

Ontzuring door middel van cascades

De reacties op het eerste artikel betreffende ontzuring met behulp van cascades in het tijdschrift Water van 14 juli 1966 zijn mede een belangrijke aanleiding geweest tot publicatie van onderstaande gegevens.

Na een korte inleiding over de mechanische ontzuring volgen zowel de resultaten, bereikt met een proefcascade in diverse uitvoeringen, als onze ervaringen met enkele bedrijfscascades.

Verder komen ter sprake de kosten alsmede de voor- en nadelen, verbonden aan deze wijze van ontzuren.

1. Inleiding

Voor de verwijdering van agressief koolzuur (CO_2) uit water staan twee fundamenteel verschillende methodes ter beschikking, nl. de mechanische en de chemische ontzuring.

De mechanische ontzuring komt neer op de afgifte van kooldioxide aan de lucht. Hierbij kunnen tevens andere bestanddelen, zoals zwavelwaterstof en vluchtige organische verbindingen, worden verwijderd. Deze vorm van ontzuring gaat gepaard met een intensieve beluchting, waarbij het zuurstofgehalte de verzadigingsconcentratie dicht kan benaderen.

De chemische ontzuring berust op de reactie van kooldioxide met een base (OH^-), waarbij waterstofcarbonaat (HCO_3^-) wordt gevormd. Men kan de basische stof aan het water toevoegen, zoals bij de dosering van kalk — $\text{Ca}(\text{OH})_2$ — of natronloog — NaOH — wordt gedaan, of men kan het water over de base leiden, bijv. in filters met marmer — CaCO_3 — of met half gebrande dolomiet — $\text{MgO} \cdot \text{CaCO}_3$ —. Dit laatste produkt is beter bekend onder de handelsnamen akdolit en magno.

Voor zover de chemische ontzuring uitgevoerd wordt met behulp van calcium- of magnesiumverbindingen, vindt daarbij een verhoging van de hardheid plaats.

De mechanische ontzuring omvat sterk uiteenlopende technieken, welke op de 20ste vakantiecursus voor drinkwatervoorziening in 1968 uitvoerig zijn besproken [1 en 2].

Volgens Huisman [2] bestaat er voor de ontzuring geen betere methode om het overtollige koolzuur te verwijderen dan de schotelbeluchting. In deze categorie neemt de door de Waterleiding Mij „Overijssel” NV (WMO) ontwikkelde cascadetoren een belangrijke plaats in. De val van het water wordt hierbij regelmatig gebroken door middel van een stapeling van plastic buisjes.

Dit systeem, in 1966 beschreven [3], wordt door het Wetenschappelijk Technisch Centrum te Leipzig onder de naam „Rohrgitterkaskade” aanbevolen, niet alleen voor de ontzuring, waarvoor het speciaal ontwikkeld is, maar ook voor de beluchting in het algemeen [4].

Een kenmerk van de WMO-cascade is de relatief geringe plaatsruimte waarmee volstaan kan worden. Voor de ontzuring van $1000 \text{ m}^3/\text{h}$ is een cascade met een grondvlak van niet meer dan 4 tot 20 m^2 nodig. De schijnbare watersnelheid bedraagt daarbij 50 tot 250 m/h . Dat hiermee goede ontzuringresultaten behaald kunnen worden is bewezen met bedrijfscascades op de pompstations te

Denekamp en in het Engelse Werk bij Zwolle. De cascade te Denekamp heeft een oppervlak van 1 m^2 voor debieten van $28\text{—}150 \text{ m}^3/\text{h}$ en die in het Engelse Werk heeft een oppervlak van bijna 3 m^2 voor $250\text{—}750 \text{ m}^3/\text{h}$ [3]. Beide cascades zijn uitgerust met ventilatoren.

Gebleken is dat het ontzuringseffect afhangt van het debiet per m^2 . In afb. 1 is het verband tussen beide grootheden weergegeven. Het ontzuringresultaat is hierbij uitgedrukt in procenten van het aanvangskoolzuurgehalte en het debiet als de schijnbare watersnelheid in m^3 per m^2 en per uur. Met behulp van deze eenheden is het mogelijk het effect van verschillende cascades onderling te vergelijken.

Uit afb. 1 blijkt dat een ontzuring van $75\text{—}80\%$ bereikbaar is bij watersnelheden van $100\text{—}250 \text{ m/h}$. Bij een snelheid van 50 m/h kan een koolzuurreductie van 85% worden verkregen.

2. Proefcascade

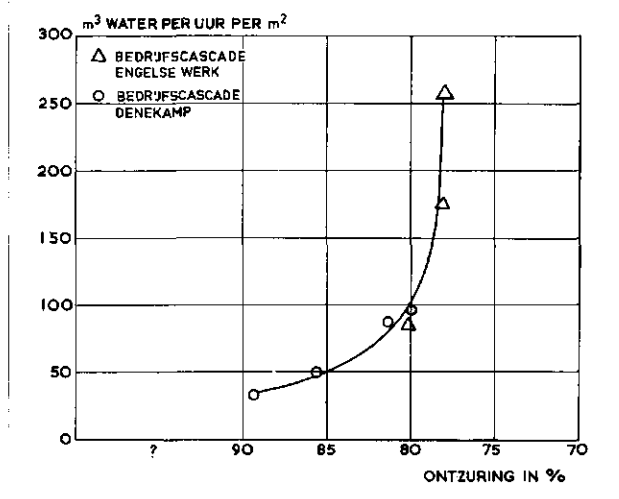
2.1. Lang model

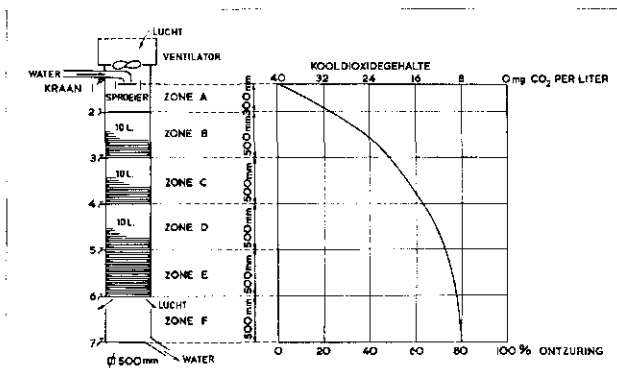
2.1.1. Beschrijving

Van de vroeger reeds besproken cascades [3] bedraagt de totale valhoogte meer dan twee meter. Het ontzuringseffect stijgt bij toenemende valhoogte, maar volgens de gegevens van de proefcascade is de ontzuring in de bovenhelft van de cascade — ook relatief gezien — beter dan in de onderhelft, zie afb. 2. De bovenhelft bestaat uit de zones A, B en C en de onderhelft uit de zones D, E en F. In zone A wordt het water door middel van een soort Dresdener sproeier verdeeld. De zones B, C, D en E zijn elk $0,5 \text{ m}$ hoog en bevatten een pakket van 10 lagen plastic buisjes. In zone F ligt de opvangbak.

