

Diepbedfiltratie

Voordracht uit de 29e vakantie cursus in drinkwatervoorziening 'Nieuwe zuiveringstechnieken', die op 6 en 7 januari 1977 aan de TH Delft werd gehouden.

Inleiding

Tijdens filtratie zal een optimale benutting van een filter worden verkregen, wanneer de vuilberging over een zo groot mogelijke diepte plaatsvindt, waarbij alleen de onderste laag van het filterbed ter garantie van de filtraatkwaliteit schoon blijft.

Het vervuilsbeeld wordt onder meer bepaald door de kwaliteit van het te behandelen water, de filtratiesnelheid en de eigenschappen van het filtermedium. Het optimale vervuilsbeeld zal worden benaderd, wanneer het ruwe water eerst lagen



IR. E. C. SCHWENCKE
TEBODIN Advies- en Constructiebureau BV, Den Haag
(voorheen werkzaam bij de Gemeente Drinkwaterleiding Rotterdam)

van grof materiaal en vervolgens lagen van fijner materiaal passeert.

Dit principe is algemeen bekend onder de naam 'diepbedfiltratie'. Hierbij zijn hoge belastingen van 10 tot 20 m/h mogelijk. In het buitenland wordt dan ook meestal het begrip 'high-rate filtration' gebruikt. Dit in tegenstelling tot de klassieke snelfiltratie (rapid filtration), waarbij de vuilberging boven in het filter plaats vindt en de belasting beperkt blijft tot 5 à 7 m/h.

Hoewel het principe reeds lang bekend is, begint de toepassing van diepbedfiltratie op grote schaal pas in de laatste 10 à 15 jaar op gang te komen. Dit als gevolg van een beter inzicht in het filtratiemechanisme en de noodzaak om tot goedkopere filterontwerpen te komen. Het is dan ook niet verwonderlijk, dat in 1967 tijdens de 19e vakantie cursus, met als onderwerp snelfiltratie, in ruime mate aandacht is besteed aan de diepbedfiltratie. Ives [1a] hield toen een voordracht, waarin de theoretische aspecten werden behandeld en Boes [1b] gaf in zijn lezing een min of meer historisch overzicht van tot dan toe uitgevoerd onderzoek en in de praktijk voorkomende toepassingen. Tot die tijd is in Nederland praktisch geen kennis beschikbaar. Dit in tegenstelling tot de USA, waar sinds 1960 anthraciet-zandfilters worden toegepast, waarbij vlak voor de filtratie al of niet vlokmiddel en vlokhulpmiddel aan het water wordt toegevoegd om op deze manier een zeer lage filtraattoebeling te verkrijgen. In Duitsland is deze techniek algemeen bekend onder de naam 'Flockungsfiltration'.

In navolging hiervan is in Nederland aan het einde van de zestiger jaren eveneens een onderzoek van start gegaan bij de Gemeente Drinkwaterleiding Rotterdam, waarna aan

het begin van dit decennium o.a. het KIWA en de afdeling Civiele Gezondheidstechniek van de TH Delft volgden.

Aandacht zal worden besteed aan het principe van de diepbedfiltratie, de invloed van de filtratiesnelheid op het ontwerp en de weerstandsoptbouwontwikkeling tijdens filtratie.

Verder zal worden ingegaan op het gedrag van filtermaterialen tijdens fluïdisatie, de keuze van filtermaterialen in meerlagen filters en het toepassen van opwaartse filtratie.

Tenslotte zal een overzicht worden gegeven van onderzoek uitgevoerd bij de Gemeente Drinkwaterleiding Rotterdam. Dit onderzoek omvatte onder meer proeven met anthraciet-zandfilters en proeven met opwaarts doorstroomde zandfilters.

Het principe van diepbedfiltratie

Algemeen wordt aangenomen, dat de verwijdering van een deeltje uit water dat een filtermedium doorstroomt, tot stand komt door transport- en aanhechtingsmechanismen. Het eerste mechanisme brengt het deeltje binnen een filterporie dichtbij of in contact met korrels of daarop reeds afgezette deeltjes. Het tweede mechanisme veroorzaakt de eigenlijke afzetting op het korreloppervlak of afgezette deeltjes. Dit houdt in, dat de transportmechanismen krachten moeten uitoefenen op de deeltjes in het water om deze vanuit hun stroombanen naar de directe omgeving van het korreloppervlak te brengen, waar de stroomsnelheden klein zo niet nihil zijn. Nadat de deeltjes naar het korreloppervlak zijn getransporteerd, moeten ze zich daaraan of aan reeds afgezet materiaal hechten om uit het water te verdwijnen. Deze aanhechtingsmechanismen worden toegeschreven aan fysisch-chemische krachten en moleculaire oppervlaktekrachten. De moleculaire- of van der Waals-krachten werken attractief, maar alleen op een zeer kleine afstand van het oppervlak.

De verwijdering van deeltjes uit het water betekent enerzijds een verbetering van de waterkwaliteit, anderzijds een volumevermindering van poriën tussen de korrels van het medium, met als gevolg een toename van de weerstand.

Op een diepte van y vanaf het filteroppervlak zal bij een bepaalde filtratiesnelheid de oorspronkelijke concentratie (C_0) aan deeltjes dus verminderd zijn. Gesteld kan worden [1a en 2] dat de verandering van concentratie per eenheid van filterbeddiepte gedurende de filtratie over een medium evenredig is met die concentratie:

$$-\frac{\partial C}{\partial y} = \lambda C \quad (1)$$

waarin:

C = concentratie van de in het water aanwezige deeltjes;

y = diepte in het filterbed;

λ = filtercoëfficiënt.

De filtercoëfficiënt is een maat voor de efficiency en is niet constant, maar wordt beïnvloed door de begintoestand, granulometrie van het filterbed, filtratiesnelheid, watertemperatuur, kwaliteit van het te behandelen water en door de hoeveelheid afgezet materiaal in de filterporiën.

De vergelijking is een partiële differentiaalvergelijking, omdat de concentratieverandering niet alleen afhankelijk is van de diepte in het filter, maar ook van de tijd.

Aan het begin van de filtratie, als het medium nog niet vervuild is ($t = 0$ en $\lambda = \lambda_0$), volgt na integratie van vergelijking (1):

$$C = C_0 \cdot e^{-\lambda_0 \cdot y} \quad (1)$$

Dit kan ook geschreven worden als

$$\log \frac{C}{C_0} = -\lambda_0 \cdot y \cdot \log e \quad (2)$$

Door vele onderzoekers zijn formules opgesteld om de filtercoëfficiënt λ_0 van het schone filterbed te kwantificeren.

Na vergelijking van deze formules [2 en 3] laat zich de volgende afhankelijkheid destilleren:

$$\lambda_0 = f(d^{-1} \text{ à } d^{-3}, v^{0,3} \text{ à } v^{-1,56}, \nu^{0,3} \text{ à } \nu^{-2}) \quad (3)$$

waarin:

d = korreldiameter;

v = filtratiesnelheid;

ν = viscositeit.

Als de filtratie doorgaat, verandert de interne geometrische opbouw van het medium vanwege de afzetting van de deeltjes en wordt de filtercoëfficiënt een variabele ($\lambda = \lambda_0 \cdot f(\sigma)$), bepaald door de mate van afzetting (σ), de diepte y en de tijd.

Een consequentie van de logaritmische afname in concentratie is, dat in een uniform filterbed dieper gelegen lagen van dit medium minder deeltjes afvangen. Dit komt, omdat iedere laag een even groot deel van de deeltjes die er instromen, verwijdert.

Maar omdat de concentratie laag na laag afneemt, verwijdert iedere laag een kleinere hoeveelheid materiaal.

Om het gehele filter gelijkmatig te belasten, is het dus wenselijk, dat iedere laag dieper in het filter efficiënter werkt dan de voorgaande laag. Op deze manier kan iedere laag dezelfde hoeveelheid materiaal afvangen.

In de praktijk is een uniform medium

moeilijk te vinden (de begrippen 'effectieve korreldiameter' en 'uniformiteitscoëfficiënt' illustreren dit) en treedt bij de neerwaartse filtratie juist het omgekeerde verschijnsel op. Na het terugspoelen komen de kleinere korrelfracties juist boven te liggen. Elke opvolgende laag werkt nu nog minder efficiënt en verwijderd een nog kleinere hoeveelheid materiaal in vergelijking met een uniform medium. Op deze manier wordt het filter onderbelast en vindt de afvang slechts over de bovenste 10 à 20 cm plaats.

Teneinde de optimale situatie te creëren, waarbij elke opvolgende laag efficiënter zal zijn, moet bij toenemende diepte het korreloppervlak vergroot worden. De makkelijkste manier om een toenemend korreloppervlak per laag te verwezenlijken, is het toepassen van kleinere korrels in elke opvolgende laag. Dit principe is de theoretische basis van diepbedfiltratie, die zowel in neerwaartse als in opwaartse richting kan plaatsvinden.

Filtratiesnelheid

Het nastreven van diepfiltratie maakt de toepassing van hoge filtratiesnelheden mogelijk, sterker nog, hierdoor wordt bevorderd, dat de vuilberging dieper in het filter kan plaatsvinden.

Daarnaast levert de verhoging van de snelheid aanzienlijke kostenbesparingen op bij de bouw van nieuwe filterinstallaties en kan de capaciteit van bestaande installaties opgevoerd worden door het aanwezige enkellaags filterbed te vervangen door een meerlaagsfiltervulling.

Een complete installatie omvat gewoonlijk naast de eigenlijke filterbak, waarin het filtermedium is gebracht, ook nog een aantal bijkomende voorzieningen, zoals: aan- en afvoerleidingen, spoelwater- en spoel-luchtvoorzieningen, meet- en regelinstallatie en elektrische apparatuur.

Bij de klassieke snelfiltratie wordt door-gaans een snelheid of belasting van 5 m/h toegepast.

Hoewel door verhoging van deze belasting het benodigd filteroppervlak ongeveer lineair zal afnemen, zullen de besparingen aan kosten voor de bijkomende voorzieningen en apparatuur hierbij achterblijven, en wel in toenemende mate naarmate de maximaal toelaatbare belasting in de installatie hoger wordt.

Verdubbeling van de belasting naar 10 m/h door toepassing van een meerlaagsfilter of opwaarts doorstroomd filter levert ruwweg een kostenbesparing op van 35 %. Verdere verhoging van de belasting tot 20 à 25 m/h geeft een kostenbesparing van ongeveer 55 %.

Nog verdere verhoging van de filtratie-

snelheid resulteert weliswaar in reductie van benodigd filteroppervlak, maar om het filter dezelfde vuilbergingscapaciteit te geven is een verdere verhoging van het bed noodzakelijk, terwijl de kosten voor de bijkomende installaties, apparatuur en leidingwerk constant zullen blijven. Het is dan ook weinig zinvol om hogere filtratiesnelheden toe te passen.

Het toepassen van diepbedfiltratie bij de klassieke snelheid van 5 m/h levert aanzienlijke verlenging van de looptijd van een filter op en kan zijn nut afwerpen daar, waar de kwaliteit van het te filtreren water achteruit is gegaan. Door bijv. de toename van het zwevende stofgehalte kunnen de looptijden van de bestaande filters te sterk zijn teruggelopen.

Weerstandsofbouw

Wanneer er in een filter geen stroming plaats vindt, dan neemt de hydrostatische druk per meter toe met 1 mwk. Wordt de filtratie ingezet, dan zal bij de aanvang, als het bed schoon is, het medium een weerstand uitoefenen op het doorstromende water en wordt dientengevolge het hydrostatisch drukverlies bepaald door de stroomsnelheid, watertemperatuur, korrelafmetingen en porositeit.

Dit drukverlies kan berekend worden met de formule van Carman-Kozeny:

$$\frac{z}{L} = C \cdot \frac{v}{g} \cdot \frac{(1-p)^2}{p^3} \cdot \frac{v}{d^2} \quad (4)$$

waarin:

z = drukverlies per meter filterbed ($m \cdot m^{-1}$);
 L

C = constante (150 à 200);

v = kinematische viscositeit ($m^2 \cdot sec^{-1}$);

g = versnelling van de zwaartekracht ($m \cdot sec^{-2}$);

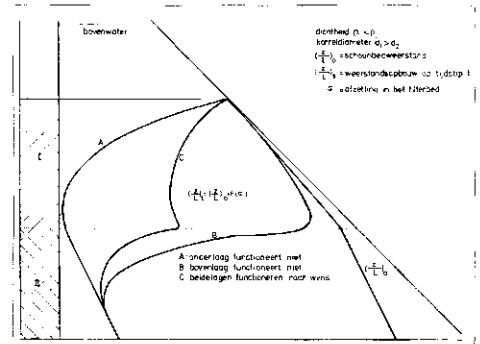
p = porositeit;

v = filtersnelheid ($m \cdot sec^{-1}$);

d = korreldiameter (m).

Tijdens de filtratie zal de weerstand toenemen, omdat materiaal in het filterbed wordt afgezet. Aangenomen wordt [1a], dat de weerstandstoename evenredig is met die afzetting van materiaal. Op een bepaald tijdstip kan nu op verschillende hoogten de waterdruk in het bed worden opgenomen, waaruit een weerstandsofbouwlijn kan worden samengesteld.

Zo'n lijn geeft dan een beeld van de voort-schrijding van de vervuiling, in zoverre dat op iedere diepte de verandering van de weerstand een functie is van de ter plaatse afgezette deeltjes. Wanneer deze kromme evenwijdig loopt aan de weerstandslijn van het schone medium, dan heeft zich daar geen materiaal afgezet. Hoe groter de



Afb. 1 - Mogelijke weerstandsofbouwlijn aan het einde van een filtratie in een filterbed.

hoek is die de raaklijnen van de kromme maken met de rechte van het schone medium, des te groter is de afvang van deeltjes.

Door er voor te zorgen dat onder in het bed de weerstandsofbouwlijnen altijd evenwijdig gaan lopen aan die van het schone bed, is een veiligheid aanwezig tegen doorslag. Deze weerstandsofbouwlijnen geven een goed inzicht in de keuze van filtermaterialen en laaghoogten en zijn een onontbeerlijk hulpmiddel bij de beoordeling van een filterbed.

Wordt uitgegaan van een dubbellaagsfilter (de eenvoudigste vorm van grof naar fijn filtratie), dan kan aan de hand van afb. 1 het volgende worden gezegd:

In geval A vangt de bovenlaag alle verontreiniging af en neemt de onderlaag niet deel aan het filtratieproces.

In geval B is het omgekeerde juist het geval en in geval C worden de beide lagen goed benut.

Fluïdisatie

Is na verloop van tijd de maximale filterweerstand bereikt — meestal is dan de vuilbergingscapaciteit van het filter benut — dan zal het filter gereinigd moeten worden. Hiervoor is het van belang het fluïdisatiegedrag van de filtermaterialen te kennen. Wordt het filterbed in opwaartse richting doorstroomd, dan zal bij het bereiken van een zekere snelheid het korrelbed gaan expanderen. Bij een nog hogere snelheid treedt fluïdisatie op.

Tijdens deze toestand gelden geen laminaire stromingscondities meer en gaat vergelijking (4) volgens [4] over in:

$$\frac{z}{L} = A \cdot Re^{-n} \cdot \frac{2,4}{g} \cdot \frac{1-p}{p^3} \cdot \frac{v^2}{d} \quad (5)$$

waarbij

$$Re = \frac{1}{1-p} \cdot \frac{v \cdot d}{\nu} \quad (6)$$

en waarin:

$A = 61,5$ voor $4,6 < Re < 34$;

$A = 30$ voor $Re \geq 34$;

$n = 7/8$ voor $4,6 < Re < 34$;
 $n = 2/3$ voor $Re \geq 34$.

Kenmerkend voor fluïdisatie is, dat de korrels niet meer gebonden zijn aan een bepaalde vaste plaats, maar zich min of meer vrij bewegen en langs elkaar schuren. Deze beweging is van belang voor de verwijdering van het vuil, dat tijdens het filtratieproces in het filter is afgezet. Bij de opwaartse filtratie is de minimale fluïdisatiesnelheid een belangrijk gegeven, omdat deze bepalend is voor de maximaal toelaatbare filterbelasting.

Daarnaast is deze snelheid van belang om te weten, hoe groot de spoelsnelheid tenminste moet zijn om een goede reiniging van de onderste lagen in een filter te verkrijgen.

Fluïdisatie treedt op, wanneer het drukverlies ten gevolge van de opwaarts gerichte waterstroom door het filter gelijk wordt aan het gewicht van het filterbed onder water.

Hiervoor kan afgeleid worden:

$$z = \frac{\rho_f - \rho_w}{\rho_w} \cdot L \cdot (1 - p) \quad (7)$$

waarin:

ρ_f = dichtheid van het filtermateriaal ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$);

ρ_w = dichtheid van water ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$).

Na substitutie van Re in vergelijking (5) en na gelijkstelling van deze vergelijking met vergelijking (7) kan de minimale fluïdisatiesnelheid berekend worden.

De vergelijkingen (4), (5) en (6) gelden voor bolvormige deeltjes. In de praktijk worden echter deeltjes toegepast die afwijken van deze bolvorm.

Daarom wordt een vormfactor Φ ingevoerd die kleiner is dan 1. Dit wil niet anders zeggen dan dat een willekeurig deeltje met een zeefdiameter van 1 mm overeenkomt met een bolvormig deeltje van Φ mm.

De vormfactor is niet constant, maar afhankelijk van de diameter van het deeltje, de materiaalsoort en de stromingstoestand rondom het deeltje.

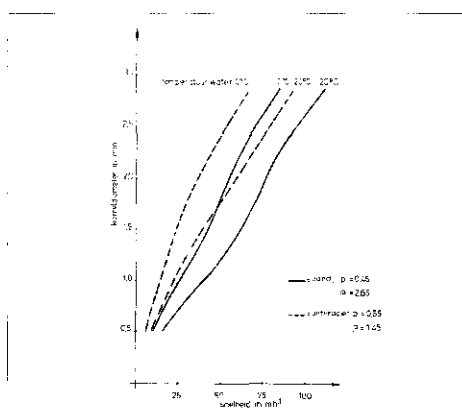
Hiervoor zijn metingen verricht in het Laboratorium voor Gezondheidstechniek van de TH Delft [4].

Voor de in de praktijk meestal toegepaste filtermaterialen, zand en anthraciet, kunnen nu relaties worden opgesteld, waarmee de minimale fluïdisatiesnelheid eenvoudig berekend kan worden.

In afb. 2 is een grafische voorstelling gegeven van de minimum fluïdisatiesnelheid voor de gangbare zeefdiameters.

Neerwaartse filtratie

Om het diepbedfiltratie principe te bereiken, is het bij de neerwaartse filtratie nood-



Afb. 2 - Minimum fluïdisatiesnelheid van zeef-fracties zand en anthraciet bij 0° en 20 °C.

zakelijk de bovenste lagen met de grootste korreldiameters uit te voeren en in de dieper gelegen lagen fijnere korrelfracties toe te passen.

Om te voorkomen dat na terugspoelen de fijnste korrelfracties boven komen te liggen, zal bij afnemende korreldiameter de dichtheid van het materiaal juist moeten toenemen.

Wordt uitgegaan van een meerlagenfilter, dan kunnen daarin bijv. de volgende materialen toegepast worden:

- Polystyreen korrels, $1040 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.
- PVC korrels, $1230 - 1300 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.
- Anthraciet, $1400 - 1450 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.
- Hydro-anthraciet, $1700 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.
- Zand, $2650 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.
- Granaatzand, $3800 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.
- Magnetiet, $4900 - 5200 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

Na het terugspoelen zal het filter zijn oorspronkelijke gelaagdheid moeten her krijgen. Wanneer er in principe geen menging van de media ter plaatse van het grensvlak wordt toegelaten, dan kan de maximaal toelaatbare korreldiameter verhouding van twee verschillende filtermaterialen worden berekend door ervoor te zorgen, dat de korrels met verschillende dichtheid dezelfde bezinksnelheid bezitten.

Voor de bezinksnelheid van een deeltje kan afgeleid worden:

$$V_p^2 = \frac{4 g \cdot d}{3 C_d} \cdot \frac{\rho_f - \rho_w}{\rho_w} \quad (8)$$

waarin:

- V_p = bezinksnelheid ($\text{m} \cdot \text{sec}^{-1}$);
- g = versnelling van de zwaartekracht ($\text{m} \cdot \text{sec}^{-2}$);
- d = diameter van een bolvormig deeltje (m);
- ρ_f = dichtheid van een deeltje ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$);
- ρ_w = dichtheid van water ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$);
- C_d = weerstandscoefficiënt.

De weerstandscoefficiënt C_d is een functie van Re en is niet constant, maar is afhan-

kelijk van het stroombeeld rondom het bezinkende deeltje.

Indien $Re \leq 1$ geldt $C_d = 24 \cdot Re^{-1}$ en is de stroming rondom een deeltje laminair (wet van Stokes).

Voor de bij de filtratie gangbare korreldiameters gelden geen laminaire stromingscondities en is $C_d = 24 \cdot Re^{-1} + 3 \cdot Re^{-0,5} + 0,34$.

Volgens Kawamura [5] kan voor de bezinksnelheid van deze deeltjes toegepast worden:

$$V_p = \frac{1}{2} \cdot v^{-1/3} \cdot \left(\frac{\rho_f - \rho_w}{\rho_w} \right)^{2/3} \cdot d \quad (9)$$

waarin:

v = kinematische viscositeit ($\text{m}^2 \cdot \text{sec}^{-1}$).

Na gelijkstelling van de bezinksnelheid van de bolvormige deeltjes d_1 en d_2 met soortelijke dichtheden ρ_1 en ρ_2 geldt nu voor de diameterverhouding:

$$\frac{d_1}{d_2} = \left(\frac{\rho_2 - \rho_w}{\rho_1 - \rho_w} \right)^{2/3} \quad (10)$$

Voor de in de praktijk voorkomende zeefdiameters geldt dan:

$$\frac{d_1}{d_2} = \frac{\Phi_2}{\Phi_1} \cdot \left(\frac{\rho_2 - \rho_w}{\rho_1 - \rho_w} \right)^{2/3} \quad (11)$$

Hoewel het mogelijk is om meerlaagsfilters van een groot aantal lagen te voorzien, zal na fluïdisatie toch altijd hydraulische stratificatie in de lagen afzonderlijk optreden, tenzij de uniformiteitscoëfficiënt van het materiaal gelijk is aan 1. Maar dit is in de praktijk niet het geval; men is gebonden aan de handelsfracties die leverbaar zijn tegen redelijke kosten. Dit geldt in mindere mate voor zand, waarvan de kosten per ton zullen variëren van f 50,— tot f 100,—. Voor de andere materialen, waarvan de kosten een veelvoud hiervan bedragen, is de keuzemogelijkheid echter beperkt. De aanschafprijs voor anthraciet is ongeveer 8 x zo hoog als die van zand en voor de andere materialen is deze factor nog hoger.

Om deze reden worden in de praktijk dan ook overwegend dubbellaagsfilters geïnstalleerd, opgebouwd uit een bovenlaag van anthraciet of hydro-anthraciet en daaronder de zandlaag.

Berekend kan worden met behulp van formule (11), dat de korreldiameterverhouding ter plaatse van het grensvlak maximaal 3 à 3,5 mag zijn om vermenging te voorkomen.

Over het al of niet toelaten van menging ter plaatse van de overgang van de anthraciet naar de zandlaag, zijn de meningen verdeeld. Er zijn onderzoekers die menen, dat de materialen zoveel mogelijk gescheiden moeten blijven, omdat de korrels boven in de zandlaag essentieel zijn om daarin het

effect van de 'koekfiltratie' te laten optreden. Hierdoor ontstaat een extra bescherming tegen doorslag. Anderen menen, dat het voordelen biedt de overgang tussen beide lagen geleidelijk te laten verlopen door het creëren van een menglaag. Hierdoor wordt het effect van koekfiltratie voorkomen, wat leidt tot een minder snelle drukopbouw en daardoor een langere looptijd van het filter.

Om de invloed van de mengzone op het filtratieproces nog eens na te gaan, is aan de TH Delft en bij het KIWA diepgaand onderzoek gedaan [6] om tot een gefundeerde uitspraak te komen. De Lathouder [7] geeft hiervan een beknopt resumé en concludeert, dat de toepassing van een mengzone geen voordelen biedt ter beïnvloeding van de drukopbouw in het filter en de kwaliteit van het filtraat. Hij geeft dan ook de voorkeur aan de toepassing van een dubbellaagsfilter, waarin de lagen weinig mengen.

Verder werd tijdens het onderzoek geconstateerd, dat na het stoppen van de spoelwateraanvoer de porositeit van het filterbed groter wordt en wel in toenemende mate, naarmate hogere spoelsnelheden worden toegepast.

Dit heeft echter geen invloed op het filtratieproces, omdat na hervatting van de filtratie door de neerwaarts gerichte stromingsdruk de korrels zich weer zullen heroriënteren, waardoor de oorspronkelijke porositeit weer wordt bereikt.

Toepassing van filters waarin meer dan twee lagen van verschillende materialen zijn ondergebracht, blijft tot nu toe beperkt tot de proefinstallatie.

Mohanka [8] heeft intensief werk verricht op dit gebied. Aan de hand van proefresultaten en op grond van theoretische berekeningen worden door hem filtercoëfficiënten (λ) van een aantal filtermaterialen gegeven.

Hieruit kan geconcludeerd worden, dat de filtrerende werking van polystyreen korrels gering zal zijn. Dit is in overeenstemming met ervaringen in de USA en Zweden [9]. Granaatzand en magnetiet bezitten weliswaar een hogere filtercoëfficiënt dan zand en anthraciet, maar doordat de dichtheid van deze materialen veel groter is, vereisen deze materialen 1,5 resp. 2 x zo hoge spoelsnelheden om gefluidiseerd te worden, indien wordt uitgegaan van de bij de filtratie gebruikelijke korrelafmetingen.

Opwaartse filtratie

Is bij neerwaartse filtratie de hydraulische stratificatie van een niet uniform filterbed een nadeel, bij opwaartse filtratie is juist het tegenovergestelde het geval.

Het grote voordeel van de opwaartse filtratie is, dat slechts met één materiaal

van één soortelijk gewicht gewerkt hoeft te worden, waarbij iedere laag naar eigen inzicht qua granulometrie gekozen kan worden.

Een ander voordeel is, dat als filtermateriaal zand toegepast kan worden, waarvan de kosten niet hoog zijn.

Verder is het na het terugspoelen van een opwaarts doorstroomd filter een eenvoudige zaak om het eerste filtraat naar de spoelwaterkelder af te voeren, totdat de gewenste kwaliteit is bereikt.

Inherent aan de opwaartse filtratie is het echter, dat de filtratiesnelheid beperkt blijft door de neiging van de bovenste laag om bij een bepaalde snelheid te fluidiseren.

Uit afbeelding 2 kan afgelezen worden, dat bij de voor de filtratie gebruikelijke korrelfracties de snelheid beperkt zal blijven tot maximaal $9 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ voor de zandfractie met een zeefdiameter van 0,5 mm en ca. $20 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ voor de zandfractie met een zeefdiameter van 0,85 mm.

Ook al wordt aan deze voorwaarde voldaan, dan kan toch nog onverwacht fluidisatie optreden. Heeft de vuilberging niet gelijkmatig over het filter plaatsgevonden, dan kunnen er plaatsen in het filter voorkomen, waar zich erg veel materiaal heeft afgezet. Hierdoor neemt de weerstand daar ter plaatse toe en zal meer water door een ander deel van het filter gaan stromen, waar zich minder materiaal heeft afgezet.

In deze zones kunnen de opwaarts gerichte snelheden dan zodanig toenemen, dat daar de fluidisatie zich onverwachts zal manifesteren.

Het optreden van deze instabiliteit is wel de grootste beperking voor de toepassing van de opwaartse filtratie als eindbehandeling bij de drinkwaterbereiding.

Door de fijnste zandlaag te voorzien van een grote veiligheidszone kan het verschijnen van instabiliteit worden gereduceerd.

Uit een oogpunt van diepfiltratie wordt het filter in dit geval niet meer optimaal benut.

Ook kan een filterbed uitgevoerd worden in materiaal met een grotere dichtheid.

Door gebruik te maken van materialen met een grotere dichtheid zoals bijv. granaatzand en magnetiet, kunnen weliswaar hogere filtratiesnelheden toegepast worden, de spoelsnelheden zullen dan eveneens moeten toenemen en wel met ongeveer 1,5 resp. 2 x de gebruikelijke snelheid die toegepast wordt bij de filtratie door een opwaarts doorstroomd zandfilter.

Een ander nadeel is, dat de ruwwateraanvoer door de bodem moet plaatsvinden.

Om deze reden is het wenselijk deze aanvoer via een geperforeerd buizensysteem, dat in de onderste steunlaag van het filterbed gelegd moet worden, te laten plaatsvinden.

Om ook tijdens terugspoelen de grootste

korrels onder in het filter te laten fluidiseren, zal een tamelijk hoge spoelsnelheid noodzakelijk zijn, waarbij de korrels boven in het filter echter niet in de spoelwaterafvoergoot terecht mogen komen.

Afhankelijk van de hoogte van het filterbed en de afstand van de spoelwaterafvoer tot de bovenkant van het bed, zal dus een bepaalde korrel diameter verhouding tussen de fijnste en grootste korrels berekend moeten worden.

Onderzoek

Voor de keuze en samenstelling van een geschikt filterbed kan nog geen gebruik worden gemaakt van handboeken en tabellen, waaruit, afhankelijk van de ruwwaterkwaliteit en belasting, de bedhoogte en korrelafmetingen gekozen kunnen worden om te komen tot goede looptijden, eindkwaliteit en weerstandsopbouw. De door velen ontwikkelde theorieën dragen weliswaar bij tot een beter begrip van het gehele proces, maar om een verantwoorde keuze te maken, blijft het noodzakelijk proeven te doen. Om een idee te geven hoe zo'n onderzoek verloopt, volgt hier een kort overzicht van enkele proeven gedaan bij de Gemeente Drinkwaterleiding Rotterdam ter bepaling van ontwerpparameters voor het nieuwe drinkwaterproductiebedrijf Kralingen.

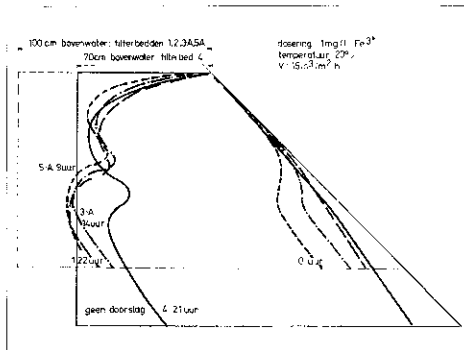
Voor de vaststelling van het zuiveringschema werd vanaf eind 1968 onderzoek verricht in een daartoe speciaal opgezette semi-technische installatie. Besloten werd mede op grond van proeven voor de zuivering van Maaswater uit de Biesbosch spaarbekkens het volgende proces te kiezen: primaire coagulatie, flocculatie, sedimentatie, ozonisatie, secundaire coagulatie, dubbellaagsfiltratie en tenslotte een actieve koolfiltratie.

Dubbellaagsfiltratie

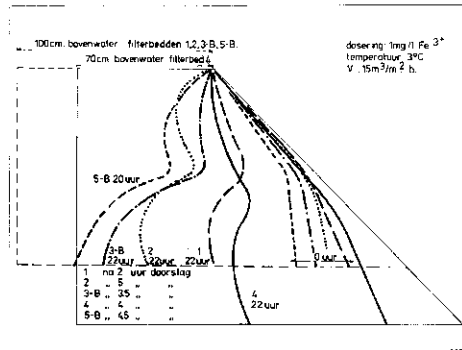
Een goede filterwerking hangt af van een groot aantal factoren. Genoemd kunnen worden:

- de filtratiesnelheid
- de bedhoogte
- de granulometrie
- de ruwwaterkwaliteit
- de filtraatkwaliteit
- de looptijd
- de weerstandsopbouw
- het spoelwaterverbruik

Als primaire voorwaarde voor de werking van een dubbellaagsfilter gold tijdens het onderzoek de maximaal toelaatbare hoeveelheid gesuspendeerd materiaal, die het filter mag doorlaten; in concreto, de eis



Afb. 3 - Weerstandsofbouw in de filterbedden.



Afb. 4 - Weerstandsofbouw in de filterbedden.

dat het filtraat een troebeling kleiner dan 0,1 JTU diende te bezitten. De filtratiesnelheid werd op 15 à 20 m³/m² · h gesteld. Daarnaast werd op grond van het spoelwaterverbruik de minimaal vereiste looptijd bepaald op 20 uur.

Uit constructieve overwegingen was gekozen voor een maximaal toelaatbare filterweerstand van 1,5 mwk. Een filtratie werd dan ook beëindigd bij deze weerstand of eerder, als de gewenste troebeling niet te bereiken was, of indien doorslag van het filter optrad. Het onderzoek liep enige tijd parallel met de ontwikkeling en optimalisatie van het zuiveringsproces voor het nieuwe bedrijf. Voor de ontwikkeling van een goed filterbed voor de dubbellaagsfiltratie werden een aantal proeffilters ingericht, waarbij in de eerste plaats de korrelafmetingen van de zandlaag werden gevarieerd. Daarna werd hierbij een geschikte anthracietfractie gezocht, waarbij werd uitgegaan van de onderlinge korreldiameterverhouding van ongeveer 3. Verder werden de laagdikten van de zandlaag en anthracietlaag gevarieerd, waarbij werd aangehouden dat lagen met fijner filtermateriaal in principe minder hoogte behoeven.

In tabel I zijn een aantal filterbedden weergegeven, die in de afgelopen jaren zijn beproefd.

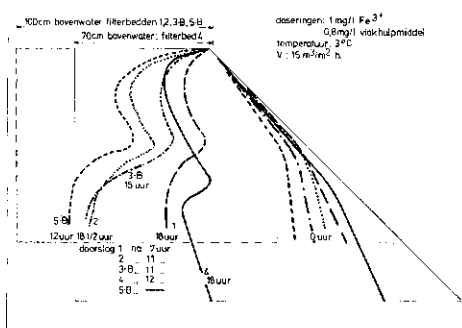
Aan de hand van de weerstandsofbouwlijnen aan het einde van de filtratie zal over de keuze van een goed filterbed met de in het onderzoek toegepaste en te gebruiken materialen iets worden gezegd. Afb. 3 geeft aan, dat, wanneer geen ozon-

contact voor de filtratie wordt toegepast, maar wel een secundaire ijzerdosering, bij hoge watertemperaturen vooral de anthracietlaag wordt belast. Goede looptijden worden dan bereikt met het grove anthraciet in de filterbedden 1 en 4.

De garantiegevende schone zandlaag is aanwezig. De zandlaag van filterbed 4 lijkt hier te hoog. Door ozoncontact voor de secundaire ijzerdosering wordt diepbedfiltratie bevordert en treedt doorslag op, voordat de maximale weerstand is bereikt. Over de ervaringen met ozon als oxydatie- en filtratiehulpmiddel gaf prof. Knoppert een uiteenzetting tijdens de 'Wasserfachliche Aussprachetagung des DVGW und VGW' in 1971 [10]. Hier wordt dan ook niet verder op ingegaan.

Filter 1 met het grove anthraciet vertoont dan na ca. 11 uur het eerst doorslag, terwijl door de 20 cm dikkere anthracietlaag in filter 4 de looptijd ongeveer 4 uur wordt

Afb. 5 - Weerstandsofbouw in de filterbedden.



Afb. 5 - Weerstandsofbouw in de filterbedden.

verlengd. De filterbedden 3a en 5a vertoonden te snel doorslag mede omdat de zandlaag te dun was. Bij de verdere proeven zijn de lagen daarom verhoogd tot ongeveer 0,45 cm in de filterbedden 3b en 5b. Bij lage watertemperaturen en een secundaire ijzerdosering is voor alle filterbedden de doorslag bepalend en treedt reeds na enige uren op.

In afb. 4 is goed te zien, dat de vlokberging te diep in het filterbed heeft plaatsgevonden. Bij lage watertemperaturen, secundaire ijzerdosering en hulpmiddeldosering in de juiste hoeveelheid is een goede diepbedfiltratie mogelijk. Volgens afb. 5 is in de filterbedden met fijn korrelige materialen en het filterbed met het grovere materiaal met grotere bedhoogte, de doorslag meer dan 10 uur uitgesteld.

Duidelijk blijkt uit het verschil in looptijd tot doorslag tussen filter 1 en filter 4 de invloed van de hoogte der anthracietlaag. Opmerkelijk is overigens het verschil in weerstandsofbouw boven in de anthracietlagen in deze filters.

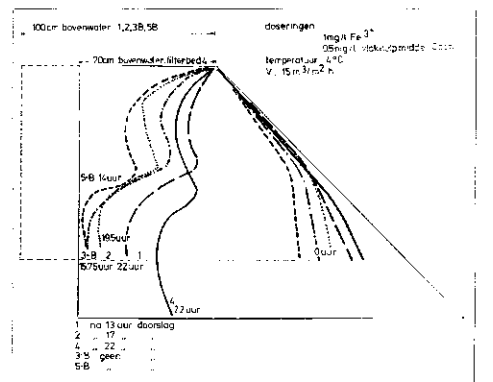
Waarschijnlijk bevatte de hogere anthracietlaag meer fijn materiaal, dat naar boven was gespoeld. De weerstandlijnen van de filterbedden 1, 2 en 3b laten ook duidelijk zien, dat toepassing van fijner zand de doorslag duidelijk uitstelt.

Ozoncontact voor de secundaire ijzerdosering bevordert de diepbedfiltratie en geeft een voldoende verlenging van de looptijden. Te zien is in afb. 6, dat in het fijnere anthraciet de weerstand sneller toeneemt. Voor filterbed 3b met ongeveer hetzelfde anthraciet als filterbed 2, maar fijner zand, wordt de looptijd op weerstand beslist.

Het filterbed 2 loopt langer maar slaat na 17 uur door. Filterbed 1 met dezelfde bedhoogte, maar het grofste zand en anthraciet, slaat het snelste door.

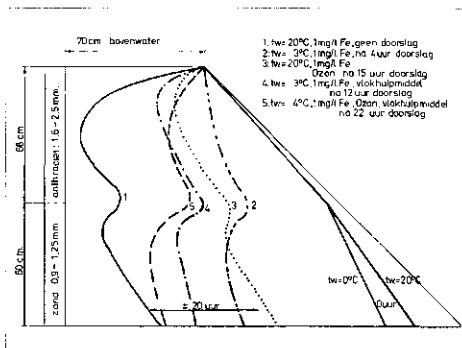
Filterbed 4, waarvan de anthraciet- en zandlagen hoger zijn dan die in filterbed 1, vangt bijna over de gehele diepte van het bed materiaal af; doorslag wordt praktisch gelijk gemeten met het bereiken van de weerstand.

Afb. 6 - Weerstandsofbouw in de filterbedden.

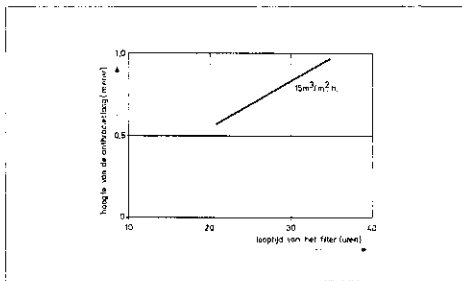


TABEL I - Overzicht van enige dubbellaagsfilterbedden.

Filterbed	1	2	3a	3b	4	5a	5b
Anthraciet: (ρ = 1,45)							
handelsfractie (mm)	1,6—2,5	1,2—2,4	1,68—2,0	1,68—2,0	1,6—2,5	1,25—1,68	1,25—1,68
e.k. (mm)	1,59	1,23	1,21	1,21	1,59	1,07	1,07
u.c.	1,38	1,54	1,34	1,34	1,38	1,29	1,29
laagdikte (cm)	51	52	51	51	68	48	55
Zand: (ρ = 2,65)							
handelsfractie (mm)	0,9—1,25	0,8—1,0	0,6—0,8	0,6—0,8	0,9—1,25	0,4—0,6	0,4—0,6
e.k. (mm)	0,86	0,77	0,62	0,62	0,86	0,44	0,44
u.c.	1,17	0,77	1,22	1,22	1,17	1,28	1,28
laagdikte (cm)	45	46	20	47	60	20	46



Afb. 7 - Weerstandsofbouw in het filterbed.



Afb. 8 - Het verband tussen de hoogte van de anthracietlaag en de looptijd van een filter.

Uitgaande van een filtratiesnelheid van $15 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$, een minimale looptijd van 20 uur bij 1,50 mwk en ozonisatie voor de dubbellaagsfiltratie, was het dus gewenst een filterbed te kiezen met een anthracietlaag van ongeveer 65 à 70 cm, met een e.k. van 1,59 mm en u.c. van 1,38. De zandlaag die hierbij hoort, heeft een hoogte van 60-65 cm, een e.k. van 0,86 mm en een u.c. van 1,17, waarbij de onderste 20 à 30 cm als veiligheid op doorslag kan worden beschouwd.

In afb. 7 zijn voor dit filterbed nogmaals de weerstandsofbouwlijnen weergegeven. Hieruit kan duidelijk de invloed van de chemicaliëndoseringen en de watertemperatuur op het filtratieproces worden afgeleid. Om de invloed van de hoogte van de anthracietlaag op de looptijd verder te onderzoeken, zijn daarna 3 filters ingericht met anthracietlagen van 90, 80 en 60 cm. Na een aantal proevenseries kon het in afb. 8 weergegeven verband worden opgetekend. Verder bleek ook, dat door verhoging van de anthracietlaag van 60 à 70 cm naar 70 à 80 cm bij lage watertemperaturen en een belasting van $20 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ looptijden van 20 uur gehaald kunnen worden. De kosten die met deze verhoging van de anthracietlaag gepaard gaan, wegen niet op tegen de kostenbesparing door reductie van filterbedoppervlak, resp. door een reductie aan benodigd bouwvolume. Tijdens het onderzoek kwam duidelijk naar voren, dat de korrelgrootte van het anthraciet niet van primaire invloed is geweest op de eindtroebeling.

Daartegen beïnvloedt het zand wel de troebeling, alhoewel bij een secundaire ijzerdosering ook de grootste zandfractie troebelingen gaf lager dan de gestelde waarde. Werde een zandlaag te zwaar belast, dan werd door het toepassen van een fijner zand doorslag enige uren uitgesteld. Ook is gevonden, dat de hoogte van de anthracietlaag bepalend is voor de looptijd van een filter.

Gebleken is, dat bij hoge watertemperaturen de meeste weerstandsofbouw plaatsvindt in de anthracietlaag en bij lage temperaturen relatief meer in de zandlaag. Een oorzaak hiervoor kan gelegen zijn in het feit, dat bij lage temperaturen de vlokvorming in het bed langzamer verloopt en in de anthracietlaag nog niet voldoende heeft plaatsgevonden.

Daarnaast kan worden geconstateerd, dat door ozonisatie van het te filteren water diepbedfiltratie wordt bevorderd en dat een vlokhuilmiddeldosering een belangrijk middel is om het gehele proces in de hand te houden.

Opwaartse filtratie

In Rotterdam is ook een onderzoek verricht inzake de toepassing van opwaarts doorstroomde filters als alternatief voor een flocculatie-sedimentatie installatie ten behoeve van de primaire coagulatie. Deze techniek, waarbij de vlokvorming en vlokverwijdering in één filter plaatsvindt, is in Duitsland algemeen bekend onder de naam 'Flockungsfiltration'.

Gestart werd met een drietal filterbedden, twee met een uniforme korrelsamenstelling en één met een gradering volgens het grof naar fijn principe. Uit proeven bleek al spoedig, dat bij verschillende belastingen, variërende ijzerdoseringen en bij hoge en lage watertemperaturen met de uniform samengestelde filterbedden te korte looptijden gehaald werden, alhoewel de troebelingen zonder meer goed waren. In de loop van 1972 is het onderzoek voortgezet met een groot aantal filterbedden samengesteld volgens het grof naar fijn principe. Goede resultaten werden uiteindelijk bereikt met een drietal filterbedden, waarvan de bedopbouw in tabel II is weergegeven.

Bij de beoordeling van de uitkomsten van de proeven werd uitgegaan van de volgende criteria:

- filtraatkwaliteit na achtergeschakelde dubbellaagsfiltratie kleiner dan 0,1 JTU;
- looptijden van de filters langer dan 20 uur bij een filtratiesnelheid van $10 - 15 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$;
- maximaal toelaatbare filterweerstand 1,5 mwk.

De variatie in laagdikte van de verschillende korrelfracties had alleen invloed op de weerstandstoename in het filterbed, maar had geen invloed op de eindkwaliteit van het filtraat.

Om aan de gestelde criteria te voldoen was een Fe^{3+} dosering van 4 tot 6 mg/l bij lage watertemperatuur voldoende. Vergelijking van dit vlokverwijderingssysteem met systemen, waarin een hoogbelaste sedimentatie (lamellenbezinking) is opgenomen, leidde tot de conclusie, dat op grond van investeringskosten en exploitatielasten de opwaartse filtratie een duurdere oplossing is. Hierbij werd tevens de spoelwater- en slijbverwerking in beschouwing genomen. Wordt naar de technische prestatie van het systeem gekeken, dan blijkt weliswaar, dat bij een Fe^{3+} dosering van 4 à 6 mg/l een effluent van zeer goede kwaliteit wordt geleverd (gebaseerd op troebeling en restijzergehalte), maar dat bij hogere doseringen onverwachte en snellere doorslag van het filter kan optreden.

Hier tegenover staat, dat sedimentatiesystemen beter bestand zijn om wisselende belastingen op te vangen.

Nabeschuiving

Bij de tot nu toe algemeen gebruikelijke snelfiltratie, over zandfilters met belastingen van $5 \text{ à } 7 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$, wordt het vuilbergingsvermogen van een filter slechts gedeeltelijk benut. Diepbedfiltratie maakt het mogelijk een optimale benutting van het filterbed te verkrijgen. Hierdoor wordt het mogelijk om:

- a. hoge filtratiesnelheden toe te passen of
- b. een verlenging van de looptijd van een filter te bewerkstelligen.

Ofschoon er in de afgelopen jaren vele theorieën zijn opgesteld, en mathematische modellen zijn ontwikkeld, waardoor het inzicht in het filtratieproces is vergroot,

TABEL II - Overzicht van een drietal opwaarts doorstroomde filters.

Filter:	Dichtheid materiaal: $2,65 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$	Steunlagen		Eigenlijke filterbed				
		1e laag	2e laag	3e laag	4e laag	5e laag	6e laag	7e laag
	Korrelfractie (mm)	60—30	30—20	20—10	10—5	5—3	3—2	2—1
A		10	10	70	40	30	30	30
B		10	10	40	70	30	30	30
C		10	10	70	30	40	30	30
Laagdikte in cm				totale hoogte: 220 cm				

Flotatie

Voordracht uit de 29e vakantiecursus in drinkwatervoorziening 'Nieuwe zuiveringstechnieken', die op 6 en 7 januari 1977 aan de TH Delft werd gehouden.

blijft proefonderzoek gewenst om tot een goed ontwerp van een filter te komen.

Literatuur

1. 19e Vakantiecursus in drinkwatervoorziening, 5 en 6 januari 1967, TH Delft: a. K. J. Ives: 'The physical and mathematical basis of deep bed filtration'; b. drs. A. Boes: 'Graf naar fijn filtratie'.
2. Veröffentlichungen des Bereichs und des Lehrstuhls für Wasserchemie; Heft 5: 'Filtration'. Technische Hochschule Karlsruhe 1971.
3. State of the Art of Water Filtration, Committee Report. JAWWA, vol. 64, Oktober 1971, no. 10 part 1.
4. Corstjens, G. H. Berekening van opwaartse doorstroming en het terugspoelen van filterbedden. TH Delft, H₂O (5) 1972, nr. 25.
5. Susumu Kawamura. Design and Operation of High-Rate Filters - Part 1, JAWWA October 1975. Part 2, JAWWA, November 1975. Part 3, JAWWA, December 1975.
6. Bos, ir. R. H. M., Bennekom, C. A. van, en Visser, J. K. Menging in dubbellaagsfilters: oorzaken en gevolgen. H₂O (9) 1976, nr. 16.
7. Lathouder, ir. A. de, Enkele aspecten van dubbellaagsfiltratie met zand en anhraciet. H₂O (9) 1976, nr. 19.
8. Mohanka, S. S., Theory of Multilayer filtration. Journal Sanitary Engineering Division. December 1969 SA6.
9. Ray, W. J. F. Recent advances in Methods of Filtration. General Report 2, 10th IWSA Congress 1974, Brighton.
10. Knoppert, ir. P.L., 'Ozon als Oxidations- und Flockungshilfsmittel'. Erfahrungen beim Einsatz von Ozon in der Trinkwasseraufbereitung; Wasserfachliche Aussprachetagung des DVGW und VGW vom 10. bis 12. März 1971 in Wiesbaden.

Hoewel flotatie als vlokverwijderingssysteem bij coagulatie van oppervlaktewater sinds 1960, met name in de Scandinavische landen, wordt toegepast, is het systeem in Nederland sinds korte tijd sterk in de belangstelling geraakt bij de waterleidingbedrijven.

In december 1974 is op initiatief van de Waterleidingmaatschappij Noord-West-Brabant te Breda, door medewerkers van Waterleidingmaatschappij Noord-West-Brabant, Watermaatschappij Zuid-West Nederland te Goes en Drinkwater-



IR. M. J. VAN MELICK
adjunkt-direkteur.
Ingenieursbureau
Brabo-Groenewout BV, Breda

leiding te Rotterdam een studiereis gemaakt naar enkele Zweedse flotatie-installaties. De reis werd georganiseerd door Werkspoor Water Amsterdam BV en Apparatkemiska te Stockholm.

Vanaf december 1974 tot dit ogenblik is er in Nederland een geweldige hoeveelheid informatie en ervaring op laboratoriumschaal en op semi-technische schaal verzameld, terwijl tevens een gedegen studie van de buitenlandse praktijkervaringen is gemaakt.

Zo heeft er in 1975 in opdracht van de Waterleidingmaatschappij Noord-West-Brabant een onderzoek plaats gevonden op semi-technische schaal met Biesboschwater door de Drinkwaterleiding te Rotterdam. In die periode werd de KIWA-werkgroep 'Flotatie' in het leven geroepen.

Via deze werkgroep, waarin belangstellende waterleidingbedrijven en de Technische Hogeschool Delft vertegenwoordigd zijn, vindt er een gekoördineerde aanpak van de flotatieonderzoekingen plaats. Eind 1975 is de proefinstallatie overgenomen door de Drinkwaterleiding te 's-Gravenhage en geïnstalleerd te Brakel, waar proefnemingen met Andelse Maaswater plaats vinden.

In juni 1976 werd door de voltallige KIWA-werkgroep de Water Research Centre-conferentie over flotatie te Felixstowe Engeland bijgewoond.

Deze activiteiten hebben inmiddels bijgedragen tot het gereedkomen van het ontwerp van het waterzuiveringsbedrijf van de Waterleidingmaatschappij Noord-West Brabant, dat te Zevenbergen geprojecteerd is voor de zuivering van Biesboschwater. Volgens planning zal per 1 januari 1979 drinkwater door dit zuiveringsbedrijf geleverd moeten gaan worden.

Hoewel flotatie reeds sinds 1964 in Amerika — en sinds een kortere tijd ook in Nederland en andere West-Europese landen — wordt toegepast bij de behandeling van afvalwater, zal ik mij, gezien het thema van deze vakantiecursus, zoveel mogelijk beperken tot de aspecten van flotatie bij de zuivering van oppervlaktewater.

I. Wat is flotatie?

Het begrip flotatie kan worden omschreven als volgt:

— de verplaatsing van gesuspenderde deeltjes vanuit een vloeistof naar het vloeistof — gas (of lucht) — scheidingsvlak, waarbij gebruik kan worden gemaakt van een schijnbare of werkelijke geringe dichtheid van de gesuspenderde deeltjes. Een voorbeeld van natuurlijke flotatie is de verwijdering van olie uit water. Olie heeft een kleinere dichtheid dan water. Flotatie kan ook worden bewerkstelligd door kunstmatig lucht- of gasbellen te laten hechten, waardoor de te verwijderen stoffen een schijnbare dichtheid verkrijgen, die kleiner is dan de dichtheid van de vloeistof. Flotatie met behulp van belaanhechting is een veel toegepaste techniek op velerlei gebied.

Een uitgebreide beschrijving van al deze technieken zal worden opgenomen in een mededeling, welke momenteel wordt voorbereid door de KIWA-werkgroep 'Flotatie'. Als wij ons beperken tot de behandeling van water, dan kunnen we stellen, dat de natuurlijke flotatie wordt toegepast bij de behandeling van bepaalde typen industrieel afvalwater.

Bij natuurlijke flotatie wordt een bekken van boven naar beneden doorstroomd met een lage snelheid.

Deze uitvoering is vaak toegepast bij vet-afscheiders en olieafscheiders.

De drijvende stoffen stijgen tengevolge van hun geringe dichtheid naar het wateroppervlak, terwijl het water onder door een duikschot het bekken verlaat.

Het wateroppervlak kan geheel of gedeeltelijk met een drijfslag zijn bedekt.

Bij behandeling van oppervlaktewater wordt gebruik gemaakt van de methode van de belaanhechting.

Volgens deze methode wordt een overmaat aan lucht- of gasbellen in het te behandelen water gebracht.

Tengevolge van botsingen en verklevingen tussen de lucht- of gasbellen en de gesuspenderde deeltjes zullen de deeltjes naar het oppervlak van het water worden gedreven.

Bij flotatie met behulp van lucht-inblazen gaat het meestal om een verbetering van de natuurlijke flotatie, die verbeterd wordt, doordat in de vloeistof luchtbellen met