

B-4

Keuringsinstituut voor Waterleidingartikelen N.V.
KIWA

**EXPANSIE VAN HET ZANDBED
IN EEN PROEFILTER
BIJ GECOMBINEERDE
WATER-LUCHTSPOELING**

DOOR IR. A. DE LATHOUDER EN
M. SOLLMAN

MEDEDELING No 4
VAN DE COMMISSIE FILTERCONSTRUCTIES (COFICO)
VAN HET KIWA

MOORMANS PERIODIEKE PERS N.V. — DEN HAAG

Keuringsinstituut voor Waterleidingartikelen N.V.
KIWA

Van Speykstraat 34 — 's-Gravenhage

**EXPANSIE VAN HET ZANDBED
IN EEN PROEFFILTER
BIJ GECOMBINEERDE
WATER-LUCHTSPOELING**

DOOR IR. A. DE LATHOUDER EN
M. SOLLMAN

MEDEDELING No 4
VAN DE COMMISSIE FILTERCONSTRUCTIES (COFICO)
VAN HET KIWA

1. Inleiding

Het is bekend dat zandfilters intensiever kunnen worden gespoeld door, al of niet gelijktijdig met de waterspoeling, luchtspoeling toe te passen. Over het effect van luchtspoeling op de expansie van het zandbed is echter weinig bekend. Om deze invloed nader te leren kennen werden in een proeffilter met schoon zand expansiemetingen verricht bij verschillende water- en luchtsnelheden. In dit rapport wordt een beschrijving van het onderzoek en een bespreking van de verkregen resultaten gegeven. De metingen zijn uitgevoerd in het Technisch Laboratorium van de N.V. KIWA, dat ook de hiervoor benodigde apparatuur vervaardigde.

Hoewel het onderzoek werd uitgevoerd in een proeffilter van betrekkelijk kleine doorsnede, mag worden aangenomen dat de geconstateerde verschijnselen in principe ook voor grