het beslissingsproces dat tenslotte leidt tot de definitieve vormgeving van de waternvoorziening.

Zo kan de keuze van een kwalitatief goede bron transport over grote afstand met zich brengen en tot een onaanvaardbaar hoge kostprijs van het eindprodukt leiden. Voorbeelden hiervan zijn aanvoer van water uit de Bodensee in Zwitserland via de pijpleidingen door het Rijnland en de door het Central Institute for Industrial Research te Oslo geopperde mogelijkheid om water uit het Scandinavische Fjordengebied met behulp van containers over zee aan te voeren.

Anderzijds kan een dichtbij gelegen bron door de hoge graad van verontreiniging grote zuiveringskosten met zich brengen.

De parameter kwaliteit zou zonder de beschikbaarheid van de techniek van de zuivering van doorslaggevende betekenis zijn bij de keuze van de bron.

Interessant is in dit verband dat deze situatie zich ongeveer een eeuw geleden nog algemeen voordeed waardoor in Nederland de voorkeur werd gegeven aan het kwalitatief goede grondwater terwijl men in het buitenland zijn voorkeur kon laten uitgaan naar het gemakkelijk winbare oppervlaktewater. De beperktheid van het grondwater in Nederland noodzaakt evenwel tot toepassing van het kwalitatief mindere oppervlaktewater terwijl de kwaliteitsvermindering van het oppervlaktewater in andere landen nu pas tot aanwending van het grondwater aanleiding geeft.

Dankzij de techniek van de zuivering is de keuze van de bron groter geworden en daardoor tevens de rol van de parameter kwaliteit minder eenduidig. Immers in principe kan bij elke kwaliteit van de bron een bijpassende zuivering worden gevonden. De keuze wordt dan ook mede bepaald door de kosten van de zuiveringstechniek. Hierbij mag het echter niet zo zijn dat de keuze van de bron en de beperktheid van de financiële mogelijkheden ertoe leiden dat de resulterende kwaliteit van het eindprodukt zonder meer wordt geaccepteerd.

Een verantwoorde keuze van de bron is die waarbij op grond van gestelde normen voor de kwaliteit van het eindprodukt, de noodzakelijke zuiveringsprocessen ter verbetering van de kwaliteit van de grondstof worden vergeleken aan de hand van bedrijfszekerheid en economie.

De grenzen waarbinnen het beslissingsproces zich afspeelt kunnen ook in formule worden weergegeven:

$$k_{\text{bron}} + \Delta K_{\text{zuivering}} = K_{\text{eindprodukt}}$$

Bij een hoge kwaliteit van de bron zal een geringe kwaliteitsverbetering door zuivering nodig zijn om aan de hoge eisen voor het eindprodukt te voldoen.

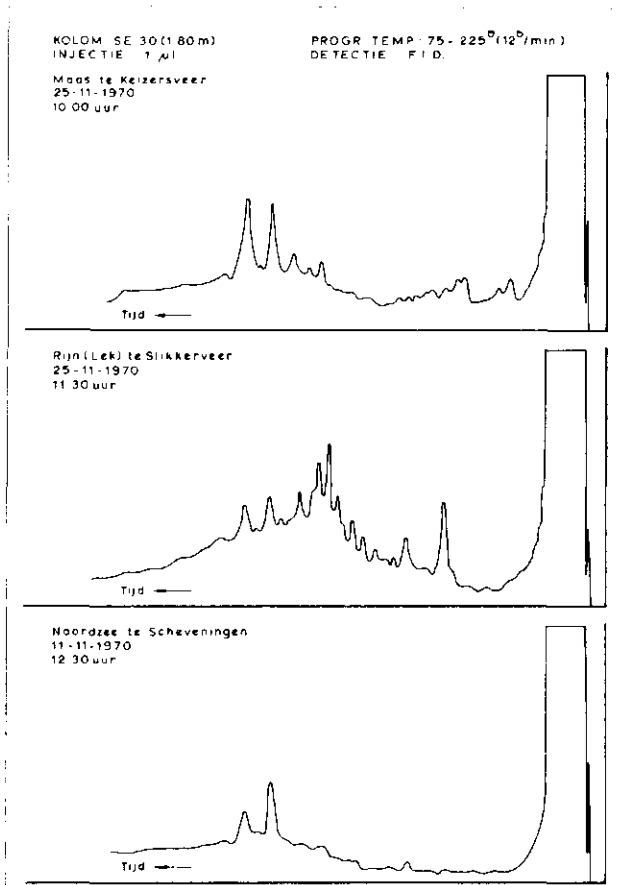
Aan de hand van deze formule rijzen de volgende vragen:

- kunnen de termen van deze formule worden gekwantificeerd?
- zijn uitgaande van normen voor $K_{\text{eindprodukt}}$ en waar-

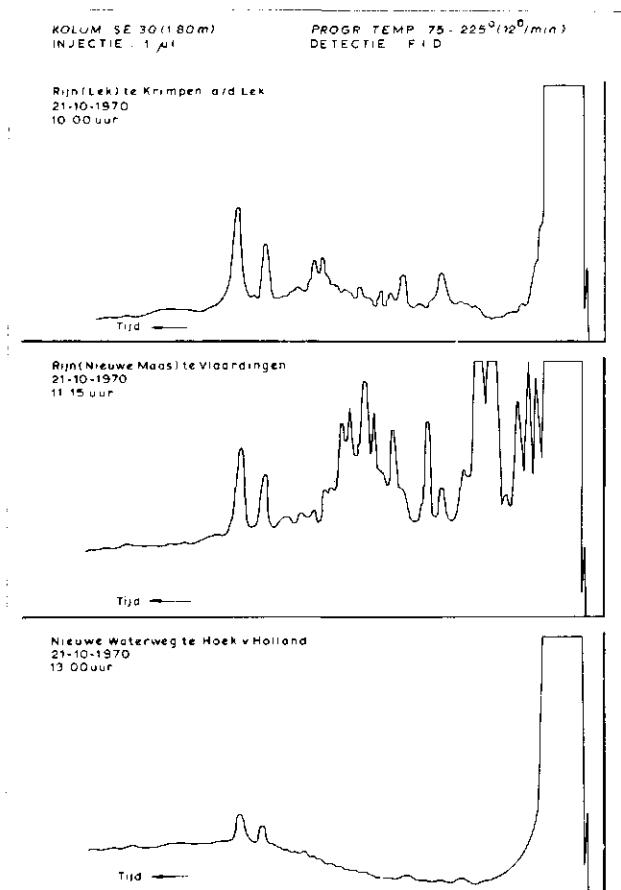
Afb. 1 - Kwaliteitsbeoordeling bronnen d.m.v. standaard zuiveringsmethoden.

	Behandeling	Regenwater	Grondwater (Veluwe)	Grondwater (gem. Nederland)	Grondwater (Zuid-Holland)	Maas	Rijn	IJsselmeer	Huishoudelijk afvalwater	Brak grondwater	Noordzee	Industrieel afvalwater onbek. herkomst
Bacteriologische betrouwbaarheid	1	+	+	+	+	+	+	+	—	+	+	—
	2	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	3	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Virologische betrouwbaarheid	1	+	+	+	+	?	?	?	—	+	+	—
	2	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	3	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Toxicologische betrouwbaarheid (zware metalen) (org. stoffen)	1	+	+	+	+	?	?	?	?	+	?	—
	2	+	+	+	+	?	?	?	?	+	?	—
	3	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	—
Smaak t.g.v. org. stoffen	1	+	+	+	+	○	—	—	—	+	○	—
	2	+	+	+	+	+	○	○	○	+	+	—
	3	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	—
Kleur	1	+	+	+	+	○	○	○	—	+	+	—
	2	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	○
	3	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Zoutgehalte	1	+	+	+	+	○	—	—	—	—	—	—
	2	+	+	+	+	+	+	+	○	—	—	—
	3	+	+	+	+	+	+	+	○	—	—	—
Hardheid	1	—	+	○	—	○	—	—	—	—	—	—
	2	+	+	○	—	○	—	—	—	—	—	—
	3	+	+	+	+	+	+	+	○	—	—	—

1. Kunstmatige zuivering (Microzeving/breekpunts chloring/coagulatie met kooldosering/filtratie/nachloring).
2. 1., voorafgegaan door donkere opslag van 12 maanden.
3. 1., 2., incl. ged. ontharding/koolfiltratie/ozonisatie.



Afb. 2 - Algemene chromatografische analyses Rijn/Maas/Noordzee.



Afb. 3 - Algemene chromatografische analyses Rijnmond.

den voor $K_{zuivering}$ eisen op te stellen die vanuit de drinkwatervoorziening voor de kwaliteit van de bron gelden?

- kan langs deze weg aangegeven worden wat de voordelen zijn van verbetering van de kwaliteit van de bron door waterbeheer?

Bij de verdere uitwerking van deze vragen is dankbaar gebruik gemaakt van materiaal en opmerkingen tijdens discussies afkomstig van de heren C. Biemond, Th. G. Martijn, B. C. J. Zoeteman en enige andere medewerkers van het RID.

Het is een bijna ondoenlijke opgave de kwaliteit van water eenduidig getalsmatig weer te geven. De beoordelingscriteria dienen zowel de vele kwaliteitsaspecten van bacteriologische, virologische en toxicologische betrouwbaarheid, smaak, kleur, hardheid, zoutgehalte e.d. te omvatten, als de inspanning die men zich moet getroosten om het water tot drinkwater te bereiden.

Zo kan men de kwaliteit van de bronnen beoordelen door de waterkwaliteit globaal te waarderen die resulteert na toepassing van een standaard zuiveringsmethode. Dit is voor de potentiële waterbronnen van Nederland in afb. 1 gedaan ten aanzien van een beperkt aantal kwaliteitsparameters bij toepassing van drie standaard behandelingsmethodieken.

Duidelijk illustreert deze afb. de complexiteit van de kwaliteitsbeoordeling.

Nog ingewikkelder wordt het geheel indien met gevoelige analysetechnieken de kwaliteit van het water verder wordt ontleed zoals bijvoorbeeld blijkt uit de resultaten,

vermeldt in de afb. 2, 3 en 4, van een oriënterend onderzoek naar organische stoffen op het RID. Afb. 2 geeft een overzicht van gaschromatografische analyses van water uit de Rijn, de Maas en de Noordzee, waarbij alleen de weinig vluchtige stoffen in het zeewater lijken achter te blijven. Bij de analyses voor het Rijnwater in het Rijnmondgebied (afb. 3) valt op dat tijdens het traject Krimpen-Vlaardingen grote hoeveelheden relatief vluchtige organische stoffen worden geloosd. Vele van de pieken op deze „finger prints” vertegenwoordigen nog onbekende stoffen die door nader onderzoek moeten worden geïdentificeerd om hun belang voor de waterkwaliteit aan te kunnen geven. Wel zijn veelal verontreinigingen door zware minerale olie of stookolie direct langs gaschromatografische weg te identificeren. Afb. 4 geeft een aantal van deze analyses waaruit blijkt dat vooral ten tijde van sterke wind het zeewater wat deze kwaliteitsparameter betreft zeker niet beter is dan het rivierwater.

Ondanks het complexe geheel van de kwaliteitsbeoordeling en de vele lacunes in onze kennis die om nader spuurwerk vragen zou een getalsmatige beoordeling, zoals door de formule wordt gesuggereerd, er belangrijk toe kunnen bijdragen dat bij het streven naar een algemene kwaliteitsnorm voor het oppervlaktewater de verschillende belangen op harmonische wijze worden afgewogen. Ter illustratie van deze gedachtengang is naast de kwalitatieve methode zoals weergegeven in afb. 1 in het vervolg een poging gemaakt om de kwaliteitsbeoordeling van de bron en de kwaliteitsverbetering bij verschillende zuiveringsmethodieken te kwantificeren.

In afb. 5 is een overzicht gegeven van het resultaat van een beoordeling van de kwaliteit op grond van de globale zuiveringskosten tot drinkwater. Hierbij zijn de kosten van winning, transport en het onder druk brengen buiten beschouwing gelaten. Aangenomen wordt dat het bereide drinkwater steeds als van vergelijkbare kwaliteit kan worden beschouwd.

Achtereenvolgens zijn de volgende zuiveringstechnieken voor de verschillende bronnen in rekening gebracht:

regenwater, snelfiltratie en aanharden, totaal kosten 5 ct/m³.

grondwater Veluwe, geen behandeling, totaal kosten nihil.

grondwater, gemiddeld in Nederland, snelfiltratie en gedeeltelijke ontharding (zie Grondslagen Basisplannen 7) [1], totaal kosten 5 ct/m³ voor pompstation van 10 miljoen m³/jaar.

grondwater in Zuid-Holland, dubbele snelfiltratie en gedeeltelijke ontharding [1], totaal kosten 8 ct/m³ voor pompstation van 10 miljoen m³/jaar.

oppervlaktewater Maas, spaarbekken T = 3 mnd., kunstmatige zuivering en gedeeltelijke ontharding (zie Grondslagen Basisplannen 8) [2], totaal kosten 14 ct/m³ voor een bedrijf van 100 miljoen m³/jaar.

oppervlaktewater Rijn, spaarbekken T = 6 mnd., kunstmatige zuivering en gedeeltelijke ontharding [2], totaal kosten 20 ct/m³ voor een bedrijf van 100 miljoen m³/jaar.

oppervlaktewater IJsselmeer, spaarbekken T = 12 mnd., kunstmatige zuivering en gedeeltelijke ontharding [2], totaal kosten 21 ct/m³ voor een bedrijf van 100 miljoen m³/jaar.

huishoudelijk afvalwater, zuivering afvalwater met oxydatiesloten (150.000 i.e., 25 miljoen m³/jaar, zie Koot [3]), investering 30 ct/m³, jaarlasten 15 % investering. (10 % rente en aflossing, 5 % exploitatie, zie Zeper [4]), kosten 5 ct/m³, opslag T = 1 mnd. — kosten 3 ct/m³, omgekeerde osmose voor 10 % van de capaciteitskosten 7,5 ct/m³ [5], microzeving-breekpuntschloring-coagulatie-

filtratie-ozonisatie-snefiltratie over kool-nachloring-kosten 19,5 ct/m³ [2], totaal kosten 35 ct/m³ voor een bedrijf van 25 miljoen m³/jaar.

brak grondwater, voorzuivering en ontharding — kosten 16 ct/m³, omgekeerde osmose (retentie 0,6 — belasting 90 %) — kosten 65 ct/m³, nazuivering — kosten 6 ct/m³, totaal kosten 87 ct/m³ bij een eenheid van 1 miljoen m³/jaar [5].

zout water Noordzee, microzeving, ontgassing, meertrapsontspanningsverdamer (single purpose, 90 % belast) — kosten 102 ct/m³ [5], nazuivering en koeling — kosten 10 ct/m³, totaal kosten 112 ct/m³, bij een eenheid van 25 miljoen m³/jaar.

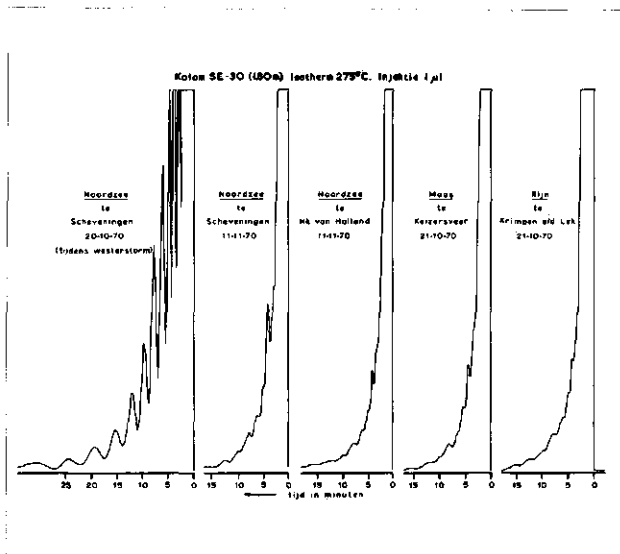
industrieel afvalwater, afvalwaterzuivering — kosten 5 ct/m³, coagulatiefiltratie — kosten 6 ct/m³, opslag T = 1 mnd. — kosten 3 ct/m³, meertrapsontspanningsverdamping — kosten 102 ct/m³, nazuivering kosten 10 ct/m³, totaal kosten 126 ct/m³ bij een eenheid van 25 miljoen m³/jaar.

Vooropgesteld dient te worden dat vooral ten aanzien van de zuiveringskosten van afvalwater tot drinkwater slechts zeer grove ramingen konden worden gemaakt.

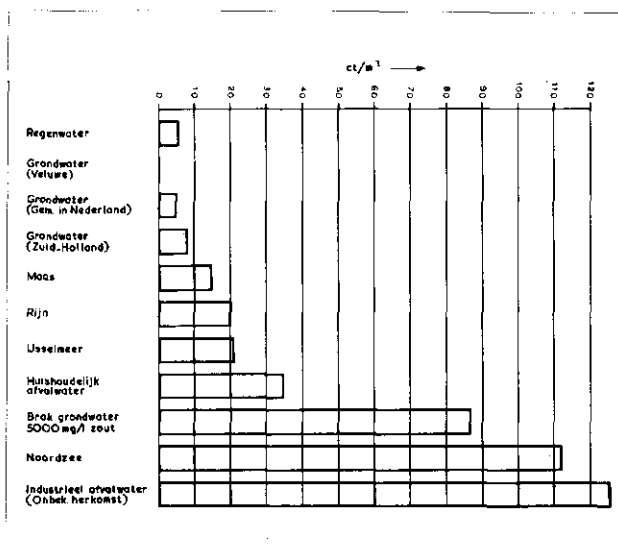
De in afb. 5 vermelde kosten moeten dan ook worden gezien als aanduiding van de relatieve orde van grootte. Indien de uitkomsten van deze beoordeling worden vergeleken dan valt het op dat alvorens brak grondwater of zeewater als bron in aanmerking komen het huishoudelijke afvalwater aantrekkelijke kanten biedt. Een studie van de mogelijkheden van directe recirculering van afvalwater tot leidingwater zal in de nabije toekomst dan ook niet kunnen worden gemist.

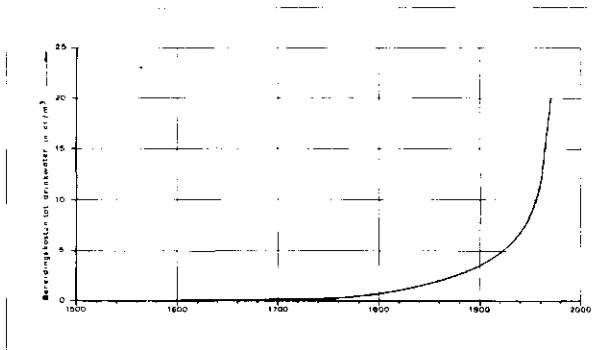
Het beeld dat afb. 5 toont is een momentopname. In de toekomst kunnen belangrijke verschuivingen optreden waardoor bronnen die nu nog relatief grote zuiveringskosten met zich brengen, zoals het brakke water en het zoute zeewater, in de komende decennia steeds dichterbij komen te liggen bij bronnen als het zoete oppervlaktewater. Zo behoort een daling van de prijs van in grote eenheden van 50-100 miljoen m³/jaar ontzout water tot

Afb. 4 - Zware olie analyses van enige oppervlaktewateren.



Afb. 5 - Kwaliteitsbeoordeling bronnen d.m.v. globale zuiveringskosten tot drinkwater (voor 1-7-1970).





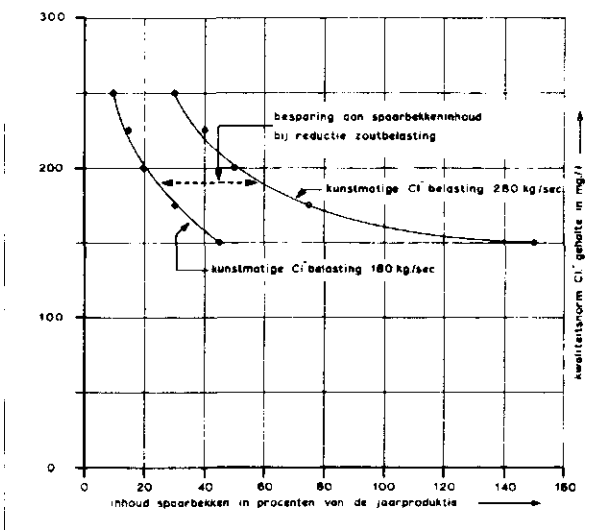
Afb. 6 - Beoordeling vervuiling van de Rijn d.m.v. bereidingskosten tot drinkwater.

50 ct/m³ niet tot de onmogelijkheden [5] terwijl de sterke stijging van de zuiveringskosten van Rijnwater niet te stuiten lijkt zoals afb. 6 laat zien. Deze afb. is samengesteld aan de hand van de historische ontwikkeling van de zuivering bij de DWL te Rotterdam waarbij de noodzaak van de Biesbosch-bekken in 1970 is gedacht en de noodzaak van chloring omstreeks 1750 is gesitueerd.

Duidelijk blijkt de versneld om zich heen grijpende vervuiling van deze bron. Moet men de voorspellingen geloven over de toename van de belasting van rivieren met het radio-actieve waterstof isotoop tritium als gevolg van calamiteiten en afvalwaterlozingen van kernenergiecentrales en opwerkingsbedrijven van kernbrandstoffen dan is het zelfs denkbaar dat het zeewater door de sterke verdunning de voorkeur zou verdienen boven rivierwater. Tritium is immers ook bij de huidige ontzoutingstechnieken niet of slechts in zeer geringe mate uit het water af te scheiden terwijl bij een norm van 10⁴ pCi/l tritiumactiviteit deze waarde reeds omstreeks 1980 zou kunnen worden verwacht in de Rijn [6]. Een verantwoord beheer ten aanzien van deze lozing enerzijds en ten aanzien van de waterkwaliteit van het zeewater anderzijds is dan ook van eminent belang voor de drinkwatervoorziening.

Een eenvoudige rekensom naar aanleiding van afb. 6 toont aan dat in enkele jaren tijds 10 ct meer en in 50 jaren een bedrag van 16 ct meer moest worden uitgege-

Afb. 7 - Verband kwaliteitsnorm chloridegehalte — inhoud spaarbekken bij kunstmatige Cl⁻ belasting van de Rijn van 280 en 180 kg/sec. in een droog jaar.



ven per m³. Op een omzet van 100 miljoen m³ per jaar is dat een extra uitgave in 50 jaar van f 16.000.000,—/jaar.

Zou de verontreiniging van het oppervlaktewater op dezelfde wijze als tot nu toe voortschrijden dan zou ten slotte zuivering door destillatie of hyperfiltratie noodzakelijk kunnen worden. Een extra last van 80 ct/m³ zou dan bij een jaaromzet van 100 miljoen m³ een extra uitgave van f 80.000.000,— betekenen en bij toepassing van multi-purpose processen een bedrag in de orde van grootte van f 40.000.000,—.

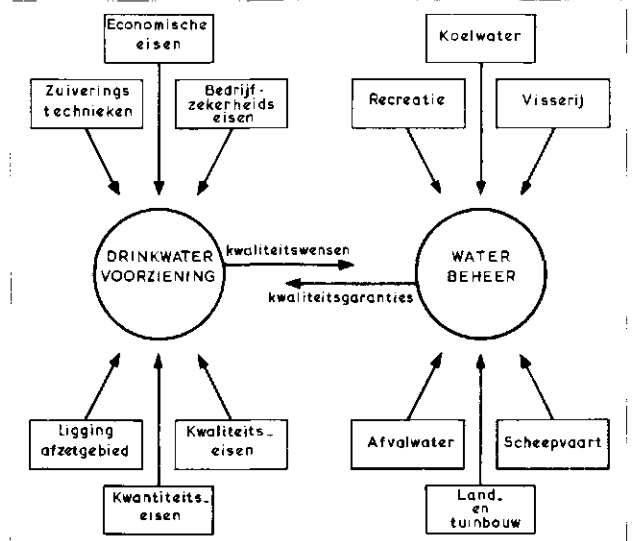
De relatie van de kwaliteit van de bron en de kosten van zuivering kunnen ook op een andere wijze worden geïllustreerd. In afb. 7 is de benodigde spaarbekkeninhoud voor afvlakking van de kwaliteit van de ingenomen grondstof aangegeven als functie van het chloridegehalte van het eindproduct, voor twee verschillende zoutbelastingen van de Rijn.

Deze afb. schetst het spanningsveld dat ligt tussen aanpassing van de kwaliteitsnorm van het eindproduct aan de kwaliteit van de bron, de verbetering van de waterkwaliteit door de waterfabrikant en verbetering van de kwaliteit van de bron door de waterbeheerder. De afb. leert dat, indien bij een kunstmatige chloridebelasting van 280 kg/sec. (1969) een droog jaar wordt voorafgegaan en gevolgd door een normaal jaar, het afgeleverde water van een spaarbekken slechts dan tot 150 mg/l chloridegehalte kan worden beperkt, indien de inhoud van het bekken maar liefst 150 % van de jaarproductie bedraagt. Voor het geval de chloridebelasting van de Rijn met 100 kg/sec. kon worden beperkt zou bij eenzelfde norm van 150 mg/l kunnen worden volstaan met een spaarbekkeninhoud van ca. 50 % van de jaarproductie.

Worden de investeringskosten van spaarbekken op f 1,—/m³ inhoud gesteld, dan zou bij verlaging van de chloridebelasting met 100 mg/sec. en bij een jaarproductie via spaarbekken in Nederland, van 1000 miljoen m³ een investeringsbesparing van 1000 miljoen gulden optreden.

Aan de hand van deze voorbeelden blijkt de keuze van de bron veeleer te zijn een keuze tussen kwaliteitsver-

Afb. 8 - Schematisch overzicht afhankelijkheid drinkwatervoorziening van kwalitatief waterbeheer.



Afb. 9 - Zeer globale zuiveringseffecten van enige waterbehandelingsmethodieken.

	I	II	III	IV
Zuiveringsfactor	standaard chemische zuivering inclusief ontharding (zie afb.1-1)	biologische zuivering (3 mnd. opslag)	polishing (koolads., ozon, filtratie)	ontzouting (flash-verdamping)
Parameter				
IJzer	100	10	10	1.000
Ammoniumion	10	10	10	0,2
Org. smaakstoffen	10	10	10	10
Toxische stoffen	?	?	?	?
Coli-bacteriën	10.000	1.000	1.000	100.000
Virussen	?	10	1.000	100.000
Zouten	1	1	1	10.000
Hardheid	2	1,1	1	10.000

betering van de bron enerzijds en kwaliteitsverbetering door zuiveringstechnieken anderzijds. In formule wordt dit dan:

$$+ K_{\text{lozing}} + K_{\text{verduunning}} + \Delta K_{\text{beheer}} + \Delta K_{\text{zuivering}} = K_{\text{eindproduct}}$$

$$\text{waarin } K_{\text{lozing}} + K_{\text{verduunning}} + \Delta K_{\text{beheer}} = K_{\text{bron}}$$

In deze formule zijn primair alleen variaties mogelijk in ΔK_{beheer} en $\Delta K_{\text{zuivering}}$ ofwel in de afvalwaterbehandeling en de drinkwaterbereiding terwijl door nieuwe werkwijzen in de toekomst verbeteringen in K_{lozing} dienen te worden nagestreefd.

De mogelijkheden van de kwaliteitsverbetering van de bronnen worden mede bepaald door andere bestemmingen die aan het oppervlaktewater moeten worden gegeven zoals land- en tuinbouw, recreatie, koelwater voor elektriciteitscentrales, scheepvaart en visserij (zie afb. 8).

Er is hier dan ook sprake van een keuze, een beslissing binnen het beleid van de waterbeheerder, waarbij soms tegenstrijdige maar op zichzelf juiste vereisten der verschillende branches zich aandienen.

Het daaruit resulterende kwalitatieve totaalbeleid van de waterbeheerder zal aangeven in hoeverre de branches nog aanvullende voorzieningen moeten treffen. De omvang van het hier aan de orde gestelde keuzeprobleem is reeds met enige cijfers aangeduid, waarbij de speelruimte in het beleid door de geografische situatie van Nederland beperkt te noemen is. Deze beperkingen verdienen door een kwantitatieve evaluatie bij de vergelijking van de bronnen het juiste gewicht. In hoeverre dit voor de beschikbaarheid van huishoudelijk afvalwater dient te geschieden wordt thans in het midden gelaten.

Afb. 10 - Mogelijke kwaliteitsgrenzen voor drinkwaterbronnen.

Parameter	aanbeveling drinkwater (voorkeur VEWIN)	zuiveringsfactor		kwaliteitsgrens zoet opp.water I + II	Rijn	kwaliteitsgrens zout opp.water III + IV	Noordzee grootte orde
		I + II	III + IV		grootte orde van ongunstige waarden		
IJzer	< 0,05 mg/l	10 ³	10 ⁴	< 50 mg/l	3 mg/l	< 500 mg/l	0,05 mg/l
Ammoniumion	< 0,05 mg/l	10 ²	2,10 ⁰	< 5 mg/l	8 mg/l	< 0,1 mg/l	0,1 mg/l
Smaakgetal (t.g.v. org. stoffen)	< 0,1*	10 ²	10 ²	< 10	100	< 10	?
Toxische stoffen	?	?	?	?	?	?	?
Coli-bacteriën	< 1/l	10 ⁷	10 ⁸	< 10 ⁷ /l	10 ⁶ /l	< 10 ⁸ /l	10 ⁴ /l*
Virussen	?	?	10 ⁸	?	?	?	?
Chloride-ion	< 100 mg/l	1	10 ⁴	< 100 mg/l	300 mg/l	< 10 ⁶ mg/l	2,10 ⁴ mg/l
Hardheid	< 2,5 meq./l*	2,2	10 ⁴	< 5,5 meq./l	7 meq./l	< 2,5,10 ⁴ meq./l	1,3,10 ² meq./l

*) Onderstelling

Wel kan gesteld worden dat een verdere kwantificering van normen voor de kwaliteit van het drinkwater nodig is terwijl vooruitlopend op de resultaten van nog uit te voeren speurwerk zeer globaal en tentatief het kwalitatieve effect van enige belangrijke zuiveringsmethoden is aangegeven (afb. 9). De vet gedrukte waarden in afb. 9 hebben een grotere zekerheid dan de overigen.

Vervolgens wordt aan de hand hiervan bij wijze van voorbeeld een schets gegeven voor de in afb. 8 voorgestelde kwaliteitswensen vanuit de drinkwatervoorziening, te stellen aan de bron (zie afb. 10).

De in afb. 10 vermelde gegevens zouden aangeven dat er kwalitatieve problemen bij het Rijnwater kunnen optreden ten aanzien van het gehalte aan chloride-ionen, smaakstoffen en hardheid veroorzakende ionen.

Waar vraagtekens zijn vermeld dient door speurwerk een beter kwantitatief inzicht te worden verkregen.

Langs deze weg van kwantificering van de kwaliteitswensen van de bronnen vanuit de drinkwatervoorziening zal het mijns inziens mogelijk worden de alternatieven van kwaliteitsverbetering door beheer van de bron of door zuivering bij de drinkwaterbereiding op verantwoorde wijze af te wegen.

Zo is de kwaliteit niet alleen een parameter bij de keuze van de bron maar kan de bestemming van de bron tevens een belangrijke parameter vormen bij het beheren van de waterkwaliteit.

Literatuur

1. Zoeteman, B. C. J. Zuiveringsmethoden van zoet grondwater voor de drinkwatervoorziening in Nederland, Grondslagen Basisplannen 7, H₂O (1970) nr. 3.
2. Zoeteman, B. C. J. De zuivering van zoet oppervlaktewater voor de drinkwatervoorziening in Nederland, Grondslagen Basisplannen 8, H₂O (1970) nr. 25.
3. Koot, A. C. J. De toekomstige behandeling van huishoudelijk afvalwater, H₂O (1970) nr. 22, 551-560.
4. Zeper, J. Kostenaspecten, H₂O (1970) nr. 22, 561-568.
5. Rapport 1970 inzake de basisplannen voor de toekomstige drink- en industriewatervoorziening van Nederland (1971).
6. Schwibach, J. *Vorausschau auf die zukünftige Belastung der Oberflächengewässer mit Tritium*. Voordracht op de zitting van de DVGW/VGW/ATV/FW-Kommission „Radioaktive Substanzen und Wasser“ op 2 december 1968 te Hamburg.