

ONTWERP STANDAARDBEKERGLASPROEFAPPARAAT EN
VERGELIJKEND ONDERZOEK VAN VLOKMIDDELEN

Mededeling nr. 70 van het KIWA

opgesteld door: dr.ir. A.P. Meijers,
ir. P.J. de Moel,
ing. J.A.M. van Paassen

Nieuwegein, juli 1984

<u>INHOUD</u>	<u>Blz.</u>
VERANTWOORDING	4
SUMMARY	6
SAMENVATTING	8
1 INLEIDING	10
2 ONTWIKKELING VAN EEN STANDAARDBEKER- GLASPROEF	14
2.1 Inleiding	14
2.2 Beschrijving van het standaardbeker- glasproefapparaat	14
2.3 Opstellen van een voorschrift voor de uitvoering van de standaardbeker- glasproef voor bezinking	16
2.3.1 Bepaling van de optimale mengtijd en G-waarde tijdens menging	16
2.3.2 Vaststelling van een criterium voor de optimale vlokmiddeldosering	22
2.3.3 Bepaling van de optimale vloktijd en bezinktijd	25
2.3.4 Bepaling van de optimale G-waarde tijdens vlokvorming	31
2.4 Opstellen van een voorschrift voor de uitvoering van de standaardbekerglas- proef bij gebruik van vlokhulpmiddelen	36
2.5 Opstellen van een voorschrift voor de uitvoering van de standaardbekerglas- proef voor flotatie	41
2.5.1 Bepaling van het optimale recircula- tiepercentage	41
2.5.2 Bepaling van de optimale vlokvormings- en flotatiecondities	43
2.6 Samenvatting	46

3	VERGELIJKEND ONDERZOEK VAN VLOKMIDDE- LEN MET BEHULP VAN HET STANDAARDBEKER- GLASAPPARAAT	48
3.1	Inleiding	48
3.2	Uitvoering van het vergelijkend onder- zoek	48
3.3	Bepaling van de optimale pH bij de do- sering van metaalzouten	49
3.3.1	Bepaling van de optimale pH bij dose- ring ijzer(III)chloride	49
3.3.2	Bepaling van de optimale pH bij dose- ring van aluminiumzouten	49
3.4	Vergelijkend onderzoek van vlokmidde- len bij optimale pH	56
3.4.1	Vergelijking van verschillende soorten ijzer(III)chloride	56
3.4.2	Vergelijking van verschillende alumi- niumzouten	57
3.5	Samenvatting	63
4	VERGELIJKEND ONDERZOEK VAN VLOKMIDDE- LEN IN EEN PROEFINSTALLATIE	64
4.1	Inleiding	64
4.2	Beschrijving van de proefinstallatie	66
4.3	Uitvoering van de proeven	67
4.4	Resultaten van het onderzoek	70
4.4.1	Vergelijkend onderzoek van vlokmidde- len in de zomersituatie	70
4.4.2	Vergelijkend onderzoek van vlokmidde- len in de wintersituatie	72
4.5	Samenvatting	80
5	KATIONISCHE POLYMEREN ALS PRIMAIR VLOKMIDDEL	82

	<u>Blz.</u>
5.1 Inleiding	82
5.2 Uitvoering en resultaten	82
5.3 Conclusies en aanbevelingen	86
6 FACETTEN DIE BIJ DE KEUZE VAN EEN VLOKMIDDEL EEN ROL SPELEN	87
7 SLOTBESCHOUWING EN AANBEVELINGEN	89
LITERATUUR	90
BIJLAGE 1	
BIJLAGE 2	
BIJLAGE 3	

VERANTWOORDING

Het vergelijkend onderzoek van vlokmiddelen is uitgevoerd door het KIWA in het kader van het VEWIN-speurwerkprogramma en is begeleid door de Werkgroep Menging en Vlokvorming, voorheen de Werkgroep Vlok-middelen en Vlokhulpmiddelen. Deze Werkgroep res-sorteert onder de Commissie Vlokvorming en Vlokver-wijdering.

De samenstelling van de Werkgroep is als volgt:

- ir. J. van Puffelen - Duinwaterleiding van
's-Gravenhage, voorzitter
- ing. A. Kostense - KIWA N.V., secretaris
(vanaf 1980)
- ir. A.N. van Breemen - Laboratorium voor Gezond-
heidstechniek Technische
Hogeschool Delft
- ir. J.G. Janssens - Antwerpse Waterwerken N.V.
(vanaf 1981)
- dr.ir. J. Leentvaar - Deltadienst, voorheen Land-
bouwhogeschool Wageningen
- ir. F. van Menxel - Antwerpse Waterwerken N.V.
(tot 1980)
- dr.ir. A.P. Meijers - N.V. Watertransportmaat-
schappij Rijn-Kennemerland,
voorheen KIWA N.V.
- ir. A.I.A. Soppe - Gemeentelijk Waterbedrijf
Groningen
- ir. A.J. van der Veer - Drinkwaterleiding Rotterdam
(tot 1981)
- ir. J.P. Buiteman - Drinkwaterleiding Rotterdam
(vanaf 1981)
- dr. J.C. Kruithof - KIWA N.V.
(vanaf 1980)

De mededeling is opgesteld door dr.ir. A.P. Meijers met bijdragen van ir. P.J. de Moel en ing. J.A.M. van Paassen.

De mededeling is geredigeerd door ing. A. Kostense en dr. J.C. Kruithof, die tevens de mededeling in haar definitieve vorm hebben samengesteld.

SUMMARY

Research into coagulants gave rise to the development of standard jar test equipment and a standard procedure.

In the first place the effect of stirrer types and baffles on rapid mixing has been studied. Criteria were selected to determine the optimum coagulant dose and the optimum flocculation and sedimentation time. Subsequently the energy input during flocculation was optimized. Procedures were developed for both sedimentation and flotation jar test equipment, which can serve as a basis for comparative research and as a starting point for determining optimum flocculation conditions.

The standard procedure was used to compare the effect of a number of coagulants on water of the river Rhine and Meuse under summer and winter conditions. The water quality at optimum coagulant dose after sedimentation and flotation was compared. Optimum pH range was found to be different for iron and aluminium salts. The optimum pH range was found to be 7,8 to 8,5 for iron salts and 6,5 to 7,0 for aluminium salts. For this reason aluminium salts were more effective for the removal of organic compounds. Research indicated that the optimum molar coagulant dose was the same for both coagulants. No difference was observed between the average turbidity after coagulation with iron and aluminium salts. For iron salts the minimum residual concentration of coagulant appeared to be lower than that for aluminium salts. Sachtoklar (a basic aluminium salt) which can be applied in a broad pH range gave better results at lower dosage under winter conditions.

Pilot plant experiments with settled river Rhine water do not confirm these results completely, which may be due to different settling conditions in jar test equipment and in the pilot plant. In the pilot plant in summer iron salts gave longer filter runs than aluminium salts. Sachtoklar was not investigated. In winter, however, best results were obtained with Sachtoklar. For river Rhine water with a high turbidity sludge characteristics were found to differ slightly.

The optimum coagulant dose can not be determined by means of jar tests only. Additional pilot plant experiments are necessary. Selection of coagulant is also determined by ease of handling and economic considerations.

SAMENVATTING

Uit voorgaande onderzoeken van vlokmiddelen is het wenselijk gebleken te komen tot een standaardisatie van een bekerglasproefapparaat met een eenduidig voorschrift.

Ten einde dit mogelijk te maken is onderzoek verricht naar de uitvoering van roerdertypen en keerschotten. Bij de uitvoering hiervan stond de wens van een snelle menging centraal.

Vervolgens is onderzoek verricht ter vaststelling van de duur van de vloktijd en de bezinktijd, alsmede de tijdens de vlokvorming in te brengen energie. Hierbij zijn criteria opgesteld ter bepaling van de optimale waarden van de dosering van de chemicaliën, de optimale vloktijd en bezinktijd. Tenslotte zijn voorschriften opgesteld voor de uitvoering van een bekerglasproef, zowel voor sedimentatie als flotatie. Dit voorschrift kan als basis gelden voor vergelijkend onderzoek bij verschillende bedrijven en als uitgangspunt voor onderzoek bij een specifiek bedrijf.

Met behulp van de aldus gestandaardiseerde proef is een vergelijkend onderzoek met een aantal vlokmiddelen uitgevoerd. Dit is gebeurd voor zowel Lekkanaal- als Maaswater bij de actuele watertemperatuur, zowel onder zomer- als wintercondities. De beoordeling heeft plaatsgevonden op de optimale dosering en de kwaliteit van het water na bezinking en flotatie. Gevonden is dat in verband met de gewenste troebelheid en het restvlokmiddelgehalte de optimale pH verschilt; voor ijzerzouten dient de pH in het gebied 7,8 tot 8,5 te liggen, voor aluminiumzouten tussen 6,5 en 7,0. Dit heeft direct tot gevolg dat de aluminiumzouten een gunstiger resultaat geven voor de verwijdering van organische

stoffen.

Uit het onderzoek is voorts gebleken dat de optimale dosis op molaire basis gemiddeld genomen gelijk is. Ook is er geen verschil in de gemiddeld te bereiken troebelheid. De ijzerzouten zijn alleen licht in het voordeel wat betreft het te bereiken restvlokmiddelgehalte op molaire basis. Sachtoklar heeft nog het voordeel dat het over een groter pH-gebied toegepast kan worden en in de wintersituatie bij een lagere dosering een betere waterkwaliteit geeft.

De proeven in de proefinstallatie met voorbezonden Lekkanaalwater bevestigen dit beeld niet geheel, hetgeen veroorzaakt wordt door het verschil in bezinking van de vlok in een bekersglas en een lamellenafscheider.

Het onderzoek op de proefinstallatie met Lekkanaalwater gaf aan dat 's zomers ijzerchloride de voorkeur geniet boven aluminiumsulfaat vanwege de langere filterlooptijden. Sachtoklar is hierbij niet onderzocht. In de wintersituatie blijken de beste resultaten met Sachtoklar geboekt te worden. Hiermee wil niet gezegd zijn, dat dit voor andere wassertypen ook geldt.

Bij toepassing van verschillende vlokmiddelen zijn de verschillen in slibeigenschappen van coagulatieslib van Lekkanaalwater, dat een relatief hoog zwevende stofgehalte heeft, betrekkelijk gering. Bij andere slibsoorten kan het anders liggen. Gebleken is, dat bij de beoordeling van vlokmiddelen wat betreft de optimale dosis en de te bereiken waterkwaliteit niet volstaan kan worden met alleen bekersglasproeven, doch dat eveneens proeven op proefinstallatieschaal noodzakelijk zijn.

Bij de keuze van een vlokmiddel speelt naast de genoemde facetten ook het gemak van toepassing een rol, terwijl vaak de prijs doorslaggevend zal zijn.

INLEIDING

De Werkgroep Vlok Vorming en Menging, voorheen de Werkgroep Vlokmiddelen en Vlokhulpmiddelen, die ressorteert onder de Commissie Vlok Vorming en Vlokverwijdering heeft als eerste doelstelling de praktische evaluatie van de commercieel beschikbare vlokmiddelen en van de van een Verklaring van Geen Bezwaar op Toxicologische Gronden (VGB) voorziene vlokhulpmiddelen. De eerste taak van de Werkgroep is geweest het reeds bij de waterleidingbedrijven verrichte onderzoek op het genoemde gebied te inventariseren en aanbevelingen te formuleren voor eventueel verder onderzoek (lit. 1). Het betreft voor het merendeel onderzoek aan semi-technische proefinstallaties. Daarnaast zijn ook bekerglasproeven beschreven en in een enkel geval een proef op technische schaal. Het te coaguleren water varieert sterk van karakter, namelijk van humusarm met een gering zwevende stofgehalte tot humusrijk met een hoog zwevende stofgehalte. Een onderlinge vergelijking van de bedrijfsgegevens is om deze reden nogal dubieus. Ook vergelijking van gegevens binnen het bedrijf van na elkaar verrichte proeven met verschillende vlokmiddelen en vlokhulpmiddelen is niet altijd mogelijk, vooral niet bij een sterk variërende kwaliteit van de ruwwaterbron.

Voor bekerglasproeven, waarbij kan worden uitgegaan van één monster water van gelijke samenstelling, geldt dit bezwaar niet of minder. De onderzochte vlokmiddelen zijn vooral ijzer(III)chloride en aluminiumsulfaat, maar daarnaast ook ijzer(III)sulfaat, ijzer(III)chloridesulfaat, polyaluminiumhydroxychloride en in een enkel geval de mengproducten AVR en ferrifloc.

De vlokhulpmiddelen, die bij de onderzoeken veel

minder aandacht hebben gekregen, betreffen circa vijftien verschillende en op het oog willekeurig gekozen stoffen uit de honderden mogelijkheden.

Zwakke punten bij vrijwel alle onderzoeken zijn de onvoldoende optimalisering van de dosering van de afzonderlijke vlokmiddelen. Vooral de invloed van de pH, de keuze van het vlokhulpmiddel en de dosis hiervan is onvoldoende onderzocht. De interpretatie van de resultaten wordt tevens bemoeilijkt door het onvoldoende vermelden van beoordelingscriteria. De criteria dienen te zijn gebaseerd op de doelstelling van het coagulatieproces. De keuze van deze criteria beïnvloedt de vergelijking van de experimenten in sterke mate.

Ondanks deze bezwaren is het toch wel mogelijk uit de gegevens enige indicaties te halen, onder andere over de molaire verhouding tussen ijzer en aluminium om een bepaald effect te bereiken. Voor troebelheidsreductie lijkt deze verhouding ongeveer 1,5 te bedragen. De verschillende ijzer(III)zouten lijken onderling weinig verschil te geven in effectiviteit. Het onderzochte polyaluminiumhydroxychloride (Sachtoklar) lijkt op basis van het aluminiumgehalte ongeveer even effectief te zijn als aluminiumsulfaat. Mogelijk kunnen andere voordelen van het polyaluminiumhydroxychloride van betekenis zijn. Mengprodukten als AVR en ferrifloc zijn nog onvoldoende onderzocht.

Ondanks deze indicaties is het duidelijk, dat voor een goede evaluatie van commercieel beschikbare vlokmiddelen en van de van een VGB voorziene vlokhulpmiddelen de beschikbare bedrijfsgegevens onvoldoende zijn.

Nieuw onderzoek op dit gebied is dan ook noodzakelijk gebleken. De nadruk is daarbij allereerst

gelegd op het ontwikkelen van een standaardbeker-glasproef en van een voorschrift voor de gestandaardiseerde uitvoering van de vergelijkingsproeven. De beoordelingscriteria zijn scherper gedefinieerd. Voor de vlokmiddelen gaat het hierbij vooral om waterkwaliteitsverbeterende effecten. Voor de vlokhulpmiddelen moeten andere criteria worden gehanteerd betrekking hebbende op de eigenschappen van vlokken bij bezinking. Voor zover mogelijk moeten de resultaten van dit onderzoek op laboratoriumschaal geverifieerd worden in semi-technische proefinstallaties.

Voorts is onderzoek verricht naar de werking van een aantal vlokmiddelen. Als voorbereiding op dit onderzoek is een literatuurstudie uitgevoerd op het gebied van vergelijkend onderzoek van vlokmiddelen (lit. 2). Uit de vermelde hoeveelheid literatuur die te vinden is, zou geconcludeerd kunnen worden dat al voldoende onderzoek aan vlokmiddelen is gedaan. Opgemerkt dient te worden dat de onderzoeken zoals in lit. 2 verzameld evenals de onderzoeken vermeld in lit. 1, aanzienlijk variëren wat betreft de opzet van de proeven alsmede de gerichtheid. De meeste proeven zijn uitgevoerd in bekerglasapparaten of in installaties op semi-technische schaal. De wijze van uitvoering is veelal niet beschreven of varieert sterk. Mede door deze factoren en door het sterk variërende karakter van het te coaguleren water is onderlinge vergelijking van de gegevens moeilijk.

Voor een goede evaluatie van de beschikbare vlokmiddelen zijn de gegevens uit de literatuur derhalve onvoldoende. Onderzoek is daarom noodzakelijk.

Deze mededeling beperkt zich voornamelijk tot het verrichte onderzoek van de vlokmiddelen, waarbij

allereerst de opzet van de bekerglasproef besproken zal worden. Onderzoek op het gebied van vlokhelpmiddelen is elders gepubliceerd (lit. 3). Ook in deze mededeling wordt aandacht geschonken aan de standaardcondities voor de bekerglasproef bij het gebruik van vlokhelpmiddelen. Tenslotte wordt ingegaan op het gebruik van polymeren als primair vlok-middel.

2 ONTWIKKELING VAN EEN STANDAARDBEKERGLASPROEF

2.1 Inleiding

Bij verschillende waterleidingbedrijven zijn reeds vele jaren proeven uitgevoerd met bekerglasproefapparaten, die in de meeste gevallen door de bedrijven zelf zijn ontworpen. Deze apparaten zijn verschillend van model, grootte en uitvoering. Om een vergelijking van resultaten binnen één bedrijf in de tijd en tussen bedrijven onderling mogelijk te maken en fouten en onvolkomenheden bij de uitvoering te vermijden is het noodzakelijk een gestandaardiseerd bekerglasproefapparaat en een gestandaardiseerde wijze van uitvoeren van de proeven te ontwikkelen. Ook de begeleidende analyses en met name de troebelheidsmeting dienen op gestandaardiseerde of genormaliseerde wijze te worden uitgevoerd.

Het doel van de bekerglasproeven is op snelle wijze inzicht te verkrijgen in de invloed van een aantal variabelen zoals variaties in de kwaliteit van het ruwe water, de temperatuur, de pH en de vlokmiddeldosis op de uiteindelijke te verkrijgen waterkwaliteit na vlokvorming en vlokverwijdering door bezinking of flotatie onder ideale omstandigheden. In hoeverre deze resultaten naar de praktijk "vertaalbaar" zijn, moet van geval tot geval nader onderzocht worden, bijvoorbeeld in een installatie op semi-technische schaal. Eerst wordt de bekerglasproef voor bezinking beschreven, vervolgens komt de bekerglasproef voor flotatie aan de orde.

2.2 Beschrijving van het standaardbekerglasproefapparaat

Het apparaat is opgebouwd uit een frame waarin zes

Fig.1^a

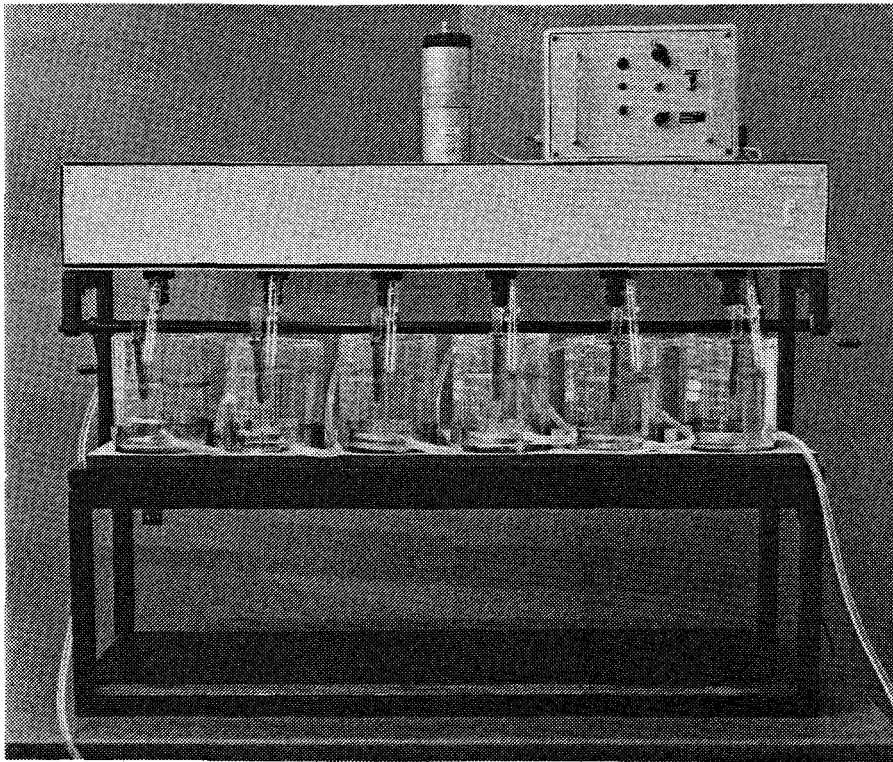
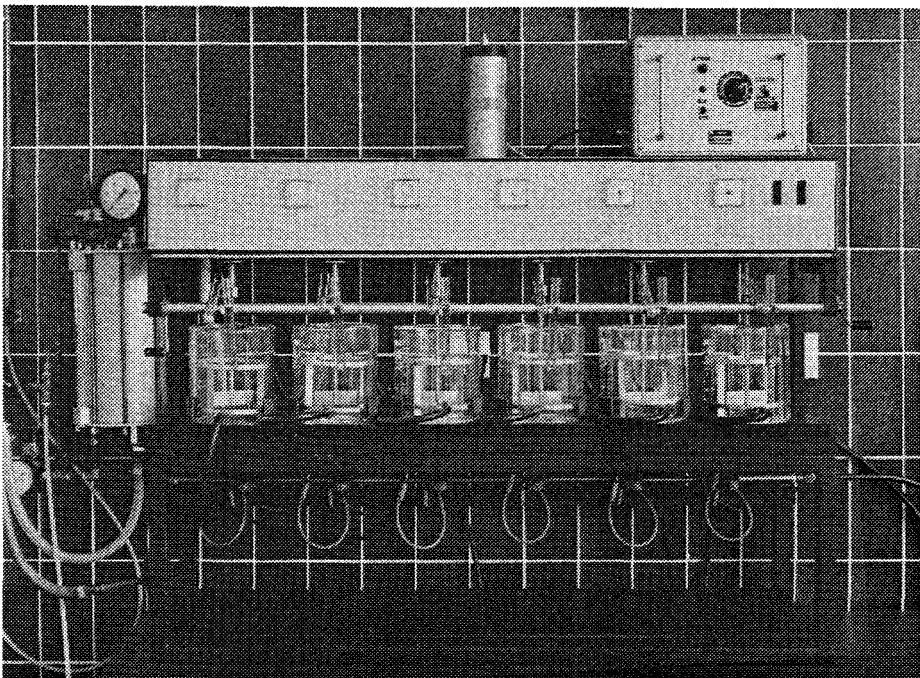


Fig.1^b



Figuur 1 - Het standaard bekerglasproefapparaat voor sedimentatie (a) en flotatie (b)

bekerglazen zijn geplaatst. Tevens zijn twee onafhankelijk te bedienen kantelrekken aangebracht welke dienen voor gelijktijdige snelle dosering van chemicaliën in alle bekerglazen. Het apparaat is voorzien van vastklemmechanismen voor de zes roerders, die gelijktijdig worden aangedreven door een motor met variabel toerental dat traploos instelbaar is van 10 tot 550 toeren per minuut. Het apparaat is uitgerust met bekerglazen van kunststof. De bekerglazen zijn dubbelwandig uitgevoerd, hetgeen thermostatering mogelijk maakt.

Er zijn twee uitvoeringsvormen van het standaardbekerglasapparaat. Bij het eerste type vindt vlokafscheiding plaats door middel van bezinking. Dit type, dat is opgebouwd als hierboven beschreven is afgebeeld in figuur 1a.

Bij het tweede type vindt vlokafscheiding plaats door middel van flotatie. Hiertoe is het hierboven beschreven apparaat zodanig gemodificeerd dat met lucht verzadigd water in de bekerglazen kan worden gebracht. Het apparaat is additioneel uitgerust met een luchtverzadigingstank, van waaruit het met lucht verzadigde water via zes tijdgestuurde magneetkleppen in de bekerglazen wordt geleid. De bekerglazen zijn hiertoe voorzien van nozzles. Dit tweede type apparaat is afgebeeld in figuur 1b.

2.3 Opstellen van een voorschrift voor de uitvoering van de standaardbekerglasproef voor bezinking

2.3.1 Bepaling van de optimale mengtijd en G-waarde tijdens de menging

Bij de beschrijving van de apparatuur is nog niet gesproken over de constructie van keerschotten en roerders. Omdat deze van belang zijn bij het opti-

maliseren van de mengtijd en de G-waarde tijdens de menging, zijn twaalf combinaties van roerders en keerschotten onderzocht (fig. 3). De mengtijden zijn gemeten door na dosering van één druppel zoutzuur vlak naast de roeras het geleidingsvermogen aan de rand van het bekerglas te meten. Zodra het geleidingsvermogen weer constant is, is de menging voltooid (lit. 4).

Ook is het mogelijk de mengtijd te bepalen door de tijd te meten tussen het doseren van een berekende hoeveelheid zoutzuur aan een door fenolftaleïne gekleurde loogoplossing en het moment van ontkleurring.

De G-waarden zijn gemeten door een bekerglas vrij op te hangen in een meetopstelling en het door roeren veroorzaakte draaimoment te compenseren door een in een spoel opgewekt magnetisch veld en de bijbehorende stroomsterkte te meten. De ingestelde stroomsterkte is een maat voor het draaimoment. De door de roerder ingebrachte energie P is te berekenen met behulp van de formule:

$$P = 2\pi \cdot L \cdot F \cdot n \text{ (N} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}\text{)}$$

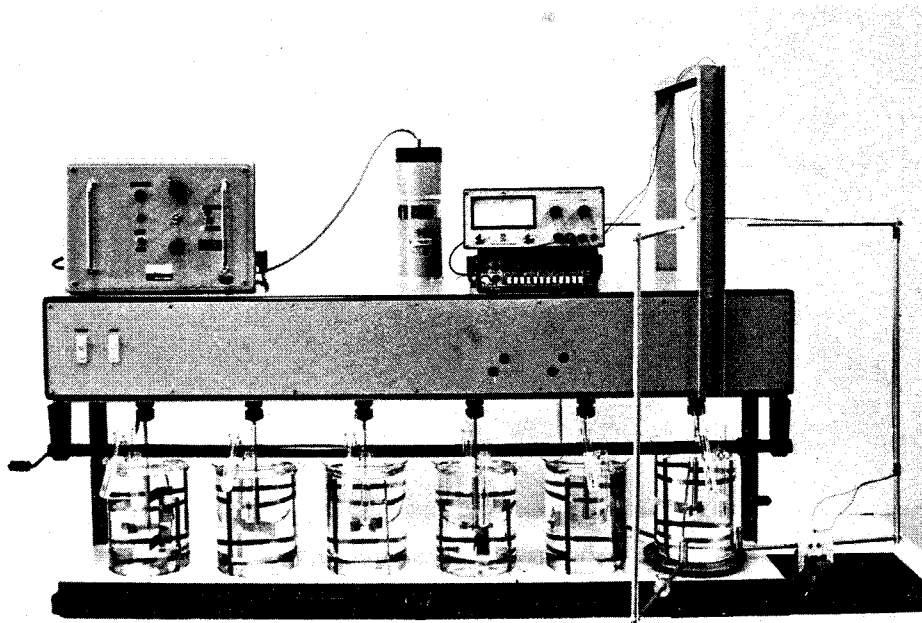
waarin:

L = de lengte van de arm van het middelpunt van de plaat tot het aangrijppunt van de spoel (0,2 m)

n = het toerental van de roerder (s^{-1})

F = het draaimoment (N)

De meetopstelling is weergegeven in figuur 2.



Figuur 2 - Het bekerglasproefapparaat en de meetopstelling voor het bepalen van de snelheidsgradient $G(s^{-1})$ (bekerglazen in enkelwandige uitvoering)

Voor de snelheidsgradiënt G geldt volgens Camp de formule:

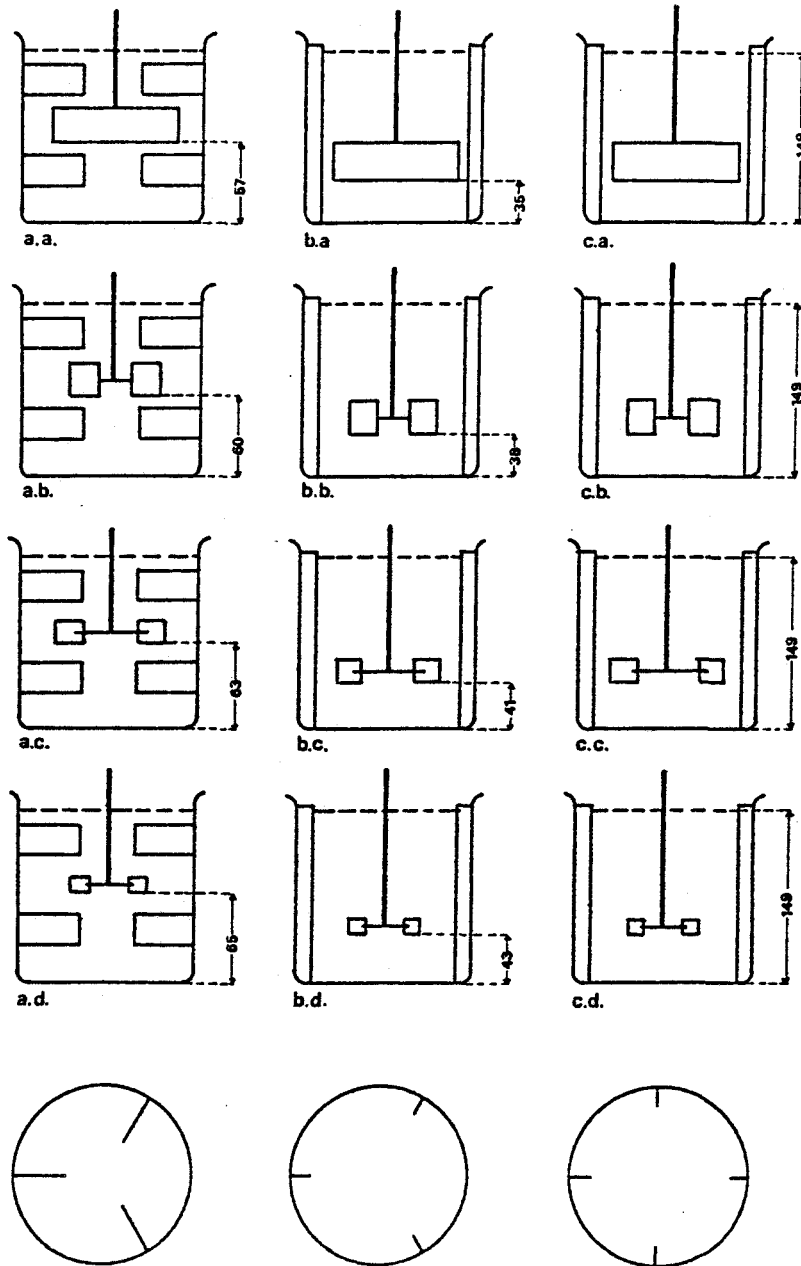
$$G = \sqrt{\frac{P}{V \cdot \eta}} \quad (s^{-1})$$

waarin:

V = vloeistof volume (m^3)

η = dynamische viscositeit ($N \cdot m^{-2} \cdot s$).

Bij het onderzoek is uitgegaan van een vloeistofvolume van 1,8 l.



Figuur 3 - De onderzochte combinatiemogelijkheden van roeders en keerschotten

De mengtijd van de roerders en keerschotten is bepaald bij vijf toerentallen te weten 100, 200, 300, 400 en 500 rpm. In fig. 4 is voor enkele gevallen de mengtijd uitgezet als functie van de reciproke waarde van het toerental.

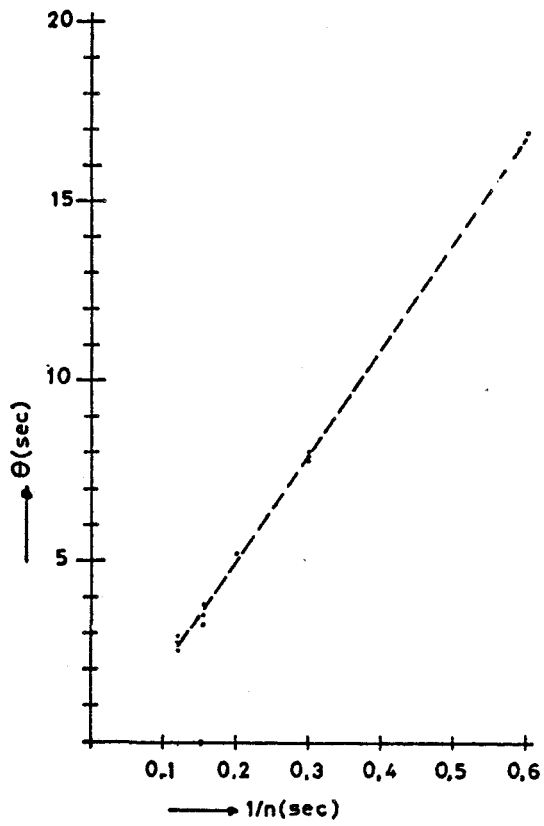
De meting van de mengtijd door middel van de ont-kleuring geeft resultaten welke in dezelfde orde van grootte liggen als de meting van de mengtijd door middel van geleidingsvermogen. De spreiding bij de ont-kleuringsmethode is echter groter.

Ter controle van de juiste werking van de gebruikte apparatuur voor de meting van de G-waarde is het verloop van de G-waarde als functie van het toerental bepaald voor de combinatie van onderbroken keerschotten en tweebladige roerder (fig. 3, type a.a) bij een temperatuur van 20 °C en een vloeistofvolume van 1,8 liter.

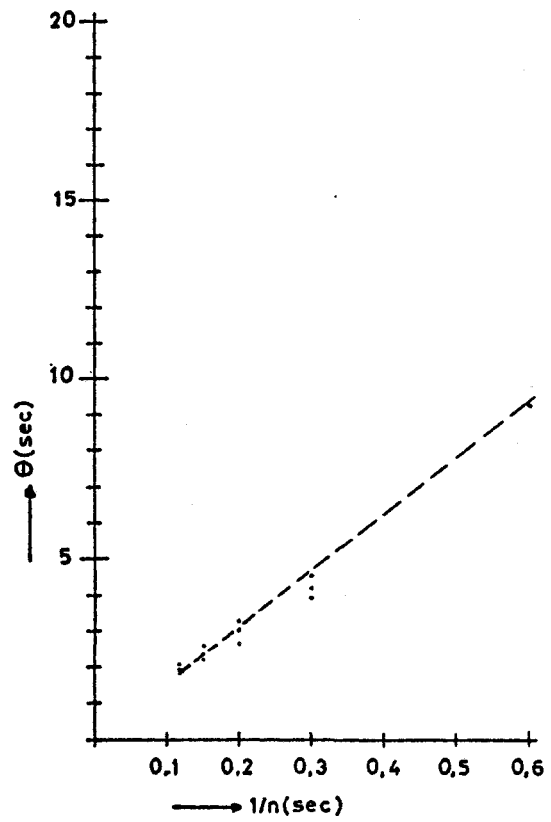
Deze combinatie benadert een door Camp (lit. 5) en een door Lai et al (lit. 6) gebruikt systeem waarvan zij het verband tussen de G-waarden en het toerental bepaald hebben.

Van de op basis van de gemeten mengtijden meest veelbelovende combinatie van vier doorlopende keerschotten met tweebladige roerder is het verband tussen de G-waarde en het toerental bepaald. De resultaten staan weergegeven in fig. 5.

De G-waarde is afhankelijk van de temperatuur en is gestandaardiseerd bij een temperatuur van 20 °C. Bij andere temperaturen dan 20 °C moet een temperatuurcorrectie toegepast worden.



a.a.



c.a.

Figuur 4 - De invloed van het toerental en de keerschotten op de mengtijd a.a, c.a. zie figuur 2

Tabel 1 - Correctiefactoren voor berekening van de G-waarde

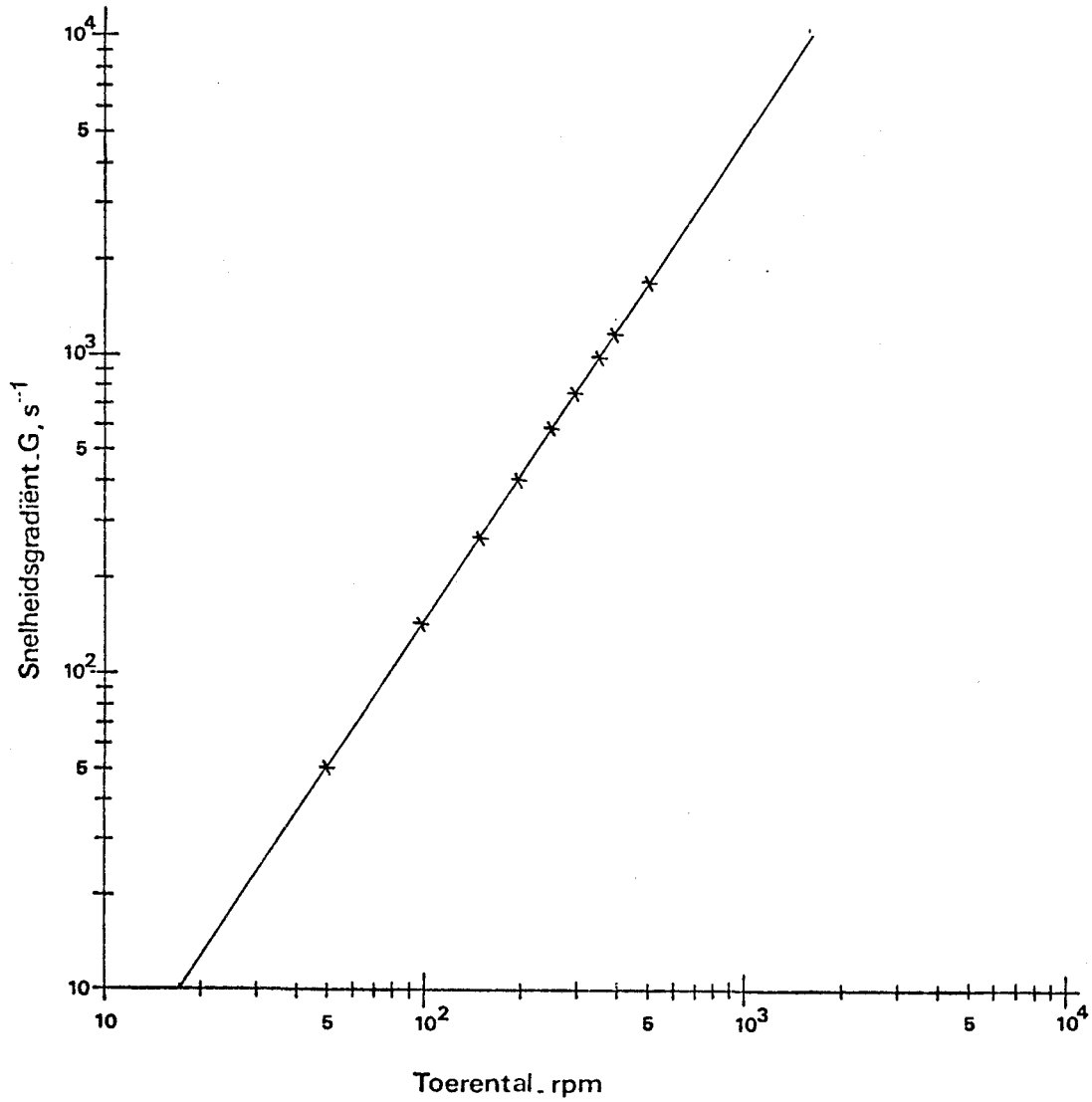
Temperatuur, °C	Correctiefactor
5	0,82
10	0,88
15	0,94
20	1,00
25	1,06

Met bovenvermelde apparatuur is een kortste mengtijd van ongeveer 2 seconden haalbaar. Deze waarde geldt voor een vloeistofvolume van 1800 ml, een bedrijfstemperatuur van 20 °C en een toerental van 500 omwentelingen per minuut.

Opgemerkt dient te worden dat bij toerentallen groter dan 400 omwentelingen per minuut veel lucht in de vloeistof wordt geslagen. Om deze reden is voor de standaardproef een toerental gekozen van 400 omwentelingen per minuut. Hierbij bedraagt de mengtijd 2,3 seconden en de G-waarde 1180 s^{-1} . Om praktische redenen is de roertijd voor menging na dosering van de vlokmiddelen gesteld op 10 seconden. Binnen deze tijd treedt nog geen zichtbare vlokvorming op.

2.3.2 Vaststelling van een criterium voor de optimale vlokmiddeldosering

Om tot een vaststelling van de standaardcondities voor de vloktijd, bezinktijd en G-waarde te komen is het nodig een criterium aan te houden voor de optimale dosering van vlokmiddel, zijnde de dose-



Figuur 5 - De invloed van het toerental op de snelheidsgradiënt bij een combinatie van tweebladige roerder en vier doorlopende keerschotten (fig. 3 c,a) (vloeistofvolume 1,8 liter, temperatuur 20 °C)

ring waarbij de te bereiken kwaliteit aan bepaalde eisen voldoet. De kwaliteitsparameters, die hierbij een rol spelen, zijn de troebelheid, het restvlok-middelgehalte, de kleur, de TOC en in sommige gevallen het fosfaatgehalte.

Daar het belangrijkste beoogde effect van coagula-tie de troebelheidsverlaging betreft, gekoppeld aan een lage restvlokmiddelconcentratie, zijn alleen voor deze parameters criteria vermeld. In sommige gevallen is een verlaging van de kleur en TOC of een laag restfosfaatgehalte vereist. Dan dient de dosering op een van deze criteria gericht te worden.

Ten aanzien van de troebelheidsverlaging zijn ver-schillende criteria voor de optimale dosis vlokmid-del mogelijk:

- a. een dosis overeenkomende met een bepaalde pro-centuele verlaging van de aanvangstroebelheid. Het "Water Research Centre" (WRC) hanteert hier-bij 95 % verlaging als criterium.
De optimale dosis vlokmiddel is de dosis over-eenkomend met:

$$FTU_{\min} + 5 \left(\frac{FTU_0 - FTU_{\min}}{100} \right).$$

- b. een dosis die correspondeert met een troebelheid die een bepaald percentage hoger is dan de laagst bereikbare troebelheid, bijvoorbeeld de dosis overeenkomende met $\frac{100}{90} \times FTU_{\min}$;
- c. een dosis, waarboven een bepaalde verandering van de troebelheid niet meer gehaald wordt b.v.
 $\Delta FTU / \Delta Fe$ dosering = -0,10 FTU per mg/l Fe
 $\Delta FTU / \Delta Al$ dosering = -0,20 FTU per mg/l Al.

Beide laatste criteria kunnen eventueel ook gelden voor het restvlokmiddelgehalte. Het voordeel van het laatste criterium is dat economische overwegingen duidelijker naar voren komen. Het spreekt voor zich, dat de gestelde criteria aan discussie onderhevig zijn.

De drie gestelde criteria zijn in fig. 6 onderling vergeleken. Uit tabel 2 blijkt dat het WRC criterium weliswaar lage vereiste doseringen oplevert, doch dat de eindtroebelheid bij hoge aanvangswaarden relatief hoog ligt. De criteria b en c ontlopen elkaar veel minder. In enkele gevallen leidt criterium b echter tot duidelijk te hoge doseringen. De voorkeur gaat dan ook uit naar criterium c. Dit criterium is bij alle volgende proeven gehanteerd. Voor het restijzergehalte is een soortgelijk criterium gehanteerd:

$$\Delta Fe/\Delta Fe \text{ dosering} = -0,10.$$

2.3.3 Bepaling van de optimale vloktijd en bezinktijd

Er zijn een groot aantal bekerglasproeven uitgevoerd met verschillende watertypen, waarbij de G-waarde tijdens de vlokvorming, de bezinktijd en de vloktijd gevarieerd zijn, respectievelijk van 12 tot 80 s⁻¹; van 10 minuten tot enkele uren en van 10 tot 35 minuten.