Op het dak van de cascades is een ringventilator geplaatst, die lucht naar binnen blaast. De afgewerkte lucht ontwijkt onder in de cascade door de openingen van zone F. Voor het overige zijn de cascadowanden dicht.

Afb. 1 - Verband tussen het ontzuringresultaat en de watersnelheid van de bedrijfscascades in het Engelse Werk en te Denekamp.





Afb. 2 - Het ontzuringresultaat, afhankelijk van de valhoogte in de proefcascade. Elk van de zones B tot en met E bevat een pakket van 10 lagen pvc-buisjes (10 L).

Het verschil in ontzuringseffect tussen de bovenhelft en de onderhelft houdt verband met het feit dat de kooldioxideconcentratie in de lucht van zone A tot zone F toeneemt.

Een eenvoudige berekening aan de hand van praktijkgegevens maakt dit duidelijk.

2.1.2. Berekening

De mechanische ontzuring is een uitwisselingsproces, dat zich vrijwel uitsluitend aan het grensvlak tussen water en lucht afspeelt. De drijvende kracht hiervoor is het verschil tussen de in het water heersende kooldioxideconcentratie en de aan de lucht bereikbare evenwichtsconcentratie.

De snelheid waarmee de ontzuring plaatsvindt is gedefinieerd als de hoeveelheid kooldioxide welke per m² grensvlak water-lucht en per seconde wordt afgegeven.

Hiervoor geldt volgens Beck [1] de formule:

$$v = K (c_w - M \cdot c_g) \quad (1)$$

Nu is v: het aantal grammen CO₂, dat per m² en per seconde afgegeven wordt

K: een stofoverdrachtscoëfficiënt, circa 10⁻⁴ m/sec

c_w: de CO₂-concentratie van het water in mg/l

c_g: de CO₂-concentratie van het gas in mg/l

M: de verdelingscoëfficiënt van CO₂ over het water en het gas.

De verdelingscoëfficiënt van een gas is sterk afhankelijk van de oplosbaarheid van het gas in de vloeistof en deze is weer afhankelijk van de temperatuur van de vloeistof, zie tabel I.

TABEL I - Verdelingscoëfficiënten van zuurstof en kooldioxide over water en lucht bij verschillende temperaturen, volgens [1 en 5].

	0° C	12° C	20° C
O ₂	0,049	0,038	0,033
CO ₂	1,69	1,2	0,92

Vanwege de vrijwel constante grondwatertemperatuur van 10° C is de verdelingscoëfficiënt van CO₂ voor onze berekening M = 1,3 gesteld.

Wij schrijven voorts formule 1 liever zo:

$$v/K = c_w - M \cdot c_g \quad (2)$$

Hierin stelt de term v/K de drijvende kracht van de ontzuring voor en M · c_g de aan de gasfase bereikbare evenwichtsconcentratie.

De kooldioxideconcentratie van de lucht bedraagt ongeveer 0,6 mg/l. Water dat hiermee in evenwicht is bevat derhalve M · c_g = 1,3 × 0,6 = 0,8 mg CO₂/l.

We keren nu terug naar de proefcascade en passen formule 2 toe op de afzonderlijke zones. De drijvende kracht voor de ontzuring in zone A (v₁/K) is gelijk aan het aanvangskooldioxidegehalte (c_{w₁}) gemeten aan monsterkraan 1, verminderd met de evenwichtsconcentratie (M · c_{g₁}). Bij de meeste proeven bedroeg het aanvangskooldioxidegehalte ongeveer 40 mg/l. De proeven zijn in de buitenlucht uitgevoerd, zodat c_{g₁} = 0,6 mg/l.

Formule 2, toegepast op zone A, geeft dan

$$v_1/K = c_{w_1} - M \cdot c_{g_1} = 40 - 1,3 \times 0,6 = 39 \text{ mg/l.}$$

Op de grens van de zones A en B is de drijvende kracht afgenomen, enerzijds omdat c_{w₁} gedaald is van 40 tot 31 mg/l (= c_{w₂}, gemeten aan kraan 2) en anderzijds omdat c_{g₁} gestegen is door opname van de vrijgekomen 9 mg CO₂.

De nieuwe concentratie c_{g₂} is gelijk aan de oorspronkelijke (c_{g₁}) plus de door het water afgegeven hoeveelheid, vermenigvuldigd met de verhouding van de water- en luchthoeveelheden, resp. Q_w en Q_g:

$$c_{g_2} = c_{g_1} + (c_{w_1} - c_{w_2}) Q_w / Q_g \quad (3)$$

Stellen we de water-luchtverhouding op 1 : 10, wat deze blijkens [1] en [3] zeker wel moet zijn, dan vinden we na substitutie van formule 3 in formule 2:

$$v_2/K = c_{w_2} - M \{ c_{g_1} + (c_{w_1} - c_{w_2}) Q_w / Q_g \} \\ = 31 - 1,3 \{ 0,6 + (40 - 31) 0,1 \} = 29 \text{ mg/l} \quad (4)$$

Voor een willekeurige zone met monsterkraannummer n gaat formule 4 over in:

$$v_n/K = c_{w_n} - M \{ c_{g_1} + (c_{w_1} - c_{w_n}) Q_w / Q_g \} \quad (5)$$

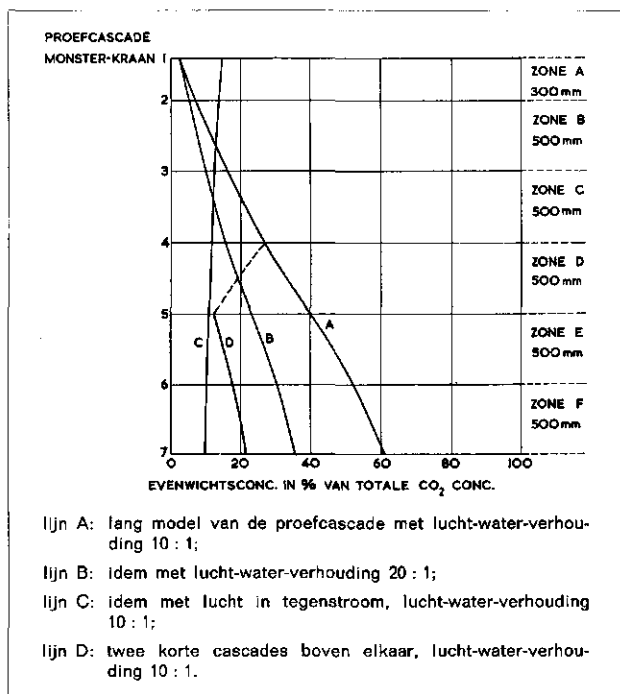
Voor elk niveau, waarop zich een monsterkraan bevindt, is de drijvende kracht op analoge wijze te bepalen. Het resultaat hiervan is in tabel II weergegeven.

TABEL II - Verloop per zone van het CO₂-gehalte in het water (c_w), de evenwichtsconcentratie (M · c_g) en de drijvende kracht voor de ontzuring (v/K = c_w - M · c_g) gemeten aan en berekend voor de successievelijke monsterkranen van de proefcascade.

	c _w	M · c _g	v/K
kraan 1	40 mg/l	0,8 mg/l	39 mg/l
2	31 mg/l	2,0 mg/l	29 mg/l zone A
3	20 mg/l	3,4 mg/l	16,5 mg/l zone B
4	15 mg/l	4,0 mg/l	11 mg/l zone C
5	11 mg/l	4,5 mg/l	6,5 mg/l zone D
6	9 mg/l	4,8 mg/l	4 mg/l zone E
7	8 mg/l	4,9 mg/l	3 mg/l zone F

Op het eerste gezicht is het verschil in verloop tussen CO₂-concentratie en de drijvende kracht nl. de op dat punt onder de gegeven omstandigheden laagst bereikbare CO₂-concentratie (Mc_{g_{zn}}) niet zo groot.

Het betekent echter dat in de onderhelft van de cascade 4 à 5 mg CO₂/l niet meer in aanmerking komt voor ontzuring d.w.z. niet minder dan 40 tot 60% van de op dat punt nog opgeloste hoeveelheid CO₂, zie afb. 3, lijn A.



Afb. 3 - Percentage van het kooldioxidegehalte per zone, dat niet voor ontzuring beschikbaar is ten gevolge van de stijgende kooldioxideconcentratie in de gasfase ($M \cdot c_{gm} / c_{wm} \times 100\%$).

Er zijn verschillende mogelijkheden om hierin verbetering te brengen. De belangrijkste is de toepassing van het tegenstroomprincipe. Hierbij wordt de lucht van onderen naar boven door de cascade geblazen of gezogen. De evenwichtsconcentratie ligt dan — bij een aanvangs-kooldioxidegehalte van omstreeks 40 mg/l, een water-luchtverhouding van 1 : 10 en een ontzuringseffect van 80% — voor elke zone tussen de 10 en 15%, zie afb. 3, lijn C.

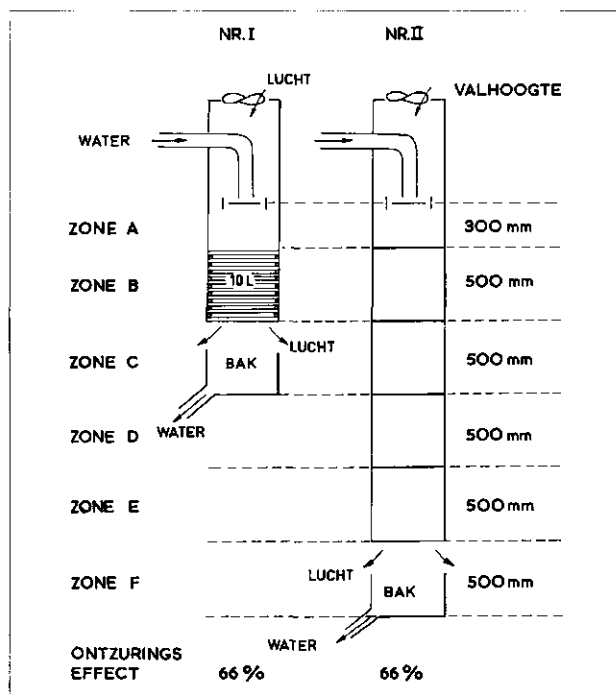
De door de WMO toegepaste ringventilatoren kunnen dit alleen bij zeer lage watersnelheden opbrengen. Bij snelheden boven omstreeks 50 m/h stijgt de weerstand in de cascade tot boven de maximum druk. Er zijn dan ventilatoren met een groter vermogen nodig.

Een tweede mogelijkheid is vergroting van de water-luchtverhouding. Het effect betreffende verdubbeling van deze verhouding is in afb. 3 weergegeven door lijn B. In het vorige artikel is reeds aangegeven welke lucht-water-verhouding gewenst is om een ontzuring van 80 en 90% te verkrijgen, zie afb. 8 van [3].

Een derde mogelijkheid bestaat in verversing van de lucht ongeveer halverwege de cascade. Hiervoor is het nodig een soort waterslot aan te brengen: erboven wordt de kooldioxiderijke lucht afgevoerd, eronder wordt verse lucht aangevoerd. Het te verwachten effect op de evenwichtsconcentratie is in afb. 3 aangegeven met lijn D, welke in de zones A, B en C samenvalt met lijn A en welke in de zones D, E en F een geheel eigen verloop heeft. Dit systeem is in de praktijk nader onderzocht.

2.2. Kort model

De hierboven als derde genoemde mogelijkheid om de ontzuring in de onderhelft van de cascade te verbeteren komt in feite neer op een splitsing van het lange model in twee korte. Beide delen hebben een eigen voorziening



Afb. 4 - Het korte model met 1 pakket en het lange model zonder vulling. Het vermelde ontzuringseffect is bereikt met ontijzerd voorfiltraat op het pompstation Witharen, 10 L : 10 lagen pvc-buisjes.

betreffende de aan- en afvoer van de lucht. Zij kunnen daarom even goed als twee afzonderlijke cascades worden beschouwd.

De ontzuring in de bovenste 1,5 m van de proefcascade bedraagt blijkens afb. 2 ruim 62%. Wanneer hetzelfde effect met de onderste 1,5 m bereikt kan worden is het totale resultaat een ontzuring van 86% over een valhoogte van 3 m. Dit is merkbaar méér dan de 80% welke met het lange model behaald wordt.

Allereerst is geverifieerd of het korte model een ontzuring van 62% zou kunnen geven.

Voor de bouw van het korte model is uitgegaan van de lange vorm in afb. 2. Uit de zones C, D en E zijn de pakketten verwijderd. De opvangbak is omhoog gebracht van zone F naar zone C, zie afb. 4, constructie 1.

Deze korte cascade is ongeveer 1,5 m hoog en bestaat uit een sproeier met daaronder slechts één pakket van 10 lagen plastic buisjes. Elke laag is samengesteld uit 13 buisjes met een doorsnee van 25 mm. De spleetwijdte tussen 2 buisjes bedraagt 12,5 mm. Elke laag is overdwars ondersteund door 2 buisjes, het hele pakket is 475 mm hoog.

De toegepaste hoeveelheden water en lucht zijn resp. 72 en 2000 m³/h, zodat de water-luchtverhouding 1 : 28 bedraagt. Het water is ontijzerd voorfiltraat van het pompstation Witharen.

Het zo verkregen ontzuringseffect bedraagt 66%, zodat ruimschoots aan de verwachting is voldaan.

Eenzelfde resultaat wordt verkregen met het lange model, waaruit alle pakketten verwijderd zijn, zie afb. 4, constructie II. Het water valt na de sproeiing ononderbroken over ruim 2 meter naar beneden. Hieruit blijkt dat één pakket van 0,5 m hoogte in zone B evenveel tot de ontzuring bijdraagt als een vrije val van 2 meter. Zo kan in voorkomende gevallen een winst van 1,5 m opvoerhoogte worden verkregen.

2.3. Dubbele korte cascade

Door verdubbeling van de korte cascade uit afb. 4 ontstaat de constructie uit afb. 5. Onder de bodem van de opvangbak is in zone D eenzelfde type sproeier aangebracht als in zone A. In de zones B en E ligt een pakket van 10 lagen plastic buisjes.

Door de ventilator wordt de lucht van boven af in de cascade geblazen. De kooldioxidierijke lucht ontwijkt grotendeels door de openingen in zone C. Een klein deel wordt met het water door de sproeier naar zone D meegezogen.

In zone D zuigt het vallende water lucht van buiten aan en deze kan door de ventilatie-openingen in zone F weer ontsnappen. Er is niet getracht de aangezogen lucht van zone D vrij te houden van de mogelijk iets zwaardere afgewerkte lucht uit zone C.

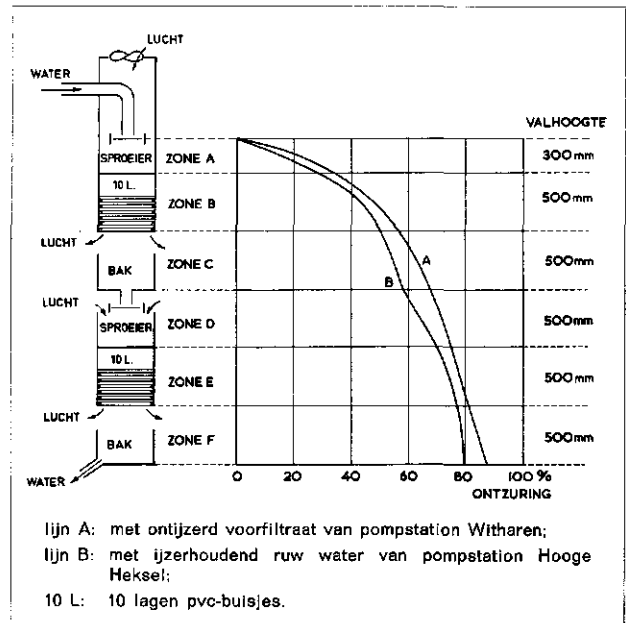
De ontzuringgraad die zo bereikt wordt met filtraat van het pompstation Witharen bedraagt 87% en met ruw water van het pompstation Hooge Heksel 80%, zie afb. 5. Dit is een fraai resultaat, want het is praktisch het dubbele van het effect dat met de enkele korte cascade wordt verkregen.

Ook is deze 87% niet onbelangrijk méér dan de 80% welke met de lange cascade van afb. 2 wordt behaald.

Het gedetailleerde verloop in de ontzuring is op sommige punten niet nauwkeurig aan te geven omdat het — bijv. vlak na een sproeiing — onmogelijk is een representatief monster te nemen. De spreiding in de resultaten gemeten aan monsterkraan 2 is inderdaad groter gebleken dan die aan kraan 3.

De dubbele korte cascade is vervolgens gebruikt voor aanvullende proeven met ruw water van het pompstation Hooge Heksel.

In constructie III van afb. 6 zijn de pakketten uit de zones B en E verwijderd, waardoor het water na de eerste en na de tweede versproeiing een vrije val van



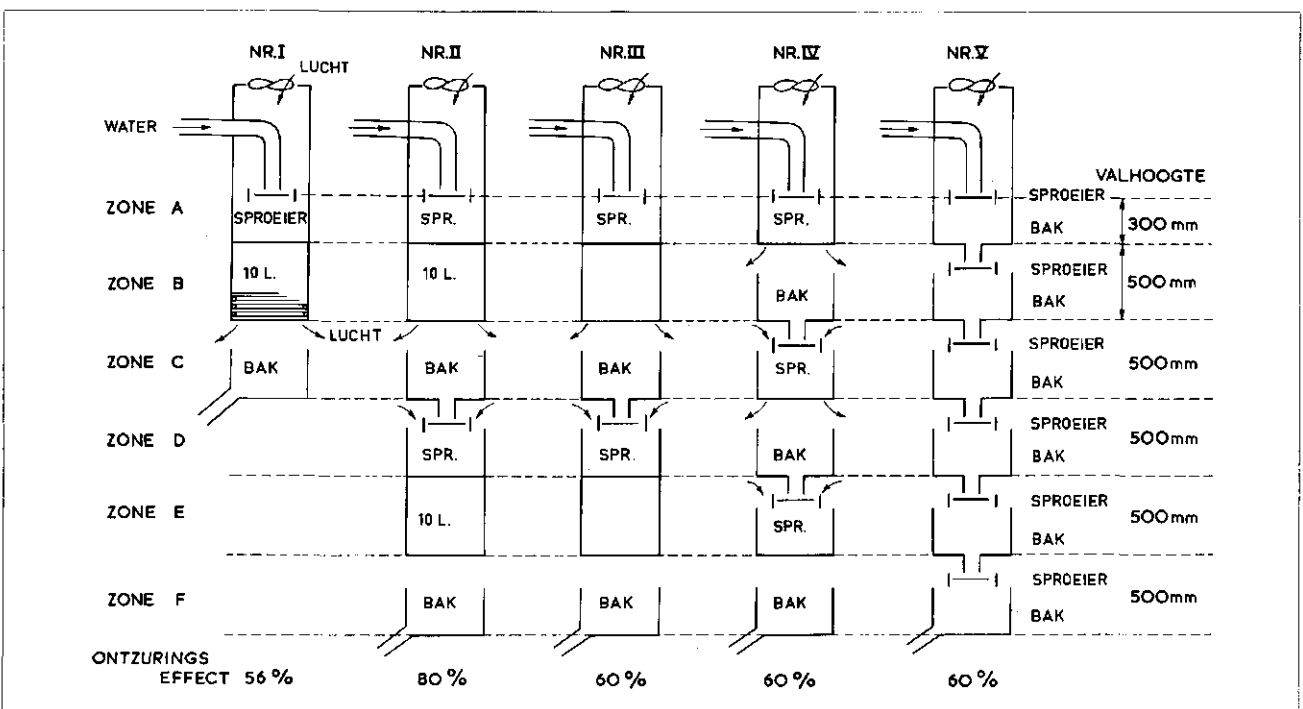
Afb. 5 - Verloop van de ontzuring in de dubbele korte proefcascade.

± 1,3 m ondergaat. Het ontzuringresultaat was ongunstig, nl. slechts 60%.

Eenzelfde resultaat wordt verkregen met een groter aantal sproeiers, namelijk 3 of 6, zoals in de constructies IV en V is aangegeven. De vrije val is dan resp. driemaal 0,8 m en zesmaal 0,3 m. Hieruit blijkt duidelijk dat de toepassing van de met een ring afgeschermd Dresdenersproeier zeker niet de belangrijkste bijdrage aan de ontzuring in de cascade levert.

Met behulp van een groot aantal geperforeerde bodems heeft Kittner te Dresden aanmerkelijk betere resultaten

Afb. 6 - Enkele constructies, nr. 1 de korte proefcascade; nr. 2 de dubbele korte cascade; nr. 3 idem, doch zonder pakketten; nr. 4 een drietrapscascade; nr. 5 een zestrapscascade. Het ontzuringresultaat is bereikt met ijzerhoudend ruw water van het pompstation Hooge Heksel. SPR: sproeier; 10 L: 10 lagen pvc-buisjes.



verkregen [6], zij het ook met lagere snelheden. Zijn systeem ontmoet evenwel bezwaren. Indien het water nog ijzer of mangaan bevat, zullen de gaatjes spoedig verstopt raken [4].

3. Bedrijfscascades

Naar aanleiding van bovenvermelde proeven zijn op het pompstation Sint Jansklooster een drietal korte cascades geplaatst en op het pompstation Witharen een dubbele korte cascade.

3.1. Sint Jansklooster

Op het dak boven de filters zijn drie korte cascades gebouwd, zie afb. 7. Hun oppervlak is 1,3 m², de dikte van het pakket 0,45 m. De plastic buisjes hebben een diameter van 25 mm, de spleetafstand bedraagt 16 mm. De buisjes van iedere laag zijn haaks op die van de onderliggende laag aangebracht.

Het water wordt over vier Dresdener sproeiers verdeeld. Het opzij spatten van het water wordt ter hoogte van de sproeiers verhinderd door middel van een ring en rondom het pakket door asbestcement platen. Hierboven en hieronder heeft de lucht vrije toegang. Er wordt geen ventilator gebruikt.

De cascades ontvingen aanvankelijk ruw water, later voorfiltraat en tegenwoordig wordt gedeeltelijk ontzuurd voorfiltraat verspreid.

De monsters voor de bepaling van CO₂ zijn genomen onmiddellijk onder het pakket plastic buisjes. Deze komen overeen met de monsters uit kraan 3 van de proefcascade, zie afb. 2.

Ondanks de verschillen in constructie, ventilatie en capaciteit zijn de ontzuringresultaten blijkens tabel III redelijk goed in overeenstemming met die van de korte proefcascade.

TABEL III - Ontzuringresultaat van de korte bedrijfscascade te St. Jansklooster met ruw water en met voorfiltraat. Daaronder het overeenkomstige resultaat van de korte proefcascade.

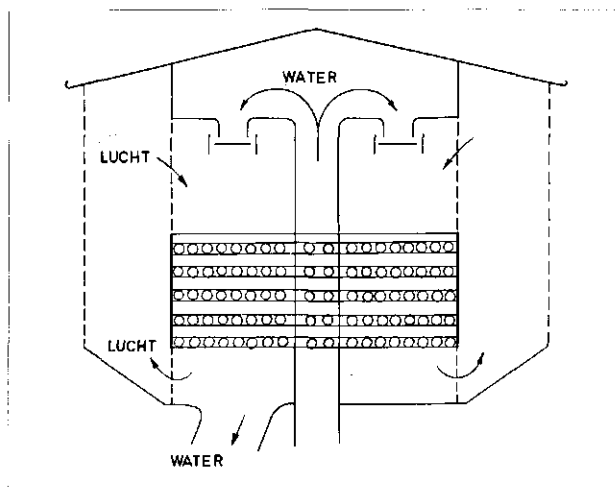
	CO ₂ -gehalte in mg/l		ontzuring in %	watersnelheid
	aanvoer	afvoer		
bedrijfscascade				
ruw	52	26	50	160 m/h
voorfiltraat 1	33	14	57	175 m/h
voorfiltraat 2	14	6	57	240 m/h
proefcascade				
ruw	32	17	47	288 m/h
voorfiltraat	35	16	54	288 m/h

3.2. Witharen

Op het pompstation Witharen werd het water na beluchting en ontijzing in gesloten droogfilters tot 1964 ontzuurd door middel van Dresdener sproeiers boven de open nafilts.

Het zo verkregen ontzuringresultaat van 56 tot 62% was niet voldoende om de agressiviteitsgrens te bereiken. Hiervoor zou in het ongunstigste geval een ontzuring van 85% nodig zijn.

Op grond van de resultaten met de proefcascade werd verwacht dat alleen een combinatie van twee korte cascades boven elkaar aan die eis zou kunnen voldoen. Ter voorkoming van overbelasting werd de maximum watersnelheid voorlopig bepaald op 150 m/h. Om technische redenen is de cascade tegen de buitenmuur van het filtergebouw geplaatst. De afmetingen zijn 5,6 × 0,7



Afb. 7 - Korte bedrijfscascade te Sint Jansklooster.

meter. Dit is de eerste cascade met een langwerpige vorm. Alle hierna gebouwde exemplaren bezitten deze vorm, waarbij de breedte in de regel niet meer dan 1 meter bedraagt. Er wordt verondersteld, dat de luchtverdeling in de cascade beter is wanneer de breedte niet te groot is.

Tengevolge van de plaatsing tegen de buitenmuur kan de afgewerkte lucht slechts aan één van de lange zijanten ontwijken, hetgeen voor de ontzuring mogelijk een ongunstig effect heeft. In de proefcascade is deze situatie daarom zo goed mogelijk nagebootst. Het onder die omstandigheden bereikbare effect is een ontzuring van 80% met geforceerde ventilatie in de bovenhelft van de cascade en een van 75% zonder gebruik van een ventilator. Om toch de gewenste 85% te kunnen bereiken is de bedrijfscascade niet alleen uitgerust met drie ventilatoren voor de bovenhelft, maar ook met een ventilator speciaal voor de onderhelft, zie afb. 8.

De scheiding tussen beide helften wordt gevormd door een lange goot met een spleet van 30 mm en daaronder een spatplaat van 120 mm breed. Deze constructie is gekozen om het water ook bij een sterk wisselend debiet toch zo gelijkmatig mogelijk over de onderhelft te kunnen verdelen.

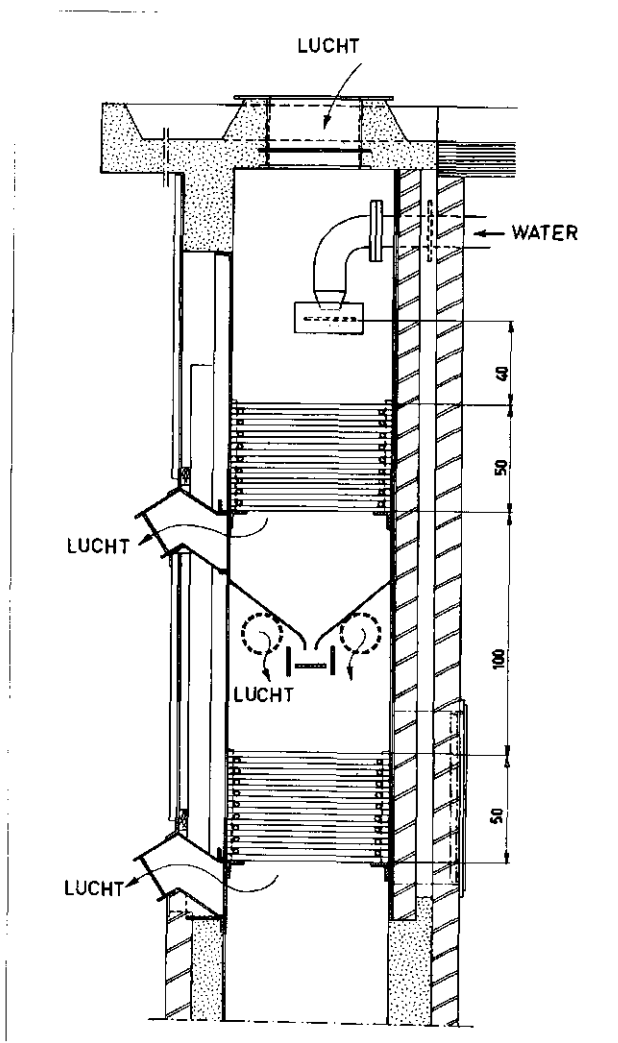
De pakketten zijn 0,5 m dik. Ze zijn opgebouwd uit 10 lagen plastic buisjes. De buisdiameter bedraagt 25 mm. De spleetafstand, 33 mm, is veel groter dan in de proefcascade.

De ontzuringresultaten zijn ondergebracht in tabel IV. Het effect blijkt belangrijk lager te liggen dan werd verwacht.

Een nader onderzoek heeft uitgewezen, dat het CO₂-gehalte — bij een snelheid van 140 m/h — in de bovenhelft van de cascade daalde van 55 naar 20 mg/l en in de onderhelft van 20 naar 14 mg/l.

TABEL IV - Ontzuringresultaat van de bedrijfscascade te Witharen onder verschillende omstandigheden.

Serie	snelheid m/h	ventilatoren	ontzuring		
			in mg/l		in %
			van	naar	
1	75	aan	46	11	76
2	100	aan	63	14,5	77
3	140	aan	55	14	75
4	60	uit	46	14	70
5	140	uit	55	18	67



Afb. 8 - Zijaanzicht dubbele korte bedrijfscascade te Witharen.

De ontzuring in de bovenhelft is met 64% praktisch even goed als in de korte proefcascade.

Het zwakke punt is dus de onderhelft, waar de ventilatie en de waterverdeling minder gunstig kunnen zijn.

Gebleken is dat de verdeling van het water vooral bij lage debieten nog te wensen overlaat. Het water valt vrijwel recht naar beneden. Dit verklaart tevens, waarom het ontzuringseffect bij uiteenlopende debieten zo weinig verschilt.

Waarschijnlijk zou het resultaat met een aantal kleinere eenheden naast elkaar beter geweest zijn.

Het is gebleken dat met een korte cascade relatief zeer goede resultaten behaald kunnen worden. Met twee korte cascades boven elkaar kan in principe een beter effect bereikt worden dan met één lange. De realisatie hiervan stelt echter hogere eisen aan de constructie en de ventilatie. De later gebouwde cascades zijn mede hierom weer lang geworden.

3.3. Brucht

Als tegenhanger van de cascade te Witharen is in Brucht een geheel vrijstaande open cascade gebouwd, waar de lucht boven, tussen en onder de beide pakketten vrij kon toetreden, zie afb. 9.

De langwerpige vorm bleef gehandhaafd, al is de constructie uit twee delen gemaakt, zodat de ene helft in be-

drijf kan blijven wanneer aan de andere gewerkt moet worden.

De resultaten met deze open cascade waren goed, zie afb. 10. De spreiding van de resultaten als gevolg van de weersomstandigheden bedroeg slechts 4%.

De omstandigheden bleken echter dermate gunstig te zijn voor algengroei, dat de cascade dichtgemaakt en van ventilatoren voorzien moest worden. Door deze ombouw is de ontzuring zelfs nog iets verbeterd en deze overtreft nu die van de beste bedrijfscascade.

3.4. Manderveen

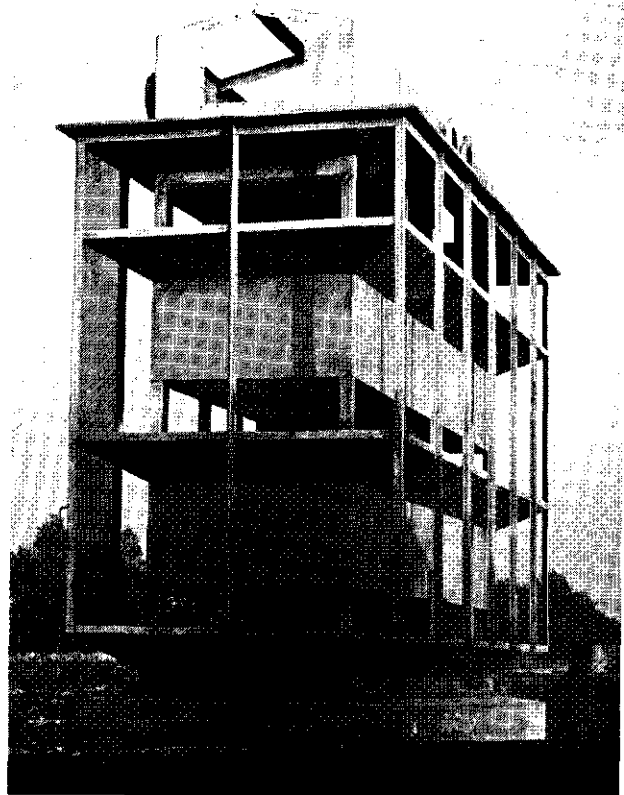
Het ruwe water op het pompstation Manderveen bevat aan kooldioxide 18 mg/l en aan ijzer ongeveer 0,2 mg/l. Door „filtratie” over marmer kan het water goed ontzuurd worden. De waterstofcarbonaat hardheid stijgt daardoor van 0,5 tot 2,5 à 3°D.

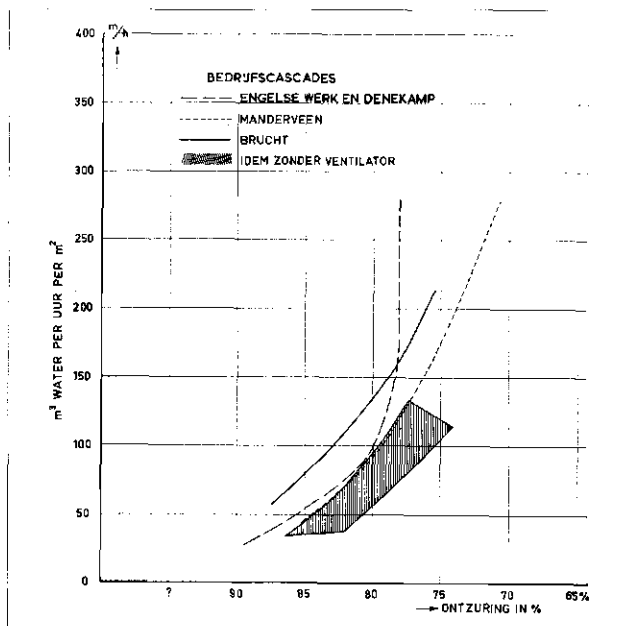
Ter besparing op het marmer is hier echter een cascade gebouwd, zie afb. 11. Deze bestaat uit twee helften, elk 1,5 m lang en 1 m breed. De cascade is geheel gesloten en uitgerust met ventilatoren.

Het gemengde ruwe water wordt met behulp van acht Dresdener sproeiers over de cascade verdeeld. De val van het water wordt gebroken door twee pakketten van dezelfde opbouw als te Brucht, zie afb. 9.

Het ontzuringresultaat is opgenomen in afb. 10. Hieruit blijkt dat het effect bij de lagere snelheden ongeveer even goed is als dat van de andere cascades. Bij de hogere snelheden loopt de ontzuring — evenals te Brucht — terug met toenemende snelheid. Het verloop van deze lijn is overigens veel logischer dan de verticale lijn van de cascade in het Engelse Werk, waar de ontzuring prak-

Afb. 9 - Open bedrijfscascade te Brucht in aanbouw.





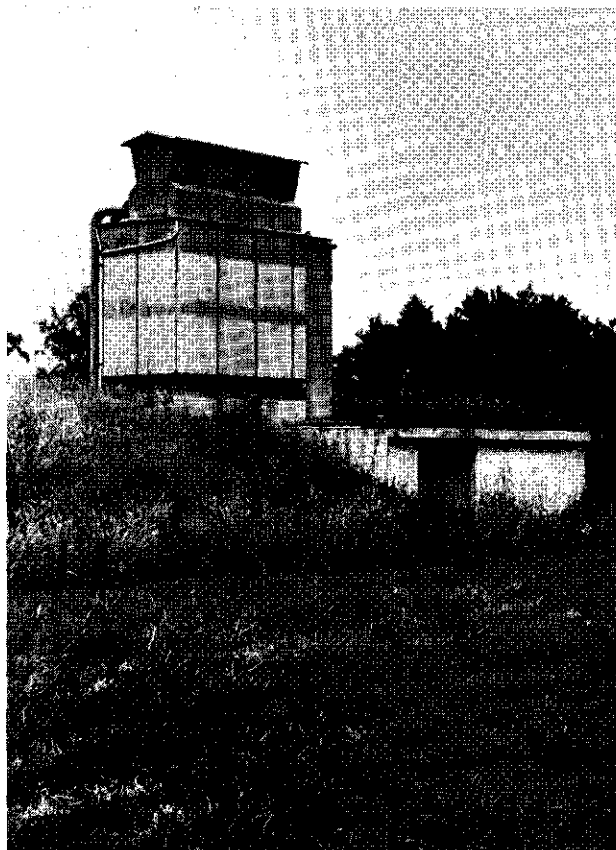
Afb. 10 - De ontzuringresultaten van enkele bedrijfscascades naast elkaar.

tisch onafhankelijk van het debiet is. Hiervoor is nog geen bevredigende verklaring gevonden.