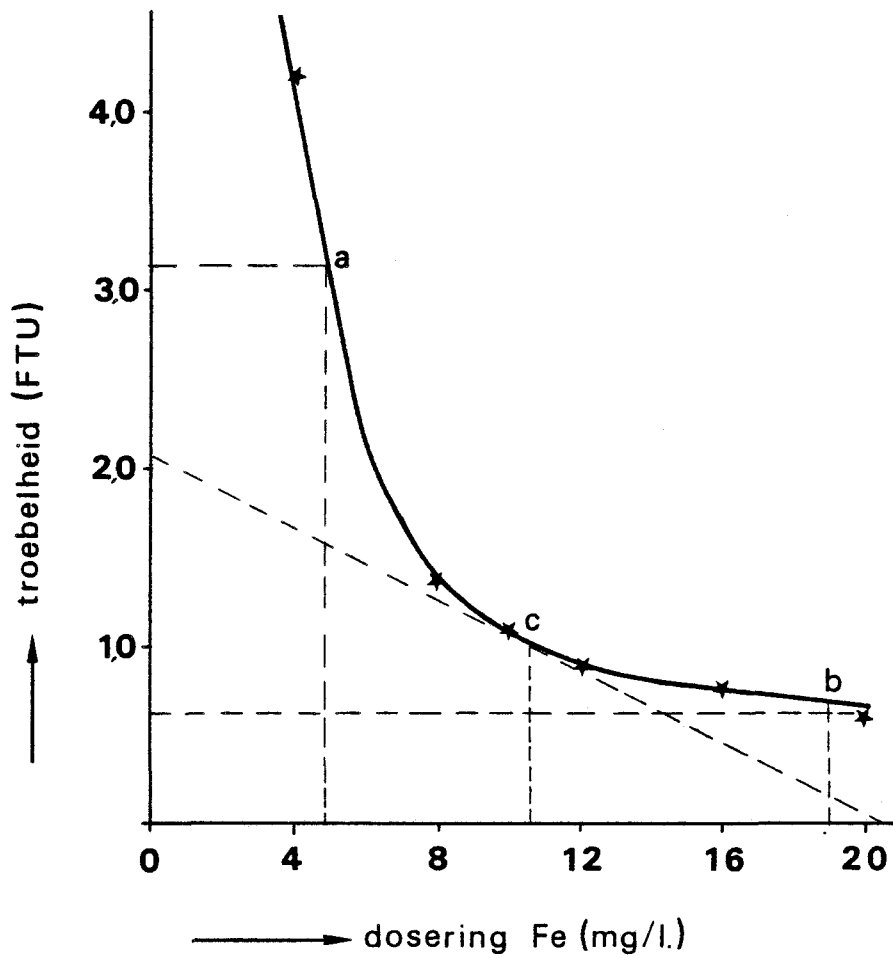
Om de optimale condities te kunnen bepalen is het wederom noodzakelijk een aantal criteria vast te leggen. Hiertoe is voor de optimale vloktijd de tijd gekozen behorende bij respectievelijk:

$$\Delta FTU = -1 \text{ per } 40 \text{ min. vloktijd}$$

$$\Delta Fe = -1 \text{ mg/l per } 40 \text{ min. vloktijd en}$$

$$\Delta Al = -0,5 \text{ mg/l per } 40 \text{ min. vloktijd.}$$

Voor de optimale bezinktijd is gekozen de tijd be-



Figuur 6 - Bepaling van de optimale ijzerdosering voor Lekwater.

Datum: 14-02-77. Conditie: temperatuur = 8,5 °C; troebelheid = 50 FTU, G-waarde = 17 s⁻¹, vloktijd = 20 min., bezinktijd = 40 min, pH = 7,8.

Tabel 2 - Bepaling van de optimale ijzerdosering (FeCl_3 van Setesa*) met drie verschillende criteria:

a = 95 % verlaging, b = 10 % boven minimum, c = 0,1 FTU per mg/l Fe

datum	watersoort	troebelheid, (FTU)		optimale ijzerdosering (mg/l)			troebelheid effluent (FTU)		
		begin	minimaal	a	b	c	a	b	c
19-01-77	KIWA-bassin	60	0,75	5,0	10,5	11,0	3,0	1,2	1,1
31-01-77	KIWA-bassin	70	0,68	8	12,5	10,0	4,1	0,76	0,94
10-02-77	KIWA-bassin	11	0,74	7,0	9,0	8,0	1,2	0,82	0,90
14-02-77	Lek	50	0,61	4,8	19,0	10,6	3,1	0,68	1,0
17-03-77	Lek	10,5	0,65	4,5	6,5	6,0	1,1	0,72	0,75
22-03-77	KIWA-bassin	12	0,63	6,5	11,0	9,8	1,2	0,70	0,86
24-03-77	KIWA-bassin	12	0,65	5,0	8,0	7,0	1,2	0,72	0,78
28-03-77	Lekkanaal	10	0,46	5,0	10,0	6,5	0,90	0,50	0,70
31-03-77	Lek	12	0,60	3,2	5,5	5,6	1,1	0,64	0,62
07-04-77	Maas	5,7	0,56	3,7	5,2	4,5	0,89	0,71	0,77
14-04-77	KIWA-bassin	38	0,51	4	10,5	9,0	2,4	0,57	0,66
18-04-77	Lekkanaal	19	0,64	3,5	12,0	5,5	1,6	0,71	0,95
20-04-77	Maas	5,8	0,68	4,3	6,0	5,0	0,94	0,75	0,84
25-04-77	Maas	5,0	0,75	3,2	4,0	4,0	0,99	0,81	0,81
25-04-77	Lek	10	0,71	3,8	6,0	6,0	1,2	0,80	0,80
02-05-77	Lekkanaal	13	0,70	4,3	5,6	6,0	1,3	0,78	0,73
09-05-77	Lekkanaal	12	0,59	2,0	5,5	5,0	1,2	0,66	0,69
16-05-77	Lekkanaal	12	0,53	2,6	6,5	6,5	1,1	0,59	0,59
24-05-77	Lekkanaal	5,5	0,52	5,5	11,0	5,5	0,78	0,58	0,78

* De "Setesa"-kwaliteit is hier om praktische redenen gebruikt. Er zijn geen verschillen geconstateerd met de voorgeschreven BDH-kwaliteit ijzerchloride

horende bij

$$\Delta FTU = -0,1 \text{ per } 10 \text{ min. bezinktijd.}$$

Als FTU-waarden dienen hierbij gebruikt te worden de FTU-waarden, die bij verschillende bezinktijden bij de optimale vloktijd gevonden worden.

De figuren 7 en 8 laten zien, hoe deze criteria gehanteerd worden. De pijltjes geven de optimale vlok- en bezinktijd aan.

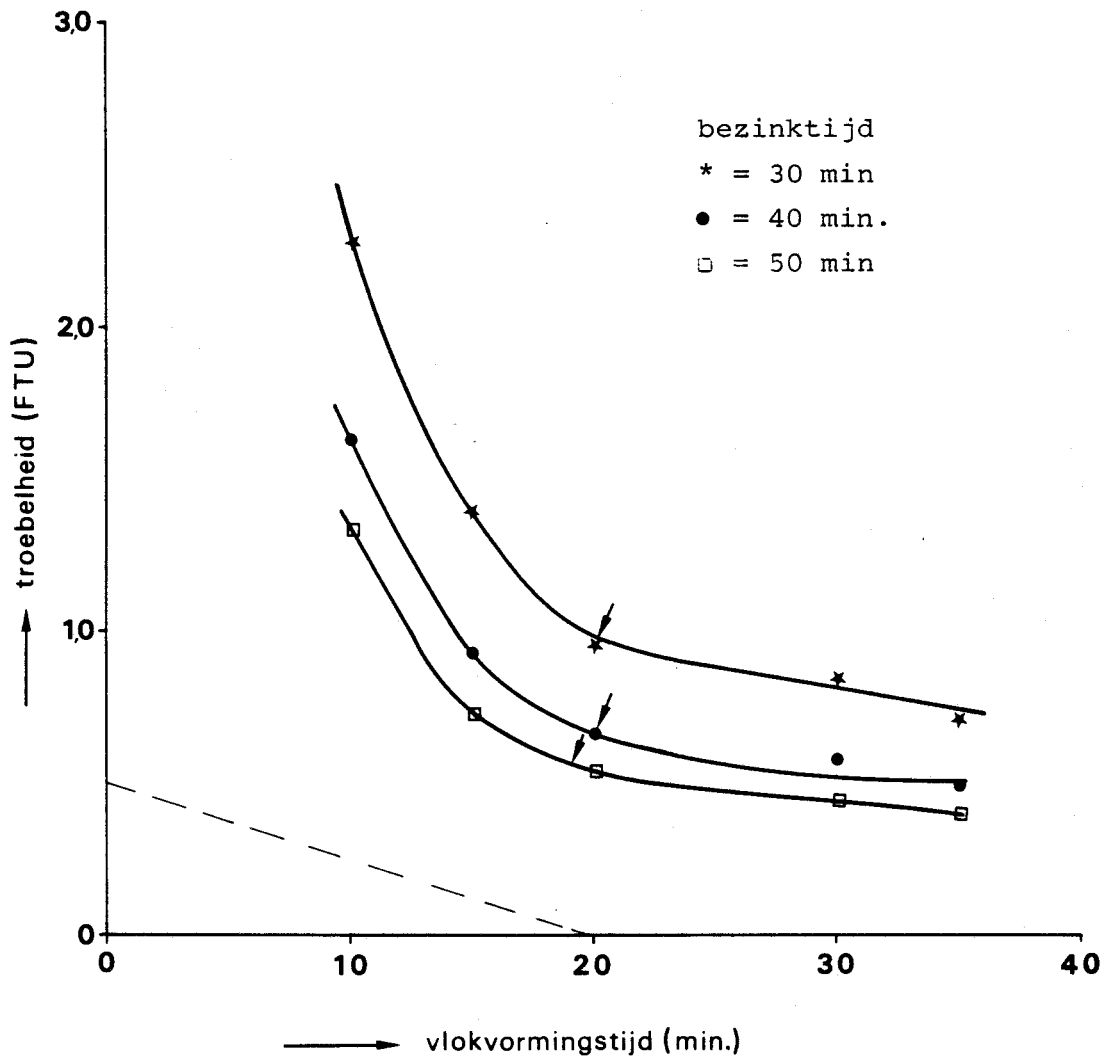
De condities en resultaten van alle proeven zijn in de bijlagen 1 en 2 weergegeven, waarbij de bovengenoemde criteria voor de vloktijd en bezinktijd zijn aangehouden.

Tabel 3 geeft de waarde van de optimale vloktijd bij verschillende bezinktijden en G-waarden weer.

Tabel 3 - Optimale vloktijden (min.) bij verschillende G-waarden en bezinktijden

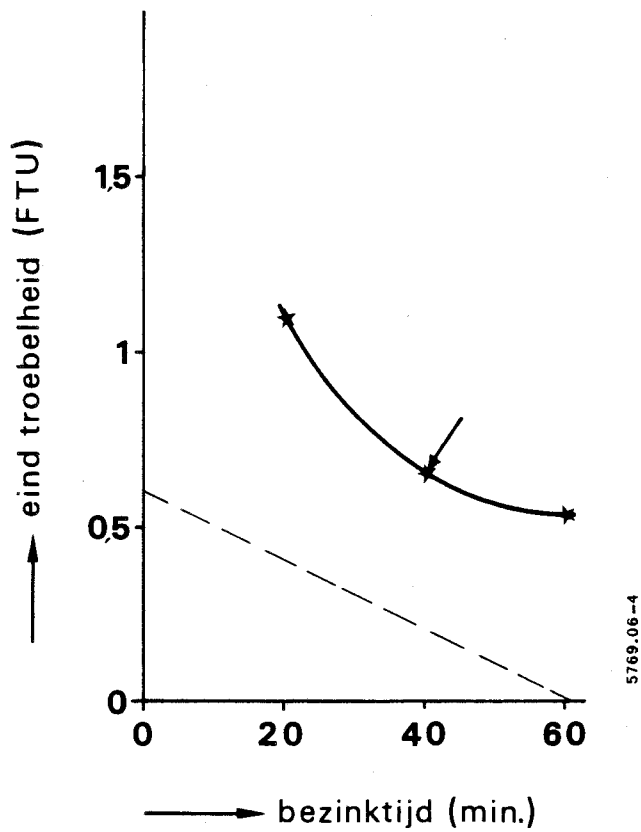
bezinktijd (min.)	optimaal		20		30		40	
	FTU crit.	Fe crit.	FTU crit.	Fe crit.	FTU crit.	Fe crit.	TU crit.	Fe crit.
12	25	24	25	25	25	24	25	25
40	20	21	22	21	20	21	20	20
50	15	17	16	15	18	18	15	21
50	25	20	26	22	22	21	25	20
60	15	15	22	18	16	18	15	15
70	25	20	25	25	25	20	22	15
80	25	20	25	16	25	20	25	18

Er blijkt geen eenduidig verband te zijn tussen de G-waarde en de optimale vloktijd.



Figuur 7 - Bepaling optimale vloktijd voor water uit het KIWA-bassin volgens het criterium $\Delta\text{FTU} = -1$ per 40 minuten bij drie bezinktijden.

Datum proef: 20-12-76. Conditie:
temperatuur = 10 °C; troebelheid = 21,5 FTU, G-waarde = 30 s⁻¹, vlokmiddeldose-ring 15 mg/l Fe, pH = 8,0



Figuur 8 - Bepaling optimale bezinktijd voor water uit het KIWA-bassin volgens het criterium $\Delta\text{FTU} = - 0,1$ per 10 minuten bezinktijd.

Datum proef: 03-12-76. Conditie: temperatuur = 9 °C; troebelheid = 47,5 FTU, G-waarde = 22 s⁻¹; vlokmiddeldosering 15 mg/l Fe, pH = 8,0

Gezien de gegevens in tabel 3 lijkt een vloktime van 20 minuten een goede keus te zijn.

Uit bijlage 1 blijkt dat de gemiddelde optimale bezinktime 36 ± 8 minuten bedraagt. Een eenduidig verband tussen de bezinktime en de G-waarde tijdens de vloktime kan niet geconstateerd worden. Daar de bekerglasproeven opgezet zijn om een goed onderscheid te maken in de resultaten bij verschillende vloktime doseringen, lijkt het gewenst niet de optimale bezinktime te kiezen, maar de bezinktime te bekorten tot 30 minuten.

2.3.4 Bepaling van de optimale G-waarde tijdens vloktime

Ten einde de optimale G-waarde te bepalen is de G-waarde gevarieerd van 12 tot 100 s⁻¹. Alle G-waarden zijn berekend met behulp van fig. 5, welke geldt voor een temperatuur van 20 °C. Voor de werkelijke G-waarde dient met de correctiefactor uit tabel 1 vermenigvuldigd te worden.

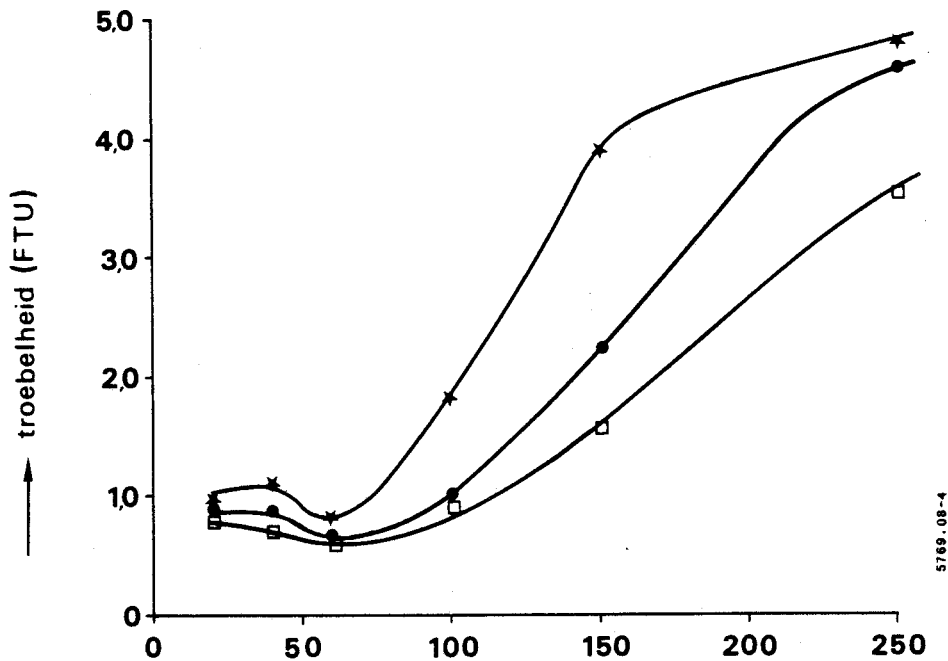
Het is gebleken, dat bij G > 70 s⁻¹ zeer wisselvallige resultaten verkregen worden. Wanneer de resultaten van alle tot nu toe verrichte bekerglasproeven (bijl. 2) bij een vloktime tussen 10 en 20 minuten en een bezinktime van 30 minuten verzameld worden, ontstaat het volgende gemiddelde beeld (zie tabel 4).

Tabel 4 - Kwaliteit van het effluent bij verschillende G-waarden

G (s ⁻¹)	effluent	
	troeb. (FTU)	Fe-gehalte (mg/l)
12	1,34	1,30
20	0,76	0,45
30	0,77	0,49
40	0,67	0,42
50	0,73	0,48
60	0,97	0,55

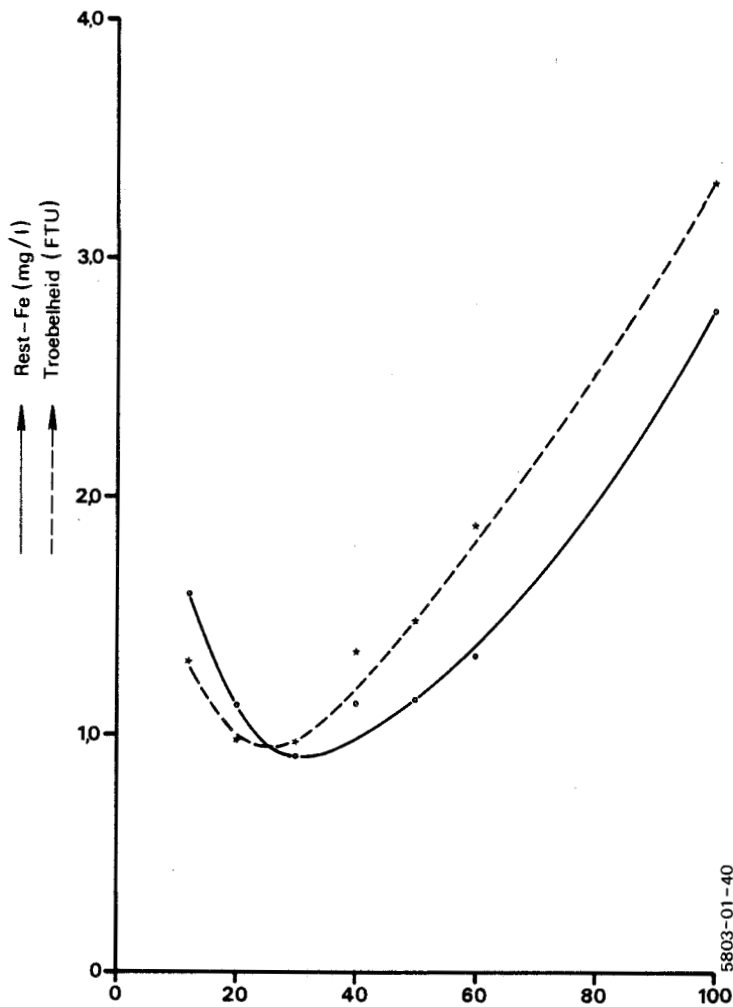
Het blijkt dat de resultaten van G-waarden tussen 20 en 50 s⁻¹ elkaar weinig ontlopen.

Ter nadere precisering zijn een aantal additionele experimenten uitgevoerd met de G-waarde als variabele. De figuren 9 en 10 laten voorbeelden van de resultaten zien. Voor meerdere figuren wordt naar lit. 13 verwezen. In tabel 5 zijn de resultaten bij een bezinktijd van 30 minuten samengevat.



G-waarde (s⁻¹) bij 20 °C

Figuur 9 - Bepaling optimale G-waarde van Maaswater uit Keizersveer volgens het troebelheidscriterium. Datum proef: 23-06-77. Conditie: temperatuur = 17,5 °C; troebelheid = 6,6 FTU; vlokmiddeldosering: 3 mg/l Fe, vloktijd = 15 min.; correctiefactor G-waarde = 0,97.



G-waarde (s⁻¹) bij 20 °C

Figuur 10 - Bepaling optimale G-waarde voor Maaswater uit Keizersveer volgens het troebelheids- en restvlokmiddelcriterium. Datum proef: 28-11-77. Conditie: temperatuur = 6,1°C, troebelheid = 5,9 FTU; vlokmiddeldosering = 6 mg/l Fe, vloktijd = 20 min., bezinktijd = 30 min, correctiefactor G-waarde = 0,83.

Tabel 5 - De optimale G-waarde bij verschillende vloktijden, bezinktijd = 30 minuten.

datum	water	vloktijd (min.)	optimale G-waarde*	
			crit. FTU	crit. rest Fe/Al
23-06-77	Maas	15	40	60
28-06-77	Lekkanaal	15	60	70
11-08-77	Maas	20	45	50
08-08-77	Lekkanaal	20	60	60
22-06-77	Maas	25	40	60
07-07-77	Maas	25	12	30
25-11-77	Maas	20	25	30
30-11-77	Lekkanaal	20	20	-
20-12-77	Lekkanaal	20	30	30

* Berekend bij 20 °C.

In het algemeen blijkt de optimale G-waarde om een zo laag mogelijk ijzer(III)gehalte te verkrijgen hoger te zijn dan om een zo laag mogelijke troebelheid te verkrijgen..

Voorts blijkt dat in de winterperiode de optimale G-waarde duidelijk lager ligt dan in de zomerperiode. Daar het evenwel ongewenst is een voorschrift met een afhankelijk van de watertemperatuur variërend toerental uit te brengen, lijkt het aan te bevelen een toerental van 45 tpm ($G = 40 \text{ s}^{-1}$ bij 20 °C en $G = 33 \text{ s}^{-1}$ bij 6 °C) te kiezen bij een vloktijd van 20 minuten en een bezinktijd van 30 minuten. Voor het op dit onderzoek gebaseerde "Voorschrift voor de uitvoering van de standaardbekerglasproef met sedimentatie" wordt verwezen naar lit. 8.

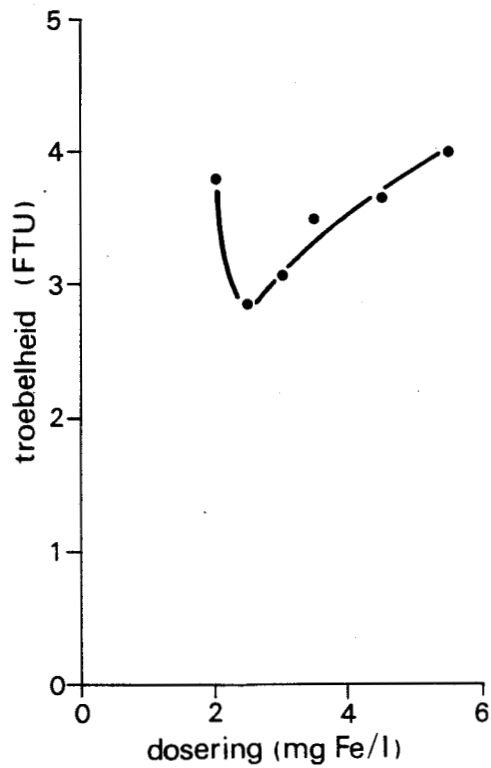
2.4

Opstellen van een voorschrift voor de uitvoering van de standaardbekerglasproef bij vlokhelpmiddelen

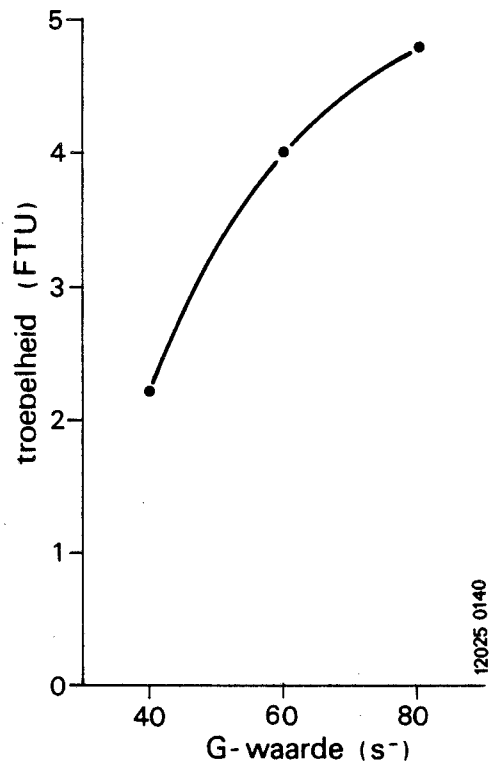
Bij temperaturen beneden 10 °C zijn de gevormde vlokken soms te klein om goed te kunnen bezinken. Vlokhelpmiddelen vergroten en versterken de vlok. Door deze versterking van de vlok is het ook mogelijk dat hogere roersnelheden toegepast kunnen worden.

Een belangrijke procesvariabele bij het doseren van vlokhelpmiddelen is de intervaltijd; dit is de tijd tussen het tijdstip van vlokhelpmiddeldosering en het tijdstip van vlokhelpmiddeldosering. Bij Wisproflocprodukten is het tijdstip van vlokhelpmiddeldosering aanmerkelijk minder belangrijk dan bij de synthetische vlokhelpmiddelen, hoewel het aanhouden van intervaltijden tot 10 minuten geen verslechtering betekent.

Voor de bekerglasproef met vlokhelpmiddelen is aangenomen dat de energie-inbreng tijdens de menging en de vlokvormingstijd niet afwijkt van de standaardcondities. Hierbij is aangehouden een toerental van 400 omwentelingen per minuut bij de menging (G-waarde is 1180 s^{-1}) en een totale vlokvormingstijd van 20 minuten. Wegens de snellere bezinking van de vlokken bij toepassing van vlokhelpmiddelen is het gewenst een kortere bezinktijd aan te houden omdat bij een bezinktijd van 30 minuten te kleine verschillen in resttroebelheid optreden. Gekozen is voor een bezinktijd van 20 minuten. De bepaling van de overige optimale omstandigheden in geval een vlokhelpmiddeldosering wordt toegepast is uitgevoerd met ijzer(III)chloride (Setesa) als primair vlokmiddel (pH = 8,2) en Superfloc A100 als vlokhelpmiddel.



Figuur 11 - Bepaling optimale ijzerdosering zonder toevoeging van vlokhulpmiddelen voor Lekkanaalwater. Datum: 12-11-1979. Conditie: troebelheid ruw water = 20,8 FTU; temperatuur = 9,0 °C; pH = 8,2



Figuur 12 - Bepaling optimale G-waarde bij dosering van 0,2 mg A 100/l, gelijktijdig met 2,5 mg/l Fe voor Lekkanaalwater. Datum: 12-11-1979. Conditie: troebelheid ruw water = 19,5 FTU; temperatuur = 9,0 °C; pH = 8,2

Allereerst is voor de wintersituatie de benodigde ijzerdosering vastgesteld zonder gebruik van vlok-hulpmiddel. Figuur 11 laat zien dat de optimale ijzerdosering ongeveer 2,5 mg/l bedraagt gepaard aan een relatief hoge resttroebelheid (2,8 FTU). In de wintersituatie komen dit soort grafieken zowel voor ijzer- als voor aluminiumzouten regelmatig voor. Deze optimale ijzerdosis is voor de overige experimenten in de periode 12 tot 16 november 1979 constant verondersteld.

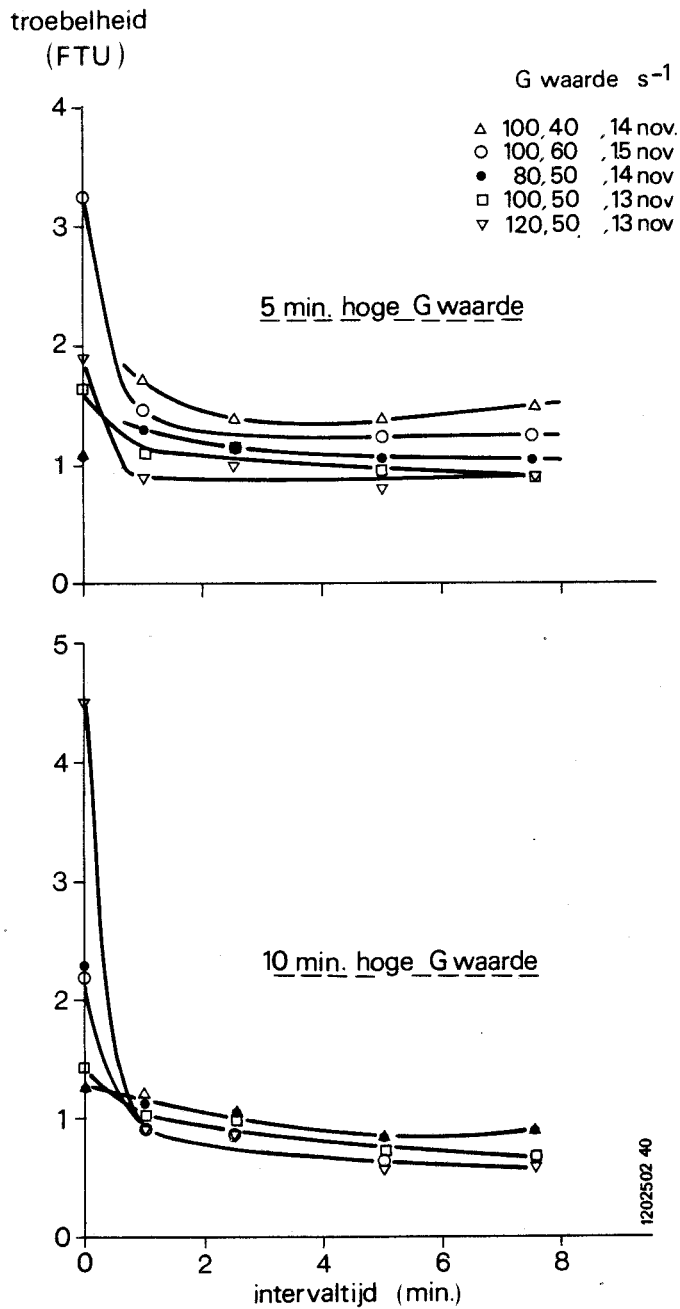
Bij deze optimale ijzerdosering van 2,5 mg/l is de resttroebelheid altijd relatief hoog. Het is gewenst deze resttroebelheid verder te verlagen door de dosering van een vlokhulpmiddel.

Als Al₁₀₀-dosering is 0,2 mg/l aangehouden, zijnde de bij parallel onderzoek gevonden optimale concentratie (lit. 3).

Vervolgens is de invloed van de intervaltijd en de G-waarde onderzocht. Figuur 12 geeft aan, dat indien geen intervaltijd wordt aangehouden slechts een geringe verbetering in resttroebelheid wordt bereikt. Een verhoging van de G-waarde veroorzaakt een verhoging van de resttroebelheid.

Ten einde de invloed van de intervaltijd te bepalen is het vlokhulpmiddel na respectievelijk 0; 1; 2,5; 5 en 7,5 minuten na dosering van het vlokmiddel toegevoegd. De resultaten zijn weergegeven in figuur 13. Hieruit blijkt een intervaltijd van vijf minuten in alle gevallen een bevredigend resultaat te geven.

Bovendien is de G-waarde gevarieerd. Gedurende 5 respectievelijk 10 minuten is een hoge G-waarde aangehouden (80 tot 120 s⁻¹) en gedurende de resterende vlokvormingstijd (15 respectievelijk 10 minuten) een lagere G-waarde (40 tot 60 s⁻¹). Ook deze



Figuur 13 - Bepaling van de optimale intervaltijd bij verschillende combinaties van G-waarden. Doseringen 2,5 mg/l Fe, 0,2 mg/l Al₁₀₀, pH = 8,2

resultaten zijn in figuur 13 weergegeven. Vlokvorming bij een G-waarde van 120 s^{-1} gedurende de eerste 10 minuten in combinatie met een G-waarde van 50 s^{-1} tijdens de laatste 10 minuten blijkt de laagste resttroebelheid te geven. Deze optimale condities zijn daarom opgenomen in het "Voorschrift voor de uitvoering van de standaardbekerglasproef met sedimentatie" (lit. 8).

2.5 Opstellen van een voorschrift voor de uitvoering van de standaardbekerglasproef voor flotatie

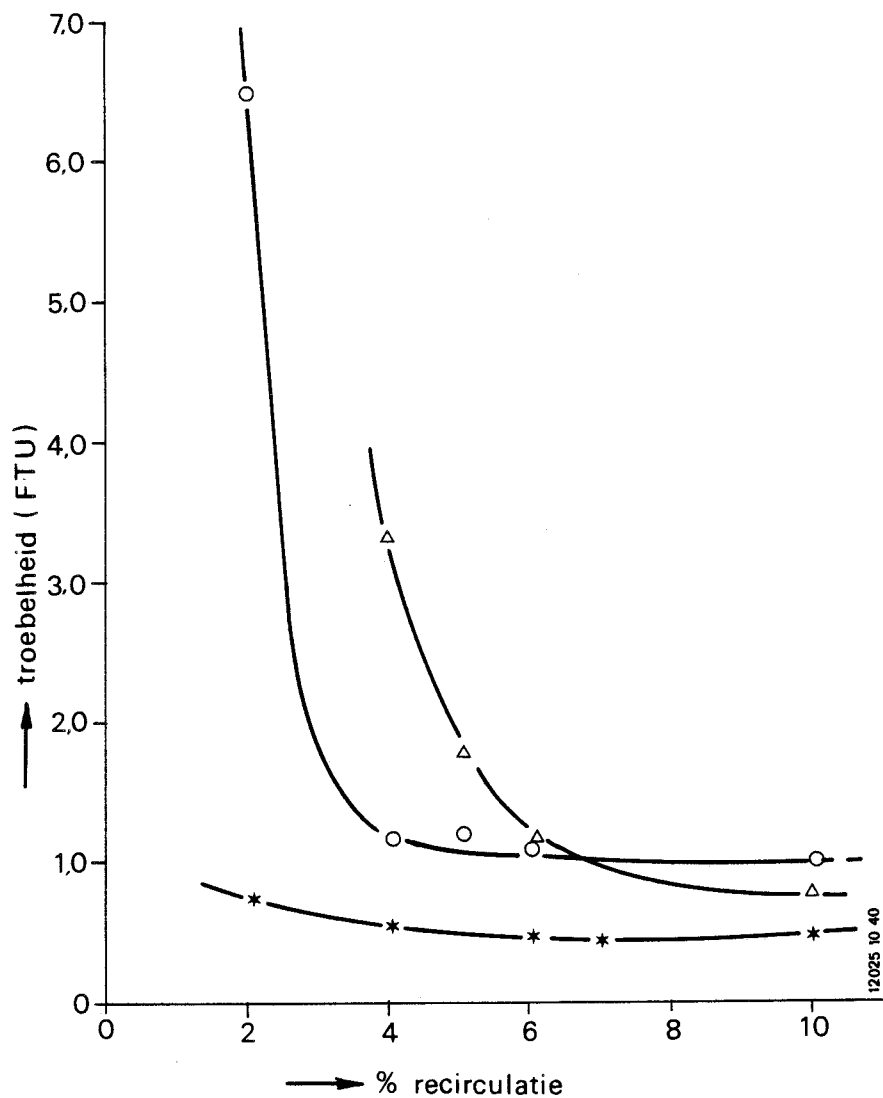
2.5.1 Bepaling van het optimale recirculatiepercentage

Veel van het hiervoor beschreven onderzoek is ook gebruikt bij het opstellen van een "Voorschrift voor de uitvoering van de standaardbekerglasproef met flotatie" (lit. 9).

Bij verschillende ijzerdoseringen is de optimale luchtdosering, uitgedrukt als het recirculatiepercentage, bepaald. De resultaten van dit onderzoek zijn weergegeven in figuur 14. Voor iedere ijzer-(III)dosis is het optimale recirculatiepercentage bepaald met als criterium een afname van de troebelheid met 0,05 FTU per % recirculatie. De optimale recirculatiepercentages zijn weergegeven in tabel 6.

Tabel 6 - Bepaling van de optimale waarde van het recirculatiepercentage voor de flotatie van Lekkanaalwater

Fe dosering (mg/l)	optimale recirculatie (%)	rest troebelheid (FTU)
3,3	4	1,15
6,7	5	0,45
11,0	10	0,80



Figuur 14 - Bepaling van de optimale waarde van het recirculatiepercentage voor de flotatie van Lekkanaalwater. Conditie: mengtijd = 10 s; vloktijd = 20 min.; G-waarde (menging) = 1090 s^{-1} , G-waarde (vlokvorming) = 35 s^{-1} ; pH = 7,6, temperatuur = 5 °C; verzadigingsdruk = 500 kPa; flotatietijd = 5 min

Bij de in tabel 8 heersende condities blijkt het optimale recirculatiepercentage 5 % te bedragen. Er is geen onderzoek uitgevoerd naar de invloed van de verzadigingsdruk (500 kPa) en de flotatietijd (5 minuten), daar eerder onderzoek heeft uitgewezen dat genoemde condities goede resultaten geven (lit. 10).

Bij de voortgaande optimalisatie zijn de waarden voor de verzadigingsdruk en de flotatietijd verder aangehouden.

2.5.2 Bepaling van de optimale vlokformings- en flotatiecondities

In tabel 7 zijn de resultaten van een aantal proeven weergegeven welke dienen ter bepaling van de optimale vloktijd (voor het criterium zie 2.3.3) en de G-waarde tijdens de vlokvorming voorafgaande aan flotatie in een bekerglasproef.

Tabel 7 - Bepaling van de optimale vlokvormingscondities voorafgaand aan de flotatie van Lekkanaalwater

G-waarde (s ⁻¹)	optimale vloktijd (min.)	rest troe- belheid (FTU)	rest ijzer- gehalte (mg/l)
20	> 20	< 1,15	0,85
44	13	0,80	0,57
44	16	0,75	0,60
57	20	0,69	0,42
75	14	0,60	0,40
75	11	0,62	0,48
92	20	0,57	0,38
110	14	0,60	0,40
129	6	0,80	0,66
129	20	> 1,1	0,57
240	niet meetbaar	> 1,0	~ 1,0
374	niet meetbaar	> 3,0	~ 2,0

Conditie: temperatuur = 5-6 °C; troebelheid = 8,6 - 10,8 FTU; ijzerdosering = 5,6 mg/l; pH = 7,5-7,6; verzadigingsdruk = 500 kPa; flotatietijd = 5 min; recirculatiepercentage = 5 %

Op basis van bovenstaande resultaten is in eerste instantie gekozen voor een vloktijd van 15 minuten en een G-waarde van 85 s⁻¹ (70 omwentelingen per minuut). Verwacht wordt dat deze condities ook bij hogere watertemperatuur voldoen.

Ten einde de waarden voor recirculatiepercentage, vloktijd en G te verifiëren is onder bovenstaande condities eerst de ijzerdosering en de pH geoptima-

liseerd. Bij een proef op 8 februari 1978 bleek de optimale ijzer(III)dosis 3,3 mg/l en de optimale pH 8,1 te bedragen.

Bij deze ijzerdosis en pH zijn daarna nogmaals de vloktijd, de roersnelheid en het recirculatiepercentage gevarieerd. De resultaten van dit onderzoek zijn in tabel 8 weergegeven.

Tabel 8 - Bepaling van de optimale condities voor vlokvorming en flotatie van Lekkanaalwater

recirculatie %	toeren-tal tpm	optimale vloktijd min.	rest troebelh. FTU	Rest ijzer mg/l
4	50	12	1,15	0,62
4	75	10	0,90	0,50
4	100	10	1,10	0,45
5	50	12	1,15	0,60
5	75	12	0,95	0,50
6	100	6	1,50	0,75
6	50	12	0,95	0,55
6	75	10	0,70	0,40
6	100	6	0,80	0,50

Conditie: temperatuur = 4,5 °C; ijzerdosering = 3,3 mg/l; pH = 8,1; verzadigingsdruk = 500 kPa; flotatietijd = 5 min.

Uit tabel 8 kan worden geconcludeerd dat de beste resultaten worden bereikt bij toepassing van een recirculatiepercentage van 5 - 6 %, een vloktijd

van 10-15 minuten en een G-waarde van 95 s^{-1} (75 omwentelingen per minuut).

Aanbevolen wordt de proef uit te voeren bij 5 % recirculatie, een vloktijd van 15 minuten en een toerental van 70 tpm. ($G = 75 \text{ s}^{-1}$ bij $20 \text{ }^\circ\text{C}$ en $G = 62 \text{ s}^{-1}$ bij $5 \text{ }^\circ\text{C}$).

2.6

Samenvatting

In dit hoofdstuk is de ontwikkeling beschreven van een standaardbekerglasproefapparaat voor bezinking en flotatie. Er is onderzoek verricht naar de optimale combinatie van roerder en keerschotten. Bij de gekozen combinatie van roerder en keerschotten is de menging in circa twee seconden voltooid bij een G-waarde van 1180 s^{-1} (400 omwentelingen per minuut). Om praktische redenen is de roertijd op tien seconden gesteld.

Ter bepaling van de optimale vlokmiddeldosis, de vloktijd, de bezinktijd en G-waarde zijn criteria opgesteld.

Aan de hand van deze criteria is voor de uitvoering van de standaardbekerglasproef voor bezinking voorgesteld:

- een vloktijd van 20 minuten;
- een bezinktijd van 20 minuten;
- een G-waarde van 40 s^{-1} bij $20 \text{ }^\circ\text{C}$ (45 omwentelingen per minuut).

Daaropvolgend zijn de standaardcondities voor de bekerglasproef voor sedimentatie bij toepassing van een vlokhulpmiddel vastgesteld. Deze condities zijn

- een totale vloktijd van 20 minuten;
- een bezinktijd van 20 minuten;
- een intervaltijd tussen de vlokmiddel- en vlok-hulpmiddeldosering van 5 minuten;
- gedurende 10 minuten een G-waarde van 120 s^{-1} ,

gevolgd door 10 minuten een G-waarde van 50 s^{-1} bij $20 \text{ }^\circ\text{C}$.

Tenslotte zijn de standaardcondities vastgesteld van de bekerglasproef voor flotatie. Deze condities zijn:

- een vloktijd van 15 minuten;
- een flotatietijd van 5 minuten;
- een G-waarde van 75 s^{-1} bij $20 \text{ }^\circ\text{C}$ (70 omwentelingen per minuut);
- een recirculatiepercentage van 5 %;
- een verzadigingsdruk van 500 kPa.

Het zij benadrukt dat de weergegeven optimale condities geldig zijn voor de uitgevoerde experimenten met Lekkanaal- en Maaswater. Deze condities zijn met name geschikt als omstandigheden voor vergelijkend onderzoek tussen verschillende bedrijven.

Voor andere watertypen behoeven de vermelde condities echter niet optimaal te zijn. Hierbij kunnen de weergegeven omstandigheden gebruikt worden als startcondities voor nader onderzoek, waaruit voor het eigen bedrijf de optimale condities dienen te worden bepaald.

3 VERGELIJKEND ONDERZOEK VAN VLOKMIDDELEN IN BEKER-
GLASPROEVEN

3.1 Inleiding

Doel van het onderzoek is een indruk te krijgen van de effectiviteit van de verschillende op de Nederlandse markt verkrijgbare vlokmiddelen onder gestandaardiseerde condities bij gebruik van verschillende typen oppervlaktewater en bij verschillende temperaturen.

Bij het onderzoek zijn twee typen water met verschillend karakter gebruikt te weten Lekkanaalwater en Maaswater. Beide typen water worden door enkele waterleidingbedrijven voor de drinkwaterbereiding gebruikt. Monsters van het Lekkanaalwater zijn genomen bij de aan- en afvoer van het bezinkbassin (verblijftijd circa 3 uur) van het KIWA te Nieuwegein.

De monsters van de Bergsche Maas zijn genomen ter hoogte van Keizersveer. Geen rekening is gehouden met eventuele introducties die tijdens transport van het Maaswater kunnen hebben plaatsgevonden. Uit eerder onderzoek is gebleken dat transport en bewaren van het monster geen grote invloed heeft op de resultaten (lit. 10).

3.2 Uitvoering van het vergelijkend onderzoek

Aan de hand van het voorschrift voor de uitvoering van de standaardbekerglasproef (lit. 8) zijn voor een aantal vlokmiddelen eerst de optimale pH en dosering bepaald. De na de uitvoering van de beker-glasproeven onder optimale condities verkregen waterkwaliteiten zijn vergeleken met de waterkwaliteit verkregen bij coagulatie onder optimale condi-

ties met ijzerchloride van Setesa. Dit kan tot een keuze leiden van een vlokmiddel op basis van de waterkwaliteit. Andere facetten, zoals kostprijs en het gedrag bij slibverwerking, spelen echter eveneens een rol. Voor analytische gegevens van vlokmiddelen wordt naar het overzicht vlokmiddelen verwezen (bijlage 3).

3.3 Bepaling van de optimale pH bij de dosering van metaalzouten

3.3.1 Bepaling van de optimale pH bij dosering van ijzer-(III)chloride

In tabel 9 zijn de resultaten van bekerglasproeven gegeven, waarbij de pH bij een constante ijzerdosis gevarieerd is. In figuren 15 en 16 zijn enkele resultaten grafisch weergegeven. Hieruit blijkt dat wat betreft de resttroebelheid en het rest-ijzergehalte een relatief hoge pH gunstig is. Het optimale pH-gebied ligt gewoonlijk tussen 7,8 en 8,5. In figuur 15 is te zien, dat in bepaalde gevallen geen optimale pH is vast te stellen met de gehanteerde criteria $\Delta\text{FTU}/\Delta\text{pH} = 0,2$ en $\Delta\text{Fe}/\Delta\text{pH} = 0,2$. Er is in principe een ruim pH-gebied beschikbaar. Een nadeel van een relatief hoge pH is, dat de verwijdering van organische stof minder is.

3.3.2 Bepaling van de optimale pH bij dosering van aluminiumzouten

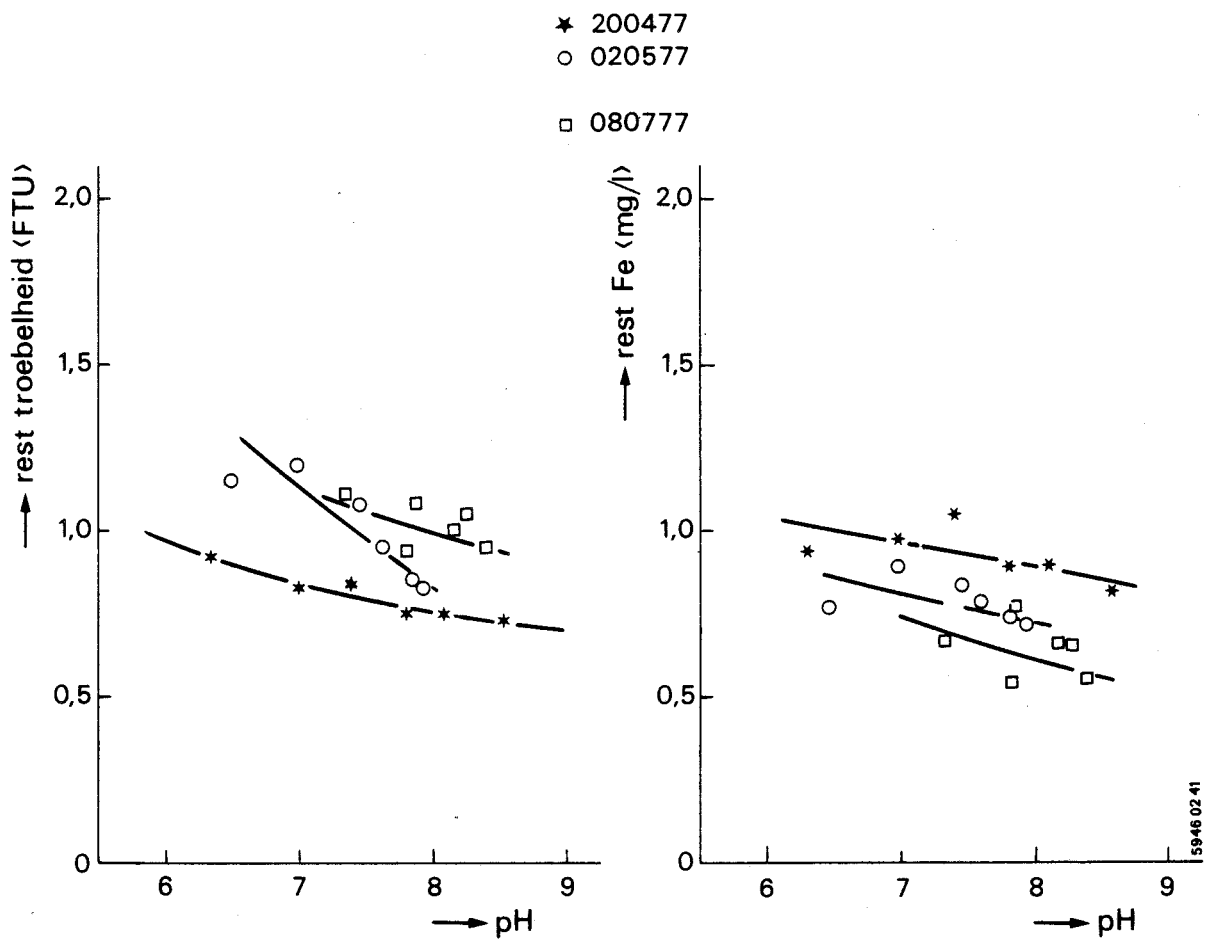
In tabel 10 zijn de resultaten van de bekerglasproeven gegeven, waarbij de pH bij een constante aluminiumdosering gevarieerd is. De aluminiumdosering ligt bij deze proeven nogal eens aan de lage kant, hetgeen in een aantal gevallen de relatief hoge

restaluminiumgehalten en resttroebelheden ver-
klaart.

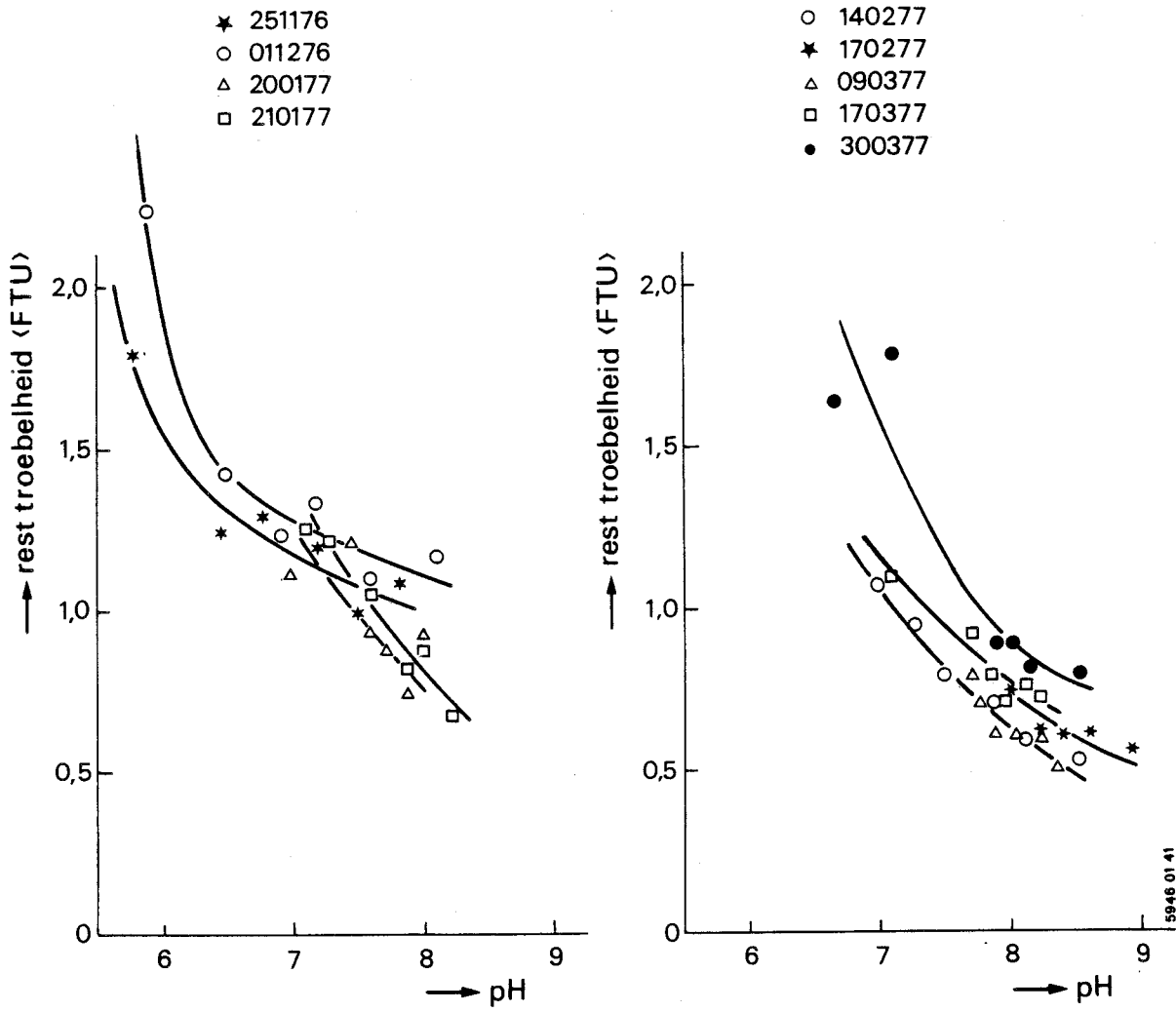
Onderzocht zijn respectievelijk aluminiumsulfaat van AKZO, Rhône Progil en Cerutti, polyaluminiumchloride van Sachtoklar, aluminiumhydroxychloride van Herlifloc en een mengsel van aluminiumsulfaat

Tabel 9 - Bekerglasproeven ter bepaling van de optimale pH bij dosering van ijzerchloride

Datum	watersoort	t (°C)	troebel- heid (FTU)	de onder- grens van het opti- male pH- gebied	ijzerdo- sis (mg/l)
251176	Lekkanaal	9,0	35	7,3	16,0
011276	Lek	-	25	7,3	14,5
	Bergambacht				
200177	Lekkanaal	3,0	60	7,7	11,0
210177	Lek Vreeswijk	3,7	14,2	7,8	10,0
140277	Lek Vreeswijk	8,5	50	7,2	12,0
170277	Lekkanaal	7,3	18	-	10,0
090377	Lekkanaal	8,0	20	-	10,0
170377	Lek Vreeswijk	10,5	10,5	7,4	6,0
300377	Lekkanaal	9,0	10,0	7,8	5,0
200477	Maas	11,0	5,8	6,3	5,0
020577	Lekkanaal	11,8	13,0	7,6	6,0
150677	Lekkanaal	18,0	4,8	7,7	3,0
080877	Lekkanaal	21,0	3,9	7,3	3,0
220977	Maas	16,0	4,4	7,9	4,4
151177	Lekkanaal	10,2	16,5	7,8	6,6
080379	Lekkanaal	5,5	4,5	7,8	6,3
190379	Lekkanaal	6,0	12,5	8,0	5,0



Figuur 15 - Bekerglasproeven ter bepaling van de optimale pH bij dosering van ijzerchloride.



Figuur 16 - Bekerglasproeven ter bepaling van de optimale pH bij dosering van ijzerchloride.

5948 01 41

en ijzer(III)sulfaat van Boliden AVR.

Als criteria voor de optimale pH zijn de resttrobelijkheid en het restaluminiumgehalte aangehouden. De optimale pH-gebieden zijn bepaald met behulp van de criteria $\Delta FTU/\Delta pH = 0,2$ en $\Delta Al/\Delta pH = 0,1$.

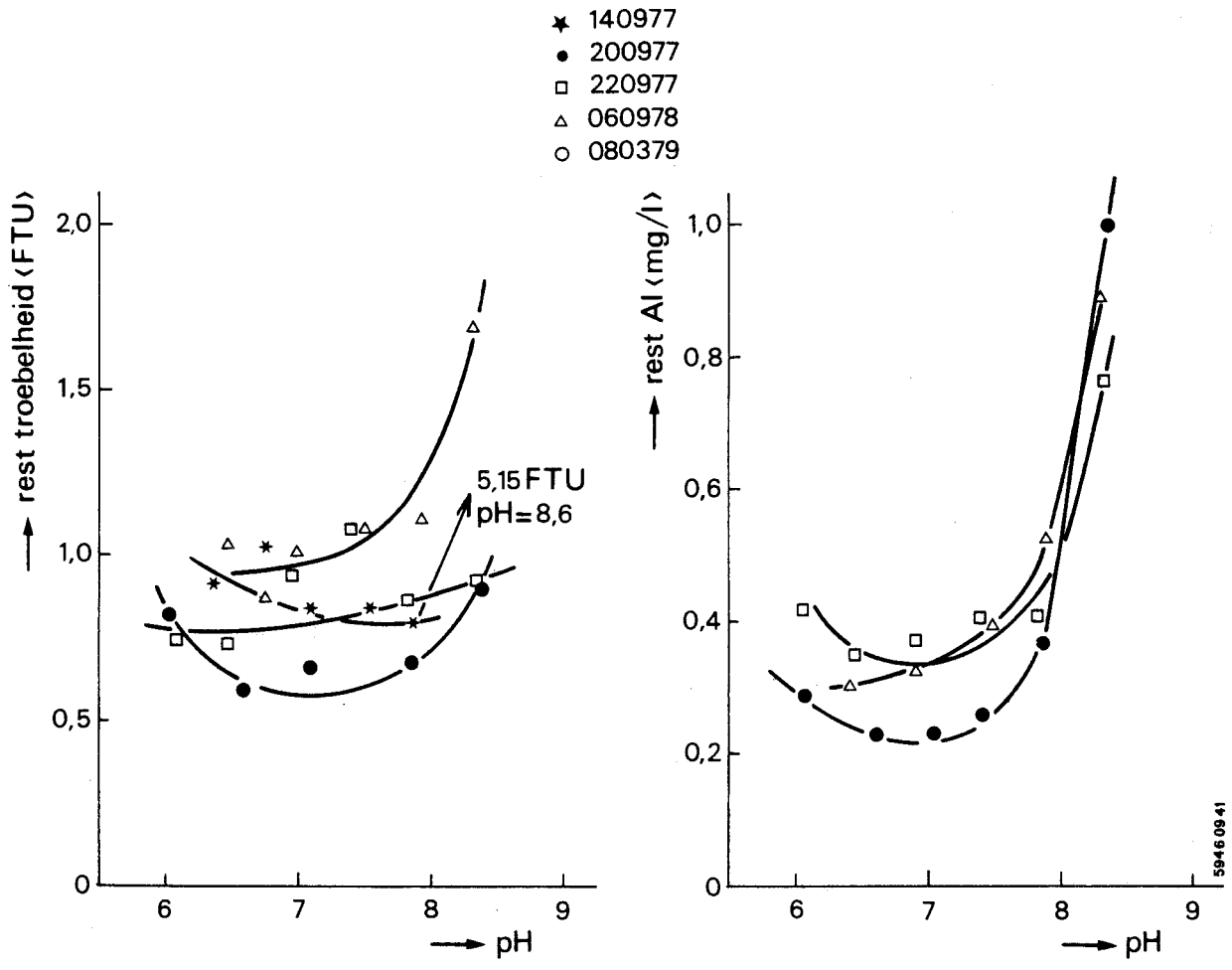
In het algemeen blijkt het restaluminiumgehalte in het pH-gebied van 6,5 - 7,5 acceptabel te zijn, hoewel bij enkele proeven de toename van het restaluminiumgehalte reeds bij een pH van 7,0 begint.

De aluminiumzouten blijken aldus hun optimale pH-gebied van 6,5 tot 7,5 te hebben, waarbij het optimale pH-gebied van Herlifloc en AVR erg kritisch is. Er is geen verschil voor de twee watersoorten gevonden. Sachtoklar lijkt over een breder pH-gebied toepasbaar (fig. 17).

Tabel 10 - Bekerglasproeven ter bepaling van de optimale pH bij dosering van aluminiumzouten

Datum	vlokmiddel	watersoort	t (°C)	troebelheid (FTU)	optimaal pH-gebied	aluminiumdosis (mg/l)
09-09-77	Al ₂ (SO ₄) ₃	Lekkanaal	19,3	21,2	6,2 - 7,15	2,5
16-09-77	AKZO	Lekkanaal	17,5	23,6	6,4 - 7,0	2,0
13-10-77		Maas	13,5	4,6	6,2 - 7,6	2,0
22-08-78		Lekkanaal	19,0	11,0	6,3 - 7,2	1,5
14-09-77	Sachtoklar	Lekkanaal	17,5	23,5	6,35 - 7,9	2,1
20-09-77		Lekkanaal	16,0	24,0	6,55 - 7,45	2,1
22-09-77		Maas	16,0	4,4	6,45 - 7,85	2,4
06-09-78		Lekkanaal	19,0	15,8	6,4 - 7,5	-
10-03-79		Lekkanaal	6,0	5,0	7,6	2,2
03-10-77	AVR	Lekkanaal	-	-	6,45 - 7,0/8,0	-
15-11-77		Lekkanaal	10,2	16,5	6,4 - 6,7/>8,1	2,2 + 0,95*
05-06-78		Lekkanaal	19,5	5,2	7,9 - 8,2	1,8 + 0,8*
28-08-78		Maas	19,0	6,7	6,8	1,3 + 0,5*
14-09-78		Lekkanaal	14,0	11,0	6,8	1,1 + 0,4*
13-04-78	Herlifloc	Maas	16,5	30,0	6,5 - 7,2	1,9
19-04-78		Lekkanaal	10,5	19,5	6,7	2,3
09-06-78		Lekkanaal	20,0	7,0	6,75	2,3
07-06-78	Al ₂ (SO ₄) ₃ Rhône Progil	Maas	19,0	6,0	7,1 - 7,6	1,5
10-03-79		Lekkanaal	6,0	5,0	7,8	3,2
20-03-79		Lekkanaal	6,0	12,5	7,5	2,3
09-08-78	Al ₂ (SO ₄) ₃ Cerutti	Maas	19,0	3,4	6,5 - 7,0	1,5

* laagste waarde heeft betrekking op het ijzergehalte in AVR



Figuur 17 - Bekerglasproeven ter bepaling van de optimale pH bij dosering van Sachtoklar

3.4 Vergelijkend onderzoek van vlokmiddelen bij optimale pH

3.4.1 Vergelijkend onderzoek van verschillende soorten ijzer(III)chloride

De resultaten van bekersglasproeven met de onderzochte ijzerzouten zijn vergeleken met de resultaten van bekersglasproeven met ijzer(III)chloride van Setesa. Uit tabel 11 blijkt dat geen duidelijk verschil in werking is geconstateerd tussen de diverse ijzerzouten, hetgeen ook niet verwacht wordt. Er is geen onderzoek verricht naar geoxideerd ijzer(II)sulfaat. Naar verwachting zijn de resultaten hiervan gelijk aan die van ijzer(III)chloride.

Tabel 11 - Vergelijking van ijzer(III)chloride van diverse fabrikanten

Datum	watersoort	t (°C)	pH	opti- male dosis (mg/l)	troe- bel- heid (FTU)	rest ijzer- gehal- te (mg/l)	kleur (mg/l Pt)	UV (m ⁻¹)
09-11-77	Maas	11,5	7,7		5,9	0,27	20,7	10,3
	a		7,9	5,0	1,37	1,12	16,5	9,2
	b		7,9	5,0	1,11	0,86	16,9	9,0
	c		7,9	5,0	1,53	1,17	14,2	8,8
19-06-78	Lekkanaal	21,0	7,7		17,0		15,8	9,0
	a		8,1	4,5	0,65	0,43	2,8	7,8
	b		8,0	5,0	0,67	0,39	12,7	7,8
22-06-78	Maas	19,0	7,8		5,0		12,3	8,8
	a		7,9	6,0	0,73	0,58	9,6	7,4
	b		8,0	4,0	0,64	0,45	10,0	7,6
06-12-78	Lekkanaal	4,0						
	a		7,8	4,5	0,70	0,37	13,7	9,2
	b		7,7	4,5	0,96	0,45	13,7	8,9

a Setesa b Cerutti c Cometchemie

3.4.2 Vergelijkend onderzoek van verschillende aluminiumzouten

In tabel 12 zijn de resultaten van bekerglasproeven met aluminiumzouten vergeleken met de resultaten van proeven met ijzer(III)chloride van Setesa vergeleken voor de zomersituatie.

Het blijkt dat de optimale dosering uitgedrukt op molaire basis voor aluminium- en ijzerzouten gemiddeld gelijk is. Dit geldt zowel voor Maaswater als voor het water uit het Lekkanaal. Wanneer de resttroebelheid als criterium genomen wordt blijkt dat de gemiddelde troebelheid na coagulatie van zowel Maas- als Lekkanaalwater nagenoeg gelijk is. De variaties per proef zijn echter aanzienlijk.

Wanneer het restvlokmiddelgehalte op molaire basis bij de optimale pH-waarden (voor aluminium circa 7,0 en voor ijzer circa 7,9) onderling wordt vergeleken, blijkt ijzerchloride licht in het voordeel. Ook hierbij is geen verschil geconstateerd tussen Lekkanaal- en Maaswater.

Ten aanzien van de reductie van het gehalte aan organische stoffen (gemeten als afname van kleur en UV-extinctie) zijn bij de optimale pH aluminiumzouten ontegenzeggelijk in het voordeel. Voor aluminiumzouten bedragen de kleur- en de UV-reductie respectievelijk 36 en 26 %; voor ijzerzouten slechts 22 en 15 %. Voor Lekwater is de organische stofreductie gemiddeld iets hoger dan voor Maaswater, hetgeen waarschijnlijk wordt veroorzaakt door het hogere organische stofgehalte van het Lekkanaalwater. Gelet op deze resultaten is er in de zomersituatie weinig of geen verschil in werking tussen aluminiumsulfaat van diverse fabrikanten en Sachtoklar.

Tabel 12 - Vergelijking van aluminiumzouten met ijzer(III)chloride van Setesa in de zomersituatie

a. Vergelijking van aluminiumsulfaat van AKZO en ijzer(III)chloride van Setesa

Datum	watersoort	t (°C)	pH	opt.dosis (mg/l)	troeb. (FTU)	rest Fe/Al (mg/l)	kleur (mg/l Pt)	UV (m ⁻¹)
09-09-77	Lekkanaal	19,2	7,6		21,2		-	-
	Al		6,9	2,5	0,27	0,18	13	7,2
	Fe		8,0	3,3	0,73	0,39	31	12,2
16-09-77	Lekkanaal	17,5	7,6		23,6		-	-
	Al		6,8	2,0	0,32	0,16	14	7,6
	Fe		7,8	4,4	0,54	0,32	25	10,8
22-08-78	Lekkanaal	19,0	7,7		11,0		20	10,3
	Al		7,2	1,45	0,82	0,36	13	7,7
	Fe		7,8	4,0	0,70	0,48	14	8,1
24-08-78	Maas	19,0	7,8		6,7		15	9,5
	Al		7,1	2,0	0,72	0,44	9	7,1
	Fe		7,9	4,0	0,65	0,44	11	8,1
28-08-78	Maas	19,0	7,8		6,7		15	9,5
	Al		7,2	2,0	0,72	0,44	9	7,1
	Fe		7,9	3,0	0,70	0,48	12	8,3

b. Vergelijking van aluminiumsulfaat van Rhône Progil met ijzer(III)chloride van Setesa

Datum	watersoort	t (°C)	pH	opt.dosis (mg/l)	troeb. (FTU)	rest Fe/Al (mg/l)	kleur (mg/l Pt)	UV (m ⁻¹)
09-08-78	Maas	19,0	7,6		3,4		16	10,0
	Al		7,1	1,5	0,45	0,31	11	7,9
	Fe		7,9	3,0	0,63	0,50	14	9,0
13-09-78	Lekkanaal	14,0	7,6		9,8		24	11,4
	Al		7,1	2,0	1,28	0,38	14	7,9
	Fe		7,8	3,5	1,03	0,56	15	9,0

c. Vergelijking van aluminiumsulfaat van Cerutti en ijzer(III)chloride van Setesa

Datum	watersoort	t (°C)	pH	opt.dosis (mg/l)	troeb. (FTU)	rest Fe/Al (mg/l)	kleur (mg/l Pt)	UV (m ⁻¹)
28-09-78	Lekkanaal	13,0	7,5		12,5		18	10,1
	Al		7,2	2,75	1,75	0,78	13	8,4
	Fe		7,8	4,0	1,1	0,69	14	8,5

d. Vergelijking van Sachtoklar en ijzer(III)chloride van Setesa

Datum	watersoort	t (°C)	pH	opt.dosis (mg/l)	troeb. (FTU)	rest Fe/Al (mg/l)	kleur (mg/l Pt)	UV (m ⁻¹)
14-09-77	Lekkanaal	17,5	7,8		23,5			-
	Al		7,2	2,1	0,42	19	8,8	
	Fe		7,8	4,4	0,57	0,41	28	12,2
20-09-77	Lekkanaal	16,0	7,8		24,0			-
	Al		6,7	2,1	0,44	0,20	16	7,8
	Fe		7,9	4,4	0,71	0,41	30	11,6
03-10-78	Maas	20,0	7,5		6,0		14	9,9
	Al		7,0	1,35	0,48	0,24	11	8,6
	Fe		7,8	2,0	0,39	0,38	14	9,0

e. Vergelijking van AVR en ijzer(III)chloride van Setesa

Datum	watersoort	t (°C)	pH	opt.dosis (mg/l)	troeb. (FTU)	rest Fe/Al (mg/l)	kleur (mg/l Pt)	UV (m ⁻¹)
28-08-78	Maas	19,0	7,8		6,7		15	9,5
	Al		7,0	1,33 + 0,54	1,05	0,32	10	7,1
	Fe		7,9	3,0	0,70	0,48	12	8,3
14-09-78	Lekkanaal	14,0	7,6		11,0		19	10,9
	Al		7,0	1,1 + 0,47	1,52	0,26	15	8,6
	Fe		7,8	3,5	1,05	0,57	16	9,4

In tabel 13 is de werking van verschillende aluminiumzouten vergeleken met die van ijzerchloride van Setesa voor de wintersituatie. Ook hier blijkt dat de gemiddelde optimale dosis op molaire basis gelijk is. IJzerchloride geeft echter duidelijk betere resultaten dan de aluminiumzouten voor zowel de resttroebelheid als het restvlokmiddelgehalte op molaire basis. De resultaten bij dosering van ijzer(III)chloride bij deze proeven in de wintersituatie zijn zelfs zonder dosering van vlokhelpmiddel acceptabel. Dit is echter voor de aluminiumzouten lang niet altijd het geval.

Tabel 13 - Vergelijking van aluminiumzouten met ijzer(III)chloride van Setesa in de wintersituatie

a. Vergelijking van aluminiumsulfaat van AKZO en ijzer(III)chloride van Setesa

Datum	watersoort	t (°C)	pH	opt.dosis (mg/l)	troeb. (FTU)	rest Fe/Al (mg/l)	kleur (mg/l Pt)	UV (m ⁻¹)
22-11-78	Lekkanaal	8,0	7,7		25,0		19	9,8
	Al		7,1	2,0	1,32	0,30	14	8,1
	Fe		8,0	4,0	0,96	0,47	16	8,9

b. Vergelijking van aluminiumsulfaat van Rhône Progil en ijzer(III)-chloride van Setesa

Datum	watersoort	t (°C)	pH	opt.dosis (mg/l)	troeb. (FTU)	rest Fe/Al (mg/l)	kleur (mg/l Pt)	UV (m ⁻¹)
29-11-78	Lekkanaal	7,5	7,7		22,5		18	16,2
	Al		7,2	2,0	1,40	0,42	11	7,8
	Fe		7,8	4,0	0,78	0,51	15	13,8
10-03-79	Lekkanaal	6,0	7,5		5,0		23	13,8
	Al		7,1	3,2	1,54	0,56	12	8,7
	Fe		8,3	5,25	1,05	0,75	19	11,6
20-03-79	Lekkanaal	6,0	7,6		12,5		17	10,8
	Al		7,0	2,3	4,7	0,88	9	6,8
	Fe		7,9	5,0	1,55	0,80	12	8,6

c. Vergelijking van aluminiumsulfaat van Cerutti en ijzer(III)chloride van Setesa

Datum	watersoort	t (°C)	pH	opt.dosis (mg/l)	troeb. (FTU)	rest Fe/Al (mg/l)	kleur (mg/l Pt)	UV (m ⁻¹)
22-11-78	Lekkanaal	8,0	7,7		25		19	9,0
	Al		7,1	2,5	0,98	0,29	14	7,6
	Fe		8,0	4,0	0,96	0,47	16	8,9

d. Vergelijking van Sachtoklar met ijzer(III)chloride van Setesa

Datum	watersoort	t (°C)	pH	opt.dosis (mg/l)	troeb. (FTU)	rest Fe/Al (mg/l)	kleur (mg/l Pt)	UV (m ⁻¹)
27-11-78	Lekkanaal	8,0	7,0		16,8		19	10,9
	Al		7,3	2,25	1,35	0,37	13	8,2
	Fe		8,0	5,0	0,90	0,58	15	9,4
09-03-79	Lekkanaal	5,5	7,5		4,5		19	11,8
	Al		7,1	2,2	1,09	0,25	11	9,1
	Fe		8,3	6,3	0,57	0,44	14	10,8
20-03-79	Lekkanaal	6,0	7,6		12,5		17	10,8
	Al		7,0	1,6	3,0	0,51	8	6,7
	Fe		7,9	5,0	1,55	0,50	12	8,6

e. Vergelijking van Herlifloc en ijzer(III)chloride van Setesa

Datum	watersoort	t (°C)	pH	opt.dosis (mg/l)	troeb. (FTU)	rest Fe/Al (mg/l)	kleur (mg/l Pt)	UV (m ⁻¹)
06-12-78	Lekkanaal	4,0			65		17	10,4
	Al		7,1	3,4	0,85	0,24	10	7,4
	Fe		7,8	4,5	0,70	0,37	14	9,2

f. Vergelijking van AVR met ijzer(III)chloride van Setesa

Datum	watersoort	t (°C)	pH	opt.dosis (mg/l)	troeb. (FTU)	rest Fe/Al (mg/l)	kleur (mg/l Pt)	UV (m ⁻¹)
29-11-78	Lekkanaal	7,5	7,1		22,5		18	10,2
	Al		7,1	1,76+0,72	2,1	0,39	11	7,6
	Fe		7,8	4,0	0,78	0,51	15	8,8

3.5

Samenvatting

Met behulp van bekerglasproeven is de werking van een aantal vlokmiddelen onderling vergeleken. De proeven zijn uitgevoerd met zowel Lekkanaal- als Maaswater bij de heersende watertemperatuur. Als beoordelingscriteria zijn de optimale dosering en de kwaliteit van het effluent na bezinking (troebelheid, vlokmiddelgehalte en in mindere mate het gehalte aan organische stoffen) gehanteerd.

Uit het onderzoek is gebleken dat de optimale pH voor ijzer(III)chloride- en aluminiumzouten verschilt. Voor ijzerzouten is de optimale pH $>7,8$ en voor aluminiumzouten 6,5 tot 7,5. Een direct gevolg hiervan is dat de verwijdering van organische stoffen bij toepassing van aluminiumzouten gunstiger is.

De optimale molaire dosis is voor zowel de aluminium- als ijzerzouten, als voor Lek- en Maaswater ongeveer gelijk. In de zomersituatie is er geen verschil in de te bereiken resttroebelheid geconstateerd. IJzerzouten zijn in het voordeel voor wat betreft het restvlokmiddelgehalte op molaire basis. Er is geen duidelijk verschil gevonden in de werking van aluminiumsulfaat en Sachtoklar in de zomersituatie.

In de wintersituatie lijkt ijzerchloride in het voordeel ten aanzien van de te bereiken resttroebelheid en het restvlokmiddelgehalte. Het verdient aanbeveling de vlokmiddelen te vergelijken bij gelijktijdige dosering van een vlokhulpmiddel en ook Sachtoklar in het onderzoek te betrekken.

Een vergelijking van vlokmiddelen blijkt met een gestandaardiseerd bekerglasapparaat onder gestandaardiseerde omstandigheden en werkwijzen goed mogelijk.

4 VERGELIJKEND ONDERZOEK VAN VLOKMIDDELEN IN EEN
PROEFINSTALLATIE

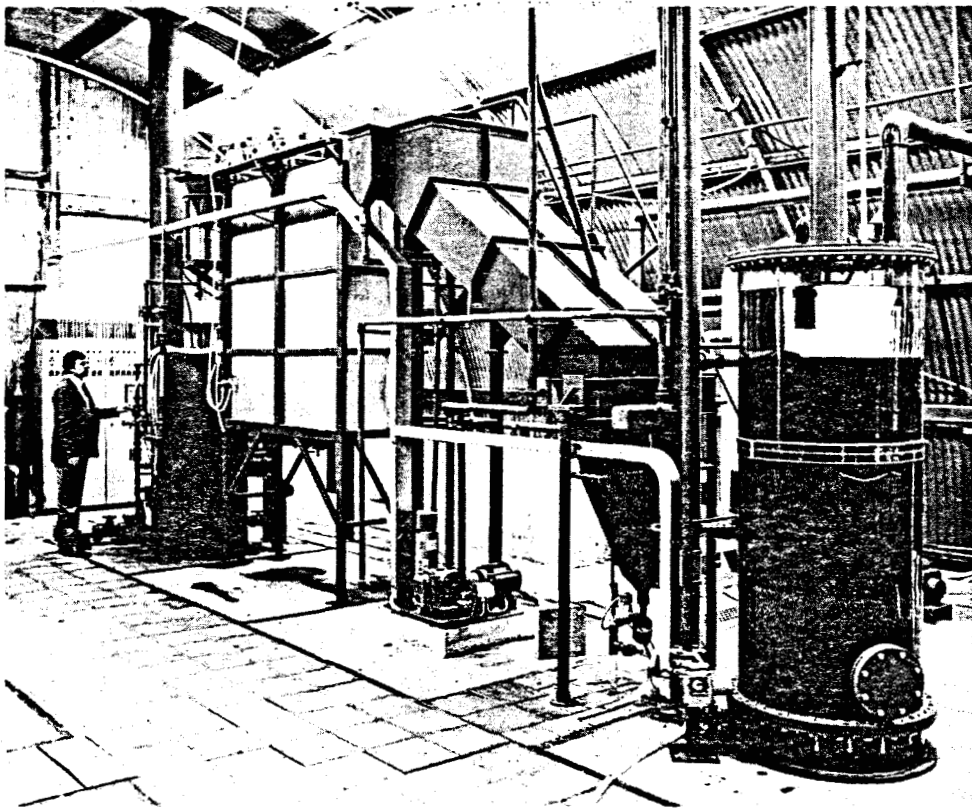
4.1 Inleiding

Uit het vorige hoofdstuk is gebleken dat met beker-
glasproeven een goede vergelijking van vlokmiddelen
kan worden uitgevoerd. De vraag is of de resultaten
van de bekerglasproeven overeenkomen met de resul-
taten van bedrijfsinstallaties. In bedrijfsinstal-
laties en ook in semi-technische proefinstallaties
zijn de omstandigheden voor menging, vlokvorming en
vlokverwijdering namelijk minder ideaal en beheers-
baar. In bekerglasproefapparatuur is de menging en
vlokvorming optimaal en wordt de bezinking statisch
uitgevoerd met relatief lange bezinktijden. In de
praktijksituatie is er per definitie geen uniforme
verblijftijd, een dynamische bezinking en spelen
praktische problemen als vervuiling en meesleuref-
fecten een grote rol. Het is derhalve wenselijk de
met de bekerglasproefapparatuur verkregen resulta-
ten te verifiëren met behulp van onderzoek in een
proefinstallatie. Hoewel veelal de bereikbare rest-
troebelheid de belangrijkste rol speelt in de keuze
van het vlokmiddel zijn daarnaast ook andere aspec-
ten van belang, zoals de organische stofverwijde-
ring, de ontwaterbaarheid van het slib en de fil-
terlooptijden. Naast deze kwalitatieve aspecten
spelen vanzelfsprekend de kosten van de chemicaliën
een belangrijke rol.

In paragraaf 2.4 is vermeld dat bij een watertempe-
ratuur lager dan 10 °C een vlokhulpmiddeldosering
nodig is voor vergroting en versteviging van de ge-
vormde vlok. Om deze reden is er een onderverdeling
gemaakt in het vergelijkend onderzoek in de zomer-
en in de winterperiode.

In de zomer is er geen vlokhelpmiddel gedoseerd. Onder deze condities is er een vergelijking gemaakt tussen de werking van ijzer(III)chloride en aluminiumsulfaat. In de winter is wel een vlokhelpmiddel toegepast. Ook in deze periode is allereerst de werking van ijzer(III)chloride vergeleken met die van aluminiumsulfaat onder gelijktijdige dosering van Superfloc A100.

Uit ervaringen van het Gemeentelijk Waterbedrijf Groningen (GWG) en diverse Duitse waterleidingbedrijven blijkt onder wintercondities Sachtoklar (Sachtleben) betere resultaten te geven dan aluminiumsulfaat. Doordat Sachtoklar een voorgehydrolyseerd aluminiumchloride is, zou het negatieve effect van de temperatuur op de polymerisatie klei-



Figuur 18 - KIWA-proefinstallatie te Nieuwegein

ner zijn en zou de vlokvorming beter verlopen. Aansluitend op het vergelijkend onderzoek van ijzer(III)chloride en aluminiumsulfaat onder wintercondities is daarom ijzer(III)chloride ook nog vergeleken met Sachtoklar, eveneens onder gelijktijdige dosering van Superfloc Al00.

4.2 Beschrijving van de proefinstallatie

In de proefinstallatie wordt voorbezonken Lekka-naalwater als volgt behandeld:

- vlokvorming;
- bezinking;
- snelfiltratie.

De capaciteit van de proefinstallatie bedraagt 2,5 m³/h. Aan het voorbezonken water wordt voorafgaand aan een statische menging het vlokmiddel en eventueel natronloog gedoseerd. De vlokvorming geschiedt in een viertal geroerde compartimenten met een totale verblijftijd van 20 minuten. De roerders hebben een traploos instelbaar toerental. De gevormde vlokken worden afgescheiden in een lamellenseparator (oppervlaktebelasting 9,5 m³/m².h). Het gevormde slib wordt onder uit de lamellenseparator naar droogbedden afgevoerd. Het effluent van de lamellenseparator wordt door een snelfilter geleid dat is opgebouwd uit 0,45 m hydro-anthraciet en 0,55 m zand. De filtratiesnelheid bedraagt 5,2 m/h. Het filter wordt gespoeld door achtereenvolgens vier minuten water (33 m/h), drie minuten lucht en tenslotte drie minuten water (58 m/h) door te leiden. De installatie is afgebeeld in figuur 18.

4.3 Uitvoering van de proeven

Om in het onderzoek zoveel mogelijk de invloed van

de variabele aanvangskwaliteit en temperatuur van het water uit te sluiten, is dagelijks van vlokmiddel gewisseld. Gedurende een cyclus van 24 uur is viermaal de effluentkwaliteit (van zowel lamellenafscheider als snelfilter) en tweemaal de influentkwaliteit bepaald. Daarnaast is de cyclus lang genoeg om een goede indruk van de filterlooptijd te krijgen en een representatief slibmonster te nemen. Voordat op een ander vlokmiddel is overgegaan, zijn de lamellen schoongespoten en is het snelfilter gespoeld.

Voor het onderzoek is gebruik gemaakt van ijzer(III)chloride van Setesa en aluminiumsulfaat van Rhône Progil. Bij toepassing van ijzer(III)chloride als vlokmiddel is een pH van 8,2 aangehouden. Bij toepassing van aluminiumsulfaat is geen pH-correctie toegepast aangezien de pH van het water zonder correctie tussen 6,5 en 7,5 ligt, hetgeen volgens het voorgaande optimaal is.

In de zomersituatie zijn op grond van ervaring in de vier vlokvormingscompartimenten de volgende G-waarden ingesteld:

eerste compartiment: $G = 110 \text{ s}^{-1}$
tweede compartiment: $G = 40 \text{ s}^{-1}$
derde compartiment: $G = 8 \text{ s}^{-1}$
vierde compartiment: $G = 3 \text{ s}^{-1}$.

In de wintersituatie, waarbij een vlokhulpmiddel is toegepast, zijn in verband met bezinking van de vlokken in de laatste compartimenten de volgende verhoogde G-waarden ingesteld

eerste compartiment: $G = 152 \text{ s}^{-1}$
tweede compartiment: $G = 55 \text{ s}^{-1}$
derde compartiment: $G = 23 \text{ s}^{-1}$
vierde compartiment: $G = 13 \text{ s}^{-1}$.

Bovendien is na een vlokvormingstijd van vijf minuten (tussen het eerste en tweede compartiment) het

vlokhulpmiddel Superfloc A100 gedoseerd. In sommige gevallen is voorafgaand aan het onderzoek in de proefinstallatie een standaardbekerglasproef uitgevoerd.

Van het influent zijn de temperatuur, de troebelheid en ter indicatie van het gehalte aan organische stoffen, de kleur en de UV-extinctie bepaald en na de vlokmiddel- en eventueel loogdosering de vlokmiddelconcentratie en de pH.

Aan het eind van de vlokvorming zijn monsters genomen waarin de bezinkbaarheid van de gevormde vlok is bepaald door meting van de troebelheid in het bovenstaande water na een bezinktijd van twintig respectievelijk dertig minuten.

Van het effluent van de lamellenafscheider is de troebelheid, het restvlokmiddelgehalte, de kleur en de UV-extinctie bepaald en van het snelfiltraat de troebelheid en de Membraanfiltratie Index (MFI).

In de wintersituatie is voor het snelfiltraat tevens een deeltjestelling uitgevoerd.

Per cyclus is één slibmonster genomen. Om een representatief monster te verkrijgen is dit gedaan nadat de automatische slibaflaat is uitgeschakeld en het niveau in de slibopvangbak tot een vastgesteld niveau is gestegen. Van het slib zijn het droge stofgehalte, de "capillary suction time" (CST), de afzuigtijd en de specifieke filtratieweerstand bepaald volgens lit. 11. De specifieke filtratieweerstand en de verhouding tussen de CST en het droge stofgehalte geven een indruk van de ontwaterbaarheid van het slib. Een lagere waarde van deze verhouding duidt op een betere ontwaterbaarheid. De slibproductie per m³ behandeld water kan ruwweg berekend worden door te veronderstellen dat 1,0 FTU overeenkomt met 1,0 mg/l zwevende stof en dat al het gedoseerde vlokmiddel verwijderd

Tabel 14 - Vergelijking van aluminiumsulfaat met ijzer(III)chloride in de zomersituatie

vlokmiddel datum - oktober 1979	Fe 15/16	Al 16/17	Fe 17/18	Al 18/19	Al 22/23	Fe 23/24	Al 24/25	Fe 25/26	Fe totaal
influent: temperatuur	14,7	14,3	14,1	14,1	12,3	11,7	11,2	10,6	13,0
troebelheid	FTU		15,5	18,8	17,3	24,6	24,5	28,0	19,7
kleur	mg/l Pt	19,5	16,5	19,0	16,8	13,7	16,7	15,7	15,3
UV-extinctie	m ⁻¹	10,5	10,8	9,3	9,5	8,4	9,6	8,7	9,2
THMFP	g/l	-	-	-	-	278	252	-	278
dosering: vlokmiddel	mmol/l	0,102	0,13	0,096	0,104	0,095	0,122	0,096	0,096
natronloog	mg/l	5,7	3,7	5,4	2,8	5,3	3,3	5,4	5,4
pH na doseringen	mg/l	18,6	0	14,9	0	15,6	0	14,7	16,0
		8,2	6,8	8,2	6,9	8,2	6,9	8,2	8,2
na vlok-: troebelheid na vonming	FTU	0,95	1,00	0,82	0,92	0,83	1,03	0,94	0,89
restvlokmiddel na	mg/l	0,57	0,51	0,56	0,41	-	-	-	0,56
20 min. bezinking	FTU	-	-	-	0,71	0,78	1,00	0,81	0,78
troebelheid na									
30 min. bezinking									
na be- : troebelheid	FTU	1,07	1,23	1,03	1,36	1,49	1,52	1,21	1,11
restvlokmiddel	mg/l	0,68	0,54	0,62	0,52	0,58	0,49	0,46	0,58
kleur	mg/l Pt	-	16,0	15,5	14,3	12,5	13,5	15,3	15,1
UV-extinctie	m ⁻¹	8,5*	7,9	8,7	8,0	7,9*	7,8	8,7	8,6
afname kleur	%	-	18	6	25	26	19	3	1
afname UV-extinctie	%	20	26	6	24	16	18	0	6
slib : droge stofgehalte	g/l	13,4	10,0	17,3	14,4	15,8	16,4	17,3	16,7
afzuigtijd	s	1329	857	1573	1394	1082	1077	1602	1495
CST	s	94,1	98,4	143,4	149,5	130,1	116,3	164,2	133,7
CST/droge stofgehalte	s/g/l	7,02	9,84	8,30	10,38	8,23	7,09	9,49	7,98
spec.filt.weerstand	10 ¹³ m/kg	2,06	1,57	1,87	1,81	1,37	1,18	1,61	1,79
slibprod. als droge stof	g/m ³	21,4	25,2	25,8	26,9	26,6	34,0	38,3	30,0
als volume	l/m ³	1,60	2,52	1,49	1,88	1,68	2,08	2,22	1,80
snel- : troebelheid	FTU	0,11	0,11	0,12	0,11	0,12	0,13	0,16	0,13
filtraat: MFI	s/l ²	10,8	24,8	24,1	17,7	22,2	23,5	27,0	22,5
THMFP	µg/l	-	-	-	-	207	160	-	207
toename filterweerstand	mm	145	190	130	200	160	175	110	125

* influent gechloord (niet in totaal verwerkt)

wordt als hydroxide. Dit impliceert dat de berekende slibproductie zowel het sedimentatie- als het spoelwaterslib omvat.

De weerstandstoename van het snelfilter geeft aan in welke mate het snelfilter per cyclus is vervuild. Indien een bepaalde filterweerstand als looptijd criterium wordt aangehouden en de snelheid van weerstandstoename constant wordt verondersteld, is de filterlooptijd omgekeerd evenredig met de weerstandstoename.

Naast bovengenoemde bepalingen is voor beide vlokmiddelen eenmalig de afname van de "trihalomethane formation potential" (THMFP) door het coagulatieproces inclusief snelfiltratie bepaald om te kunnen vaststellen of de vlokmiddelkeuze van invloed is op de vorming van trihalomethanen bij nachloring.

4.4 Resultaten van het onderzoek

4.4.1 Vergelijkend onderzoek van vlokmiddelen in de zomersituatie

Door middel van een bekerglasproef en onderzoek in de proefinstallatie is de optimale vlokmiddeldosering vastgesteld. De bekerglasproef laat zien dat de optimale ijzer(III)dosering 3,5 mg/l is met een resttroebelheid van 0,58 FTU. De optimale ijzer(III)dosering in de proefinstallatie bedraagt 5,5 mg/l met een resttroebelheid van 1,0 FTU. Dit verschil van 2 mg/l is eveneens bij voorgaand onderzoek geconstateerd. Een ijzer(III)dosering van 5,5 mg/l impliceert dat, bij gelijke molaire dosis, voor de aluminiumdosering 2,7 mg/l aangehouden dient te worden.

Tabel 14 geeft een overzicht van de resultaten. Hierin zijn de gemiddelde waarden per cyclus ver-

meld. De gemiddelde watertemperatuur is van 14,3 °C in de eerste week afgenomen tot 11,5 °C in de tweede week. De gemiddelde waarde van de troebelheid is in dezelfde periode toegenomen van 14,8 tot 23,6 FTU. De invloed van de temperatuursdaling blijkt de invloed van de hogere troebelheid van het influent te overheersen. Hierdoor is de verwijdering van de vlok in de lamellenafscheider in de tweede week verslechterd. De bezinkbaarheid van de vlok is overigens niet afgenomen zoals blijkt uit de bezinkproef gedurende twintig respectievelijk dertig minuten na de vlokvorming.

De resttroebelheid na de lamellenafscheider blijkt bij een aluminiumdosering van 2,7 mg/l ongeveer 30 % hoger te zijn dan bij een gelijke molaire ijzer(III)dosering, hetgeen een 30 % kortere filterlooptijd met zich meebrengt.

Na filtratie wordt geen verschil meer gevonden in troebelheid terwijl ook de MFI-waarden gelijk zijn. De verwijdering van organische stof is voornamelijk vanwege de lagere pH bij de aluminiumdosering beduidend beter. Bij de ijzer(III)dosering is in deze periode hoegenaamd geen verlaging van kleur en UV-extinctie gevonden, terwijl bij de aluminiumdosering deze verlaging iets meer dan 20 % heeft bedragen.

De globale afname van de THMFP bedraagt bij een ijzer(III)dosering van 5,5 mg/l 25 % en bij een aluminiumdosering van 2,7 mg/l 36 %.

Bij een gelijke molaire dosering vlokmiddel is de slibproductie gemeten als de gewichtshoeveelheid droge stof bij de aluminiumdosering iets kleiner dan bij de ijzer(III)dosering. Daartegenover staat dat door het lagere droge stofgehalte van het aluminiumslib de slibproductie op volumebasis groter is. De verschillen in slibproductie bedragen echter

niet meer dan 10 %. De ontwaterbaarheid van het slib is goed te noemen. De als maat voor de ontwaterbaarheid gehanteerde waarden voor de specifieke filtratieweerstand en de verhouding tussen CST en het droge stofgehalte leiden niet tot eenduidige conclusies. De waarden voor de afzuigtijd en de CST geven geen informatie over de ontwaterbaarheid omdat deze niet gecorrigeerd zijn voor het droge stofgehalte.

4.4.2 Vergelijkend onderzoek van vlokmiddelen in de wintersituatie

Inleidend onderzoek

Ook voor de wintersituatie is door middel van een bekersglasproef en onderzoek in de proefinstallatie de optimale vlokmiddel- en vlokhulpmiddeldosering vastgesteld. De resultaten van deze experimenten zijn weergegeven in tabel 15.

Met behulp van een standaardbekersglasproef is in november 1979 een optimale ijzer(III)dosis van 3,0 mg/l gevonden. De resttroebelheid bedraagt hierbij 2,40 FTU zonder gebruik van vlokhulpmiddel en 0,58 FTU bij dosering van 0,3 mg/l Al₂O₃. Voor de proefinstallatie blijkt de optimale ijzer(III)dosering 7,0 mg/l te bedragen bij een vlokhulpmiddeldosering van 0,3 mg/l Al₂O₃. De resttroebelheid van het effluent bedraagt hierbij 0,85 FTU.

Met behulp van de standaardbekersglasproef is een optimale aluminiumdosis van 1,5 mg/l gevonden. De resttroebelheid bedraagt 2,25 FTU zonder gebruik van vlokhulpmiddel en 1,05 FTU bij dosering van 0,3 mg/l Al₂O₃. Voor de proefinstallatie bedraagt de optimale aluminiumdosering 4,3 mg/l bij dosering van 0,3 mg/l Al₂O₃. De resttroebelheid van het effluent bedraagt hierbij 1,4 FTU.

Tabel 15 - Resultaten van inleidende experimenten

	Beker- glas- proef	Proef- instal- latie
Opt. ijzer(III)dosering (mg/l)	3,0	7,0
rest troeb. (FTU)	2,4	-
rest troeb. (FTU) met 0,2 mg/l A 100	0,58	0,85
Opt. aluminiumdosering (mg/l)	1,5	4,3
rest troeb. (FTU)	2,25	-
rest troeb. (FTU) met 0,3 mg/l A 100	1,05	1,4

Naast een verschil in optimale dosering wijken de resultaten van het bekerglasproefapparaat en de proefinstallatie af voor wat betreft het verloop van de troebelheid als functie van de dosis. De bekerglasproeven met aluminiumsulfaat geven een curve met een minimale waarde van de troebelheid, terwijl de curve voor de proefinstallatie monotoon dalend is.

De optimale ijzer- en aluminiumdoseringen liggen bij de proefinstallatie aanzienlijk hoger dan bij de bekerglasproef. Dit wijst op een verre van ideale werking van de proefinstallatie. De bij de optimale dosering verkregen resttroebelheid is eveneens hoger. De verhouding tussen ijzer en aluminium van 2,0 bij de bekerglasproef stemt redelijk overeen met die van 1,6 bij de proefinstallatie.

Tabel 16 - Vergelijking van aluminiumsulfaat met ijzer(III)chloride in de wintersituatie

vlokmiddel datum - november 1979		Fe*	Al	Fe	
		21/22	28/29	29/30	
influent:	temperatuur	°C	7,8	7,2	7,0
	troebelheid	FTU	13,9	22,0	17,9
	kleur	mg/l Pt	16,0	16,8	16,4
	UV-extinctie	m ⁻¹	9,9	10,2	9,9
	THMFP	g/l	-	200	156
dosering:	vlokmiddel	mmol/l	0,125	0,159	0,159
		mg/l	7,0	4,3	8,9
	natronloog	mg/l	25	-	25
	pH na dosering en Superfloc A 100	mg/l	8,2	6,9	8,2
			0,3	0,3	0,3
na vlok-:	troebelheid na vorming 20 min. bezinking	FTU	0,93	1,59	0,66
na be- :	troebelheid	FTU	0,85	1,38	0,55
zinking	restvlokmiddel	mg/l	0,63	0,57	0,43
	kleur	mg/l Pt	11,6	11,0	11,8
	UV-extinctie	m ⁻¹	7,6	7,3	7,8
	afname kleur	%	24	34	28
	afname UV-extinctie	%	28	29	21
	weerstandstoename in lamellen per dag	mm	5	15	5
slib :	droge stofgehalte	g/l	18,1	25,1	9,6
	afzuigtijd	s	1571	962	1209
	CST	s	146,2	108,9	117,2
	CST/droge stofgehalte	s/g/l	8,08	4,34	12,2
	spec. filt.weerstand	10 ¹³ m/kg	1,44	0,64	0,94
	slibprod. als droge stof	g/m ³	27,5	34,6	35,1
	als volume	l/m ³	1,52	1,38	3,68
snel- :	troebelheid	FTU	0,31	0,35	0,24
filtraat	restvlokmiddel	mg/l	-	0,18	0,15
	aantal deeltjes 1 -2 µm		622	566	936
	2 -4 µm		348	258	519
	4 -7 µm		205	116	291
	7-10 µm		108	76	137
	10-20 µm		84	62	97
	20-60 µm		10	7	8
	MFI	s/l ²	-	282	199
	THMFP	ug/l	-	88	109
	toename filterweerstand	mm	305	245	345
Zonder A 100-dosering (G=110-40-8-3 s ⁻¹)	troebelheid na bezinking	FTU	-	3,50	1,55

* G = 152-77-15-8 s⁻¹

Resultaten van de vergelijking van ijzer(III)-chloride met aluminiumsulfaat

Eind november 1979 is de werking van ijzer(III)-chloride vergeleken met aluminiumsulfaat in de proefinstallatie, voor doseringen van respectievelijk 7,0 mg/l ijzer(III) en 4,3 mg/l aluminium.

De resultaten bij deze doseringen zijn weergegeven in tabel 16 waarin ook zijn opgenomen de resultaten bij een ijzer(III)dosering van 8,9 mg/l ten einde een vergelijking tussen de werking van equimoleculaire hoeveelheden vlokmiddel (0,159 mmol/l) mogelijk te maken.

De troebelheid na de lamellenafscheider blijkt bij de aluminiumdosering hoger te zijn dan bij equimoleculaire ijzer(III)dosering (1,38 respectievelijk 0,55 FTU). Zonder A 100-dosering bedraagt de resttroebelheid bij deze ijzer(III)dosering, 1,55 FTU en bij de aluminiumdosering 3,50 FTU, hetgeen laat zien dat vooral bij aluminiumdosering een vlokhulpmiddel van belang is en dat bij toepassing van ijzer(III)chloride zonder vlokhulpmiddel nog een redelijke resttroebelheid te verkrijgen is. Uitgaande van een criterium dat voor iedere 0,1 mg/l A 100 de troebelheid met 0,1 FTU dient af te nemen, is echter een vlokhulpmiddeldosering verantwoord.

Ook na snelfiltratie is ijzer(III)chloride zij het in geringe mate in het voordeel voor wat betreft de troebelheid. De resultaten van de deeltjestellingen in het snelfiltraat geven echter een ander beeld. De deeltjesaantallen na bezinking zijn niet geteld omdat verstopping van de meetcel en bezinking tijdens het meten optreedt.

Ondanks de lagere troebelheid blijkt de toename van de filterweerstand bij ijzer hoger dan bij aluminium.

De verwijdering van organische stof, gemeten als UV-extinctie en kleur, bedraagt bij toepassing van aluminiumsulfaat 32 % en bij toepassing van ijzer(III)chloride 25 %, hetgeen aanmerkelijk meer is dan tijdens het onderzoek onder zomercondities. Dit kan voor een belangrijk deel toegeschreven worden aan de grotere vlokmiddeldosering. De betere verwijdering van organische stof wordt tevens aangegeven door de grotere verlaging van de THMFP (44 respectievelijk 30 %).

De slibproductie berekend als gewicht droge stof per m³ behandeld water is voor beide vlokmiddelen gelijk. Normaliter zou bij een molaire dosisverhouding van 1 op 1 de slibproductie bij aluminiumdosering kleiner zijn, maar dit beeld wordt verstoord door de lagere troebelheid van het ruwe water tijdens gebruik van ijzer(III)chloride. De slibproductie berekend als volume slib per m³ behandeld water is voor aluminiumhoudend slib veel lager door het geringere droge stofgehalte van het ijzerhoudende slib. Indien de resultaten van 21/22 november in de vergelijking betrokken worden, zijn de verschillen aanmerkelijk kleiner.

De ontwaterbaarheid van het aluminiumhoudende slib blijkt beter dan die van het ijzerhoudende slib hetgeen waarschijnlijk wordt veroorzaakt door de verhoudingsgewijs grotere fractie A 100 in het aluminiumhoudende slib. In vergelijking met het onderzoek onder zomercondities is de ontwaterbaarheid van het slib aanmerkelijk beter.

Naast de verbetering van de troebelheid en de ontwaterbaarheid van slib laten de resultaten tevens enkele negatieve aspecten van de vlokhulpmiddeldosering zien. Een ernstig bezwaar van de vlokhulpmiddeldosering is de vervuiling van de lamellenafscheider. Het blijkt dat met aluminiumsulfaat de

toename van de stromingsweerstand 15 mm/dag bedraagt en bij ijzer(III)chloride 5 mm/dag. Het verschil in vervuilingsgraad is waarschijnlijk te wijten aan de relatief grotere fractie vlokhelpmiddel bij aluminiumhoudend slib. Deze vervuiling betekent dat eens per 1 tot 3 dagen reiniging van de lamellenafscheider noodzakelijk is, hetgeen in een bedrijfssituatie onaanvaardbaar is. Hierbij dient opgemerkt te worden dat het gebruikte type lamellenafscheider gevoelig is voor vervuiling en dat zonder een A 100-dosering de toename van de stromingsweerstand 1 à 2 mm/dag is.

Ten opzichte van de zomersituatie neemt de filtratieweerstand in de wintersituatie sneller toe. Dit is mogelijk toe te schrijven aan de aanwezigheid van een restant vlokhelpmiddel, waarvan 5 à 7 % niet tijdens de vlokvorming wordt verwijderd (lit. 12). Mogelijk spelen ook andere factoren zoals een veranderd filtratiegedrag een rol (tabel 16). Verwacht wordt dat aluminiumsulfaat vanwege de grotere troebelheid na bezinking en de relatief grotere fractie vlokhelpmiddel een kortere filterlooptijd geeft, hetgeen echter niet het geval blijkt te zijn. Ook wordt de A 100 niet volledig door de filtratie verwijderd, getuige de hoge MFI-waarde. Een dergelijk hoge MFI zal bij toepassing van hyperfiltratie of infiltratie via persputten problematisch zijn.

Resultaten van de vergelijking van ijzer(III)chloride met Sachtoklar

Voor de vergelijking van ijzer(III)chloride met Sachtoklar is niet meer uitgegaan van de molaire dosisverhouding 1:1. Inleidende experimenten hebben namelijk laten zien dat van Sachtoklar een beduidend lagere dosering toereikend is.

Voorafgaand aan het vergelijkend onderzoek zijn in de proefinstallatie de optimale doseringen vastgesteld van ijzer(III)chloride, Sachtoklar en A 100. Voor ijzer(III)chloride zijn de optimale doses 9,5 mg/l ijzer Fe en 0,3 mg/l A 100 en bedraagt de resttroebelheid van 1,08 FTU. Voor Sachtoklar zijn de optimale doses 2,6 mg/l aluminium en 0,2 mg/l A 100 en bedraagt de resttroebelheid 0,65 FTU. De verhouding tussen ijzer en aluminium is in dit geval 3,6 hetgeen aanzienlijk gunstiger is dan bij aluminiumsulfaat. Indien de A 100-dosering achterwege blijft en de G-waarden overeenkomstig worden aangepast, bedraagt de resttroebelheid 1,10 FTU. Sachtoklar is gedoseerd als onverdund handelsproduct aangezien verdunning de prepolymerisatie beïnvloedt.

Mede gezien de vervuiling van de lamellenafscheider is voor het vergelijkend onderzoek voor beide vlokmiddelen een A 100-dosering van 0,2 mg/l gehanteerd.

Tabel 17 geeft de resultaten van het vergelijkend onderzoek. Na vlokvorming en bezinking is de kwaliteit van het water bij Sachtoklar beter ten aanzien van de troebelheid en beduidend beter ten aanzien van het gehalte aan organische stof. De vervuiling van de lamellenafscheider is bij Sachtoklar groter. Hierbij is echter vooral het vlokhulpmiddel van belang. Optimalisatie van de A 100-dosering met betrekking tot vervuiling is dan ook wenselijk.

Zowel wat betreft de slibproductie als ook de slibontwaterbaarheid is Sachtoklar duidelijk in het voordeel. Vergeleken met aluminiumsulfaat geeft Sachtoklar een kleinere slibproductie vanwege de lagere dosering en een betere ontwaterbaarheid van het slib.

Tabel 17 - Vergelijking van Sachtoklar en ijzer(III)chloride in de wintersituatie

vlokmiddel datum - december 1979		Sachtoklar 19/20	Fe 20/21
influent:	temperatuur °C	6,3	5,9
	troebelheid FTU	23,7	23,5
	kleur mg/l Pt	18,7	19,4
	UV-extinctie m ⁻¹	11,6	11,8
	THMFP g/l	174	165
dosering:	vlokmiddel mmol/l	0,096	0,170
	mg/l	2,6 Al	9,5
	natronloog mg/l	-	20
	pH na dosering vlok. + loog	7,2	8,2
	Superfloc A 100 mg/l	0,2	0,2
na vlok-:	troebelheid na vorming 20 min. bezinking FTU	0,61	0,65
na be- :	troebelheid FTU	0,63	0,74
zinking	restvlokmiddel mg/l	0,22	0,45
	kleur mg/l Pt	7,7	11,6
	UV-extinctie m ⁻¹	6,6	7,8
	afname kleur %	59	40
	afname UV-extinctie %	43	34
	weerstandstoename in lamellen per dag mm	9	5
slib :	droge stofgehalte µg/l	11,4	9,44
	afzuigtijd s	1290	1426
	CST s	122,8	135,4
	CST/droge stofgehalte s/g/l	10,8	14,3
	spec. filt.weerstand 10 ¹³ m/kg	2,15	3,01
	slibprod. als droge stof g/m ³	31,5	41,8
	als volume l/m ³	2,76	4,43
snel- :	troebelheid FTU	0,13	0,20
filtraat	restvlokmiddel mg/l	0,10	0,10
	aantal deeltjes 1 -2 m	349	895
	2 -4 m	205	697
	4 -7 m	115	361
	7-10 m	59	124
	10-20 m	40	73
	20-60 m	8	9
	MFI s/l ²	211	605
	THMFP g/l	90	109
	tqename filterweerstand mm	162	226

De kwaliteit van het filtraat laat ten aanzien van alle gemeten parameters gunstiger waarden zien voor Sachtoklar, terwijl ook de toename van de filterweerstand geringer is.

4.5

Samenvatting

Het is gebleken dat in de zomersituatie de resttroebelheid bij toepassing van ijzer(III)chloride lager is dan bij een aluminiumsulfaatdosering. De verschillen in slibeigenschappen en in de gevormde hoeveelheid slib zijn betrekkelijk gering. Tenslotte is gebleken dat de filterlooptijden bij toepassing van ijzer(III)chloride langer zijn dan voor aluminiumsulfaat.

In de zomersituatie bestaat derhalve een lichte voorkeur voor ijzer(III)chloride, vooral ook daar een iets hogere molaire dosis aluminiumsulfaat nodig is.

In de wintersituatie is bij gebruik van aluminiumsulfaat en A 100 de troebelheid na lamellenseparatie eveneens hoger dan bij gebruik van ijzer(III)chloride en A 100. Dit verschil wordt echter na snelfiltratie vrijwel te niet gedaan, terwijl de filterlooptijd bij gebruik van aluminiumsulfaat gunstiger is. In de wintersituatie geniet aluminiumsulfaat een lichte voorkeur ondanks de sterkere vervuiling van de lamellen in de vlokafscheider. Duidelijker zijn de conclusies bij de vergelijking van Sachtoklar met ijzer(III)chloride.

Bij toepassing van Sachtoklar en A 100 kan een lagere dosis toegepast worden en tevens wordt een betere waterkwaliteit verkregen.

De resultaten van het vergelijkend onderzoek kunnen voor het onderzochte type water als volgt worden samengevat (tabel 18).

Tabel 18 - Vergelijking van aluminiumsulfaat en Sachtoklar ten opzichte van ijzer(III)-chloride in de proefinstallatie

	$Al_2(SO_4)_3$		Sachtoklar
	zomer	winter	winter
dosering	-	o	+
verwijdering troebelheid/ vlokmiddel	-	-	o/+
verwijdering organische stof	+	+	+
vervuiling lamellen	o	-	-
slibvolume	o	+	+
slibontwaterbaarheid	o	+	+
filtraatkwaliteit	o	-/o	o/+
filterlooptijd	-	+	+

+ = beter; o = gelijkwaardig; - = slechter

5 KATIONISCHE POLYMEREN ALS PRIMAIR VLOKMIDDEL

5.1 Inleiding

Bij het coagulatieproces wordt voor de destabilisatie van negatief geladen colloïden gebruik gemaakt van metaalionen met een positieve lading (driewaardig ijzer of aluminium). In de literatuur wordt de verwachting gewekt dat kationische polymeren deze driewaardige metaalionen geheel of gedeeltelijk kunnen vervangen. De benodigde doseringen zouden bij kationische polymeren beduidend lager kunnen zijn hetgeen uit oogpunt van slibverwerking aantrekkelijk is.

Om een eerste indruk te krijgen over de toepassingsmogelijkheden van kationische polymeren zijn enkele oriënterende bekerglasproeven uitgevoerd. De polymeren zijn alleen getest volgens het voorschrift van de bekerglasproef voor bezinking. Overigens dient erop gewezen te worden dat voor geen van de in aanmerking komende kationische polymeren een "Verklaring van geen bezwaar op toxicologische gronden" (VGB) door het KIWA is afgegeven.

5.2 Uitvoering en resultaten

De bekerglasproeven zijn uitgevoerd volgens lit. 8 met dien verstande dat voor de bezinktijd 20 minuten is aangehouden.

Voor de bekerglasproeven is water met een relatief hoge aanvangstroebelheid gebruikt. Voor toepassing van kationische polymeren is dit gunstig omdat de polymeren zich hechten aan de negatief geladen deeltjes.

Als referentie is enkele malen de optimale ijzer-(III)dosering bepaald. Tabel 19 geeft een overzicht

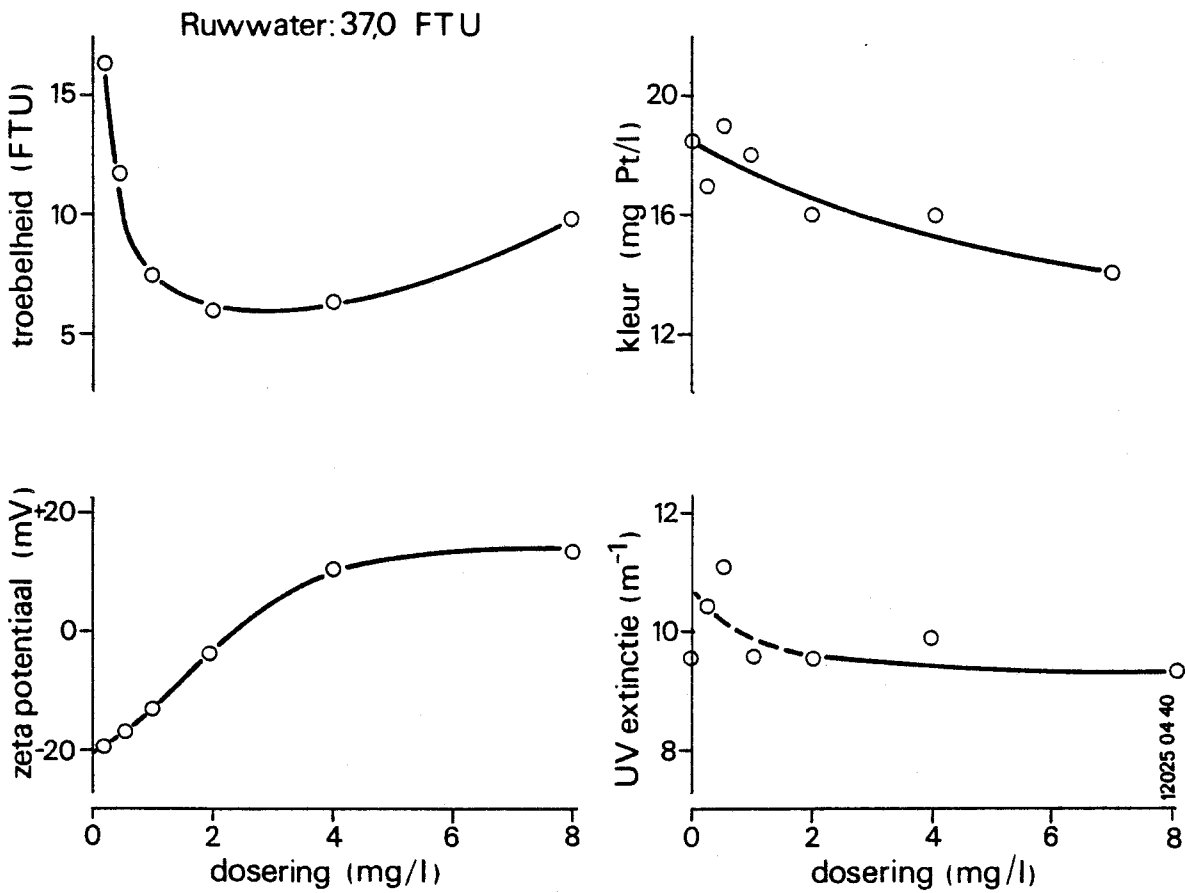
van de optimale dosering en de resttroebelheid.

Tabel 19 - Bekerglasproeven met Lekkanaalwater ter bepaling van de optimale ijzer(III)dosering en de resttroebelheid

datum 1979	influent		optimale Fe-dose- ring (mg/l)	rest- troebel- heid (FTU)
	tempe- ratuur (°C)	troebel- heid (FTU)		
29/10	9,5	39,5	3,0	0,83
5/11	9,2	30,5	3,0	1,60
12/11	9,0	20,8	2,5	2,85
20/11	8,8	19,0	3,5	2,55
21/11	8,2	16,3	3,0	1,88

De optimale ijzer(III)dosering is 3,0 mg/l.

Tabel 20 geeft de resultaten van de bekerglasproeven weer met kationische polymeren. De onderzochte kationische polymeren zijn: Hercofloc 812C, 815C, en 863, Superfloc C589 en C572 en Catfloc.



Figuur 19 - Bepaling van de optimale dosering van Hercofloc 815C voor Lekkanaalwater.

Datum: 31 oktober 1979

Tabel 20 - Bekerglasproeven met Lekkanaalwater ter bepaling van de optimale dosering van kationische polymeren als primaire vlok-middelen

datum 1979	polymeer	optimale dosering (mg/l)	influent troebel- heid (FTU)	rest- troebel- heid (FTU)	kleur afname (%)
31/10	Hercofloc 812C	2	37,5	7,5	0
31/10	Hercofloc 815C	2	37	6	8
1/11	Hercofloc C585	2	46	11	25
1/11	Superfloc C589	2	46	11	25
5/11	Superfloc C572	1	32,5	16	21
15/11	Catfloc	4	44	12	-
15/11	Hercofloc 863	4	44	14	-

Wanneer alleen een polymeer wordt gedoseerd bedraagt de optimale dosering 1,0-4,0 mg/l hetgeen bijna gelijk is aan de optimale ijzer(III)dosering. De resttroebelheid blijft echter steeds beduidend achter bij de resttroebelheid verkregen met ijzer(III)chloride.

Figuur 19 laat zien dat bij de optimale polymeerdosis de zeta-potentiaal nul is. Dit gaat samen met de sterkste reductie van de troebelheid. De resttroebelheid blijft echter altijd vrij hoog. De gevormde vlokken blijven namelijk klein hetgeen een lage bezinksnelheid met zich meebrengt. Bij een te hoge polymeerdosering treedt ladingomslag op. Dit komt tot uiting in hogere resttroebelheden bij hogere doseringen.

De verwijdering van organische stof blijkt soms ni-

hil (Hercofloc 812C en 815C), soms aanzienlijk te zijn (Superfloc).

Additionele dosering van 1 mg/l ijzer(III) geeft een duidelijke verlaging van de resttroebelheid.

In feite is de invloed van de ijzer(III)dosering groter dan die van de polymeerdosering.

5.3 Conclusies en aanbevelingen

De experimenten met kationische polymeren als primair vlokmiddel geven slechte resultaten. De optimale dosering is betrekkelijk hoog en de troebelheidsverwijdering gering.

Het gebruik van kationische polymeren als primair vlokmiddel verdient derhalve geen aanbeveling wanneer de vorming van een goed bezinkbare vlok belangrijk is. Voor watertypen met een geringe troebelheid kunnen kationische polymeren worden toegepast bij neerwaartse vlokkingsfiltratie (in-line coagulatie). Hierbij is de mate van destabiliatie belangrijker dan de vloggrootte.

Mogelijk kunnen kationische polymeren eveneens worden toegepast bij watertypen die een hoge ijzer(III)- of aluminiumdosering vereisen om een verlaging van de metaalzoutdosering te effectueren.

6

FACETTEN DIE BIJ DE KEUZE VAN EEN VLOKMIDDEL EEN
ROL SPELEN

De facetten die bij de keuze van een vlokmiddel een rol spelen zijn:

- verwijdering van troebelheidsveroorzakende deeltjes;
- verwijdering van kleur en organische stof;
- kostprijs vlokmiddelen;
- verwerking van slib;
- benodigde opslagruimte van chemicaliën;
- vlokmiddeleigenschappen die van invloed zijn op de veiligheid bij het gebruik;
- gemak van doseren.

Van deze facetten zullen de eerste drie vooralsnog van doorslaggevende betekenis zijn.

Op de eerste twee facetten is in deze mededeling uitgebreid ingegaan. Geen aandacht is tot dusver geschonken aan de economische aspecten van het coagulatieproces en in het bijzonder de kostprijs van de vlokmiddelen.

De kostprijs van vlokmiddelen wordt veelal door de fabrikanten per afnemer afzonderlijk bepaald en contractueel vastgelegd. Deze kan dus sterk verschillen van de marktprijs van een produkt. Om toch een indruk te krijgen van prijsverschillen is bij enige fabrikanten de marktprijs per ton vlokmiddel opgevraagd (exclusief BTW). Deze zijn in de tabel 21 weergegeven.

Tabel 21 - Kosten van vlokmiddelen (prijspeil 1984)

vlokmiddel	prijs per mol	prijs per ton
aluminiumsulfaat		
- vast	f 0,128-f 0,131	f 430,- - f 440,- (17,1 %)
- oplossing	f 0,149	f 240,- (8,2 %)
Sachtoklar	f 0,204-f 0,230	f 400,- - f 450,-
AVR	f 0,078	f 250,-
ijzer(III)chloride	f 0,101-f 0,126	f 250,- - f 310,-

SLOTBESCHOUWING EN AANBEVELINGEN

Het in deze mededeling beschreven onderzoek heeft geleid tot conclusies, die niet altijd een algemene geldigheid zullen bezitten.

De standaardisatie van de bekerglasproef heeft plaatsgevonden in een bepaalde tijdsperiode waarbij een beperkt aantal watersoorten en vlokmiddelen zijn betrokken. Bij sterk veranderde omstandigheden en andere typen vlokmiddelen kan bijstelling van de standaarduitvoering en standaardcondities nodig zijn. Zoals in het voorgaande reeds gesteld, zal bijstelling van de condities in specifieke gevallen, gericht op de condities van het bedrijf zelf, vrijwel zeker nodig zijn.

Dit doet niets af aan de waarde van het bekerglasproefapparaat en de in het voorschrift vermelde standaardcondities. Hiermee is de mogelijkheid geschapen om met gelijke apparatuur en condities de resultaten van coagulatieonderzoek bij verschillende bedrijven te vergelijken.

Het beschreven onderzoek heeft plaatsgevonden door bij gelijkblijvende condities steeds één parameter te variëren en aldus tot optimale condities te komen. Nieuwe statistische methoden maken het mogelijk optima te vinden bij gelijktijdige variatie van een aantal parameters. Deze aanpak kan bij toekomstig onderzoek overwogen worden.

Ook kan het zinvol zijn bezinkcurven te meten ter bepaling van de optimale bezinktijd, hetgeen vooral het geval is bij toepassing van vlokhulpmiddelen. Een open punt is tenslotte de mate van vervuiling van vooral lamellenseparatoren bij gebruik van vlokhulpmiddelen.

LITERATUUR

1. Puffelen, J. van; Samenvatting van rapporten van de Technische Hogescholen en Waterleidingbedrijven van de vergelijking van vlokmiddelen en vlokhulpmiddelen, Duinwaterleiding van 's-Gravenhage (1977)
2. Paassen, J.A.M. van; Literatuuroverzicht vergelijking vlokmiddelen, SWE-195, april 1978, KIWA-uitgave.
3. Kruize, R.R.; A.P. Meijers; Onderzoek naar de werking van vlokhulpmiddelen, H₂O 14 (1981), 407.
4. Verdouw, J.; Bekerglasproef voor coagulatie.
1. Mengtijden en G-waarden, SW 151, mei 1976, KIWA-uitgave.
5. Camp, T.R.; Floc Volume Concentration, JAWWA 60 (1968) 656.
6. Lai, R.L.; H.E. Hudson; J.E. Singley; Velocity Gradient Calibration of Jar-Test Equipment, JAWWA 67 (1975) 553.
7. Vrale, L.; R.M. Jordan. Rapid Mixing in Water Treatment, JAWWA, 63 (1971), 52.
8. Bekerglasproef voor coagulatie. 3. Voorschrift voor de uitvoering van de standaardbekerglasproef met sedimentatie, SWE-184, maart 1978 KIWA-uitgave.

9. Bekerglasproef voor coagulatie. Voorschrift voor de uitvoering van de standaardbekerglasproef met flotatie, SWE-203, aug. 1979, KIWA-uitgave.
10. Kappers, F.I.; R. Klomp; A.P. Meijers; J.K. Visser; W.H. Willemsen; De verwijdering van algen en fosfaten met IJsselmeerwater door middel van flotatie, SWE-188, 1978, RID-uitgave.
11. Koppers, H.H.M.; Aanbevelingen voor bepalingen ter karakterisering van coagulatieslib bij waterleidingbedrijven. SWE-194, 1978, KIWA-uitgave.
12. Kruize, R.R.; Meijers, A.P.; Onderzoek naar de werking van vlokhulpmiddelen, SWE-235, oktober 1979, KIWA-uitgave.
13. Paassen, J.A.M. van; Meijers, A.P.; Bekerglasproef voor coagulatie 2. Bepaling van de standaardcondities. SWE-183, oktober 1977, KIWA-uitgave.

Bijlage 1 - Gegevens en resultaten van de uitgevoerde bekersglasproeven bij optimale vloktijden en bezinktijden

datum	watertype	temperatuur (°C)	troebelheid (FTU)	G-waarde (sec ⁻¹)	opt. bezinktijd (min)	opt. vloktijd (min)	dosering (mg/l)	pH-effl.	troebelheid effl. (FTU)	ijzergehalte effl. (mg/l)
03-12-76	Bezinkbassin Ng.	9	47,5	22	40	23	15 Fe	8,0	0,65	-
07-12-76	Aanv. Kan. Bergamb.	9	7,6	22	30	20	15 Fe	7,6	0,69	-
08-12-76	Aanv. Kan. Bergamb.	9	7,6	22	55	21	15 Fe	7,7	0,60	-
09-12-76	Aanv. Kan. WRK	9	50	30	45	19	15 Fe	7,5	0,60	0,38
09-12-76	Aanv. Kan. WRK	9	50	40	50	16	15 Fe	7,5	0,55	-
16-12-76	Aanv. Kan. Bergamb.	10	4,2	30	45	19 (19)	15 Fe	7,6	0,68	0,81
16-12-76	Aanv. Kan. Bergamb.	10	4,2	40	40	15 (19)	15 Fe	7,6	0,64	0,57
20-12-76	Bezinkbassin Ng.	10	21,5	20	35	22 (21)	15 Fe	8,0	0,70	0,43
20-12-76	Bezinkbassin Ng.	10	21,5	30	45	20	15 Fe	8,0	-	-
03-03-77	Bezinkbassin Ng.	8	24,4	20	30	25	3,3 Al	7,3	0,91	-
10-03-77	Bezinkbassin Ng.	8	13,5	30	30	18	3,0 Al	8,0	0,40	-
14-03-77	Bezinkbassin Ng.	9	48	20	40	19	10 Fe	8,1	0,74	-
26-04-77	Bezinkbassin Ng.	11,5	16	20	35	20 (21)	3,6 Al	7,8	0,48	0,45 Al
28-04-77	Bezinkbassin Ng.	11,5	27	30	40	22 (20)	3,6 Al	7,9	0,44	0,35 Al
04-05-77	Maas Kv	12	5-7	20	30	22	6 Fe	7,8	0,80	-
11-05-77	Bezinkbassin Ng.	13,3	11,9	20	20	25 (24)	5 Fe	8,25	0,70	0,60
11-05-77	Bezinkbassin Ng.	13,3	11,9	30	30	21 (21)	5 Fe	8,25	0,66	0,49
26-05-77	Maas Kv	15	5-7	30	35	22 (26)	4 Fe	8,2	0,59	0,45
31-05-77	Bezinkbassin Ng.	15,8	1,8	20	20	24 (10)	3 Al	8,3	0,49	1,26 Al
31-05-77	Bezinkbassin Ng.	15,8	1,8	30	20	16 (10)	3 Al	8,3	0,73	1,20 Al
08-06-77	Maas Kv	16,5	6,0	30	40	15	2,8 Al	8,0	0,66	-
08-06-77	Maas Kv	16,5	6,0	20	35	15	2,8 Al	8,0	0,61	-
20-06-77	Bezinkbassin Ng.	17,2	21,8	12	30	25 (24)	5 Fe	8,2	0,98	0,98
21-06-77	Bezinkbassin Ng.	17,2	7,7	50	40	15 (17)	5 Fe	8,2	0,56	0,41
28-06-77	Bezinkbassin Ng.	19	10	40	30	20 (21)	3 Fe	8,2	0,71	0,42
28-06-77	Bezinkbassin Ng.	19	10	80	30	25 (20)	3 Fe	8,2	0,45	0,23
04-07-77	Bezinkbassin Ng.	19,5	4,5	50	40	25 (20)	3 Fe	8,2	0,47	0,27
04-07-77	Bezinkbassin Ng.	19,5	4,5	60	40	15 (15)	3 Fe	8,2	0,78	0,47
05-07-77	Bezinkbassin Ng.	19,5	5,5	70	30	25 (20)	3 Fe	8,2	0,60	0,30

Ng = Nieuwegein; Kv = Keizersveer

Bijlage 2 - Resultaten van de uitgevoerde bekerglasproeven bij verschillende bezinktijden

datum	bezinktijd (min)	criterium troebelheid		criterium restijzer- gehalte	
		opt. vloktijd (min)	troebel- heid effl. (FTU)	opt. vloktijd (min)	ijzerge- halte effl. (mg/l)
03-12-76	20	25	1,10	-	-
	40	23	0,65	-	-
	60	22	0,54	-	-
07-12-76	10	20	1,46	-	-
	30	20	0,69	-	-
	50	20	0,59	-	-
08-12-76	15	20	2,35	-	-
	35	21	0,94	-	-
	55	21	0,60	-	-
09-12-76	30	18	0,94	20	0,48
	40	18	0,70	20	0,43
	50	16	0,55	20	0,33
16-12-76 G = 30 sec ⁻¹	30	16	1,22	20	1,51
	40	20	0,75	18	1,00
	50	17	0,63	19	0,57
16-12-76 G = 40 sec ⁻¹	30	17	1,37	21	1,64
	40	16	0,93	22	0,97
	50	15	0,64	19	0,57
20-12-76 G = 40 sec ⁻¹	30	21	0,75	21	0,44
	40	22	0,64	22	0,40
	50	22	0,60	20	0,32

datum	bezinktijd (min)	criterium troebelheid		criterium restijzer- gehalte	
		opt. vloktijd (min)	troebel- heid effl. (FTU)	opt. vloktijd (min)	ijzerge- halte effl. (mg/l)
20-12-76 G = 30 sec ⁻¹	30	20	0,97	-	-
	40	20	0,67	-	-
	50	19	0,57	-	-
03-03-77	30	25	1,2	-	-
	40	25	0,91	-	-
	50	25	0,83	-	-
	120	32	0,56	-	-
10-03-77	20	16	0,74	-	-
	30	18	0,40	-	-
	40	18	0,37	-	-
	150	15	0,37	-	-
14-03-77	20	17	1,38	-	-
	30	20	0,93	-	-
	40	19	0,74	-	-
	1200	14	0,56	-	-
26-04-77	20	25	0,90	20	0,54 Al
	30	21	0,55	-	-
	40	18	0,44	22	0,43 Al
	180	18	0,40	-	-
28-04-77	20	20	1,75	20	0,63 Al
	30	22	1,05	22	0,44 Al
	40	22	0,44	20	0,37 Al
	180	18	0,43	17	0,36 Al
04-05-77	20	30	0,62	-	-
	30	22	0,74	-	-
	40	18	0,79	-	-

datum	bezinktijd (min)	criterium troebelheid		criterium restijzer- gehalte	
		opt. vloktijd (min)	troebel- heid effl. (FTU)	opt. vloktijd (min)	ijzerge- halte effl. (mg/l)
11-05-77 G = 20 sec ⁻¹	20	25	0,70	24	0,60
	30	24	0,63	24	0,55
	40	24	0,56	22	0,45
11-05-77 G = 30 sec ⁻¹	120	22	0,53	-	-
	20	20	0,81	25	0,55
	30	21	0,66	21	0,49
	40	19	0,57	16	0,50
	120	10	0,63	-	-
26-05-77	20	25	0,98	35	0,40
	30	21	0,66	27	0,37
	40	22	0,55	25	0,35
	1200	10	0,60	15	0,27
31-05-77 G = 20 sec ⁻¹	20	16	0,73	10	1,26 Al
	30	20	0,64	10	1,24 Al
	40	18	0,74	10	1,19 Al
	1200	10	0,42	-	-
31-05-77 G = 30 sec ⁻¹	20	16	0,73	13	1,20 Al
	30	20	0,64	10	1,21 Al
	40	18	0,74	10	1,25 Al
	180	10	0,42	-	-
08-06-77 G = 30 sec ⁻¹	20	20	1,3	-	-
	30	16	0,80	-	-
	40	15	0,67	-	-
08-06-77 G = 20 sec ⁻¹	20	18	0,86	-	-
	30	15	0,68	-	-
	40	15	0,57	-	-

datum	bezinktijd (min)	criterium troebelheid		criterium restijzer- gehalte	
		opt. vloktijd (min)	troebel- heid effl. (FTU)	opt. vloktijd (min)	ijzerge- halte effl. (mg/l)
20-06-77 G = 12 sec ⁻¹	20	25	1,12	25	1,04
	30	25	0,98	25	0,98
	40	25	0,96	25	1,02
	120	25	0,82	-	-
21-06-77 G = 50 sec ⁻¹	20	16	1,17	15	0,84
	30	18	0,70	18	0,54
	40	15	0,56	17	0,41
28-06-77 G = 40 sec ⁻¹	20	22	0,80	21	0,42
	30	20	0,71	21	0,39
	40	20	0,64	20	0,40
28-06-77 G = 80 sec ⁻¹	20	25	1,0	16	0,59
	30	25	0,45	20	0,31
	40	25	0,53	18	0,33
04-07-77 G = 50 sec ⁻¹	20	26	0,88	22	0,54
	30	22	0,70	21	0,43
	40	25	0,47	20	0,34
04-07-77 G = 60 sec ⁻¹	20	22	1,44	18	0,80
	30	16	1,05	18	0,60
	40	15	0,78	15	0,47
05-07-77 G = 70 sec ⁻¹	20	25	1,00	25	0,50
	30	25	0,60	20	0,40
	40	22	0,54	15	0,38