4. Kosten

Een pompstation met een maximum uurcapaciteit van bv. 600 m³ heeft voor een éénmalige ontzuring van 80% een cascade-oppervlak van 5 à 6 m² nodig. De bouw-

Afb. 11 - Gesloten bedrijfscascade te Manderveen.



kosten van zo'n cascade bedragen inclusief leidingwerk en betonnen opvangbak, globaal f 20.000,—. De jaarlijkse vaste kosten kan men stellen op rond 16% ofwel f 3.200,—.

De variabele kosten zijn in hoofdzaak de energiekosten. Deze bedragen ongeveer f 300,— per miljoen m³ per meter opvoerhoogte. Stelt men de jaarafgifte op 3 miljoen m³ en de opvoerhoogte op 4 m, dan bedragen de jaarlijkse variabele kosten ongeveer f 3.600,—. De kosten bedragen derhalve rond 0,25 cent per m³. Wingrich berekende in 1968 voor Oostduitse omstandigheden veel minder nl. 0,13 pfennig per m³ [4].

Bijkomende kosten kunnen ontstaan door de noodzaak de bestaande pompinstallatie aan te passen, bv. indien een extra pomphase vereist is.

5. Meer dan 80% ontzuring

Water met een betrekkelijk hoog kooldioxidegehalte en slechts weinig ijzer kan met eenvoudige middelen voor 75 à 80% worden ontzuurd door middel van een cascade. De schijnbare watersnelheden kunnen zeer hoog zijn, nl. 100 tot 200 m/h.

Is een ontzuring van meer dan 80% gewenst, dan zijn er verschillende mogelijkheden.

a. lucht

Is de lucht-waterverhouding goed, d.w.z. voor een ontzuring van 80, 85 en 90% resp. 15, 30 en 60, dan heeft vergroting van de luchthoeveelheid weinig zin [3].

Toepassing van het tegenstroomprincipe kan, mits krachtige ventilatoren of blowers gebruikt worden, een merkbare verbetering betekenen. Dit is ook het geval indien halverwege de cascade de CO₂-rijke lucht wordt afgevoerd. De onderhelft van de cascade krijgt dan verse lucht aangevoerd, zoals bij de bovenbeschreven dubbele korte cascade.

b. water

Uit afb. 9 blijkt dat verlaging van de watersnelheid bijna altijd gepaard gaat met een verhoging van het ontzuringseffect. Met de cascade te Denekamp wordt het water bij een snelheid van 100 m/h voor 80% ontzuurd en bij 50 m/h voor 85%. Om dezelfde capaciteit te behouden is dan voor een ontzuring van 85% een tweemaal zo groot cascade-oppervlak nodig als voor een van 80%. De investering wordt hoger, de energiekosten blijven gelijk.

Bouwt men twee cascadefasen in serie, dan is een ontzuringseffect van ongeveer 96% bereikbaar. De investering en de energiekosten zijn in dat geval ongeveer tweemaal zo hoog als bij één cascade.

In veel gevallen zal het evenwel voordeliger zijn na een mechanische ontzuring van 75 à 80% een chemische restontzuring toe te passen, bijvoorbeeld met natronloog of kalk. Dit komt doordat de kosten bij de mechanische ontzuring van bv. 50 mg CO₂/l naar 10 mg/l even groot zijn als die van 10 mg/l naar 2 mg/l, terwijl bij de chemische ontzuring de kosten van de chemicaliën evenredig zijn met het aantal te binden mg CO₂/l en dus afnemen bij lagere CO₂-gehalten.

6. Voor- en nadelen

De voordelen van de mechanische ontzuring door middel van cascadetorens zijn:

1. de constructie van een cascade is vrij eenvoudig,
2. er is weinig ruimte voor nodig,

3. een cascade kan niet alleen rein water, maar ook vóórfilteraat of ruw water ontzuren, al verdient vóórfilteraat uit hygiënische overwegingen de voorkeur [3],
4. de cascade kan zowel in een gesloten ruimte als in de buitenlucht worden opgesteld,
5. de investering is laag,
6. de onderhoudskosten zijn vrij gering,
7. de controle is minimaal,
8. het ontzuringsresultaat is constant, extreme pH-veranderingen tengevolge van een storing zijn uitgesloten,
9. de verwijdering van CO₂ gaat gepaard met de afgifte van eventueel aanwezige H₂S en vluchtige organische verbindingen en met de opname van O₂,
10. de hardheid van het water blijft constant.

De nadelen zijn:

1. het ontzuringsproces kost 3 tot 5 m opvoerhoogte,
2. soms is een extra pompfase nodig,
3. de cascade staat in open verbinding met de buitenlucht, dit vereist speciale maatregelen ter voorkoming van infectie,
4. de CO₂-rijke lucht is erg vochtig, deze kan oorzaak zijn van extra corrosie en van algengroei,
5. op de buisjes zet zich ijzerslib en organisch materiaal af, dat periodiek verwijderd moet worden.

Wanneer de hygiënische bezwaren goed ondervangen worden, wegen de voordelen veelal zwaarder dan de nadelen.

De cascade-torens blijken aan hoge eisen te kunnen voldoen. Zij hebben zowel bij binnenlandse als bij buitenlandse deskundigen een goede reputatie [2, 4, 6 en 7]. De directie van de Waterleiding Maatschappij „Overijssel” NV ben ik erkentelijk voor haar toestemming tot publicatie van deze gegevens. Mej. A. H. M. Boelens, hoofd van het laboratorium, ben ik zeer dankbaar voor haar stimulans en voor de kritische discussies. De heer W. Hafkamp dank ik voor zijn zorgvuldigheid bij de vele CO₂-bepalingen.

Literatuur

1. Beek, W. J., H₂O 1 (1968) 436.
2. Huisman, L., H₂O 2 (1969) 2.
3. Boelens, A. H. M. en Sybrandi, J. C., Water 50 (1966) 214.
4. Wingrich, H. Wasserwirtsch. Wassertechn. 18 (1968) 267.
5. Axt, G., Jahrbuch Vom Wasser 26 (1959) 174.
6. Kittner, H., Wasserwirtsch. Wassertechn. 13 (1963) 124, 160.
7. Axt, G., Jahrbuch Vom Wasser 35 (1968) 356.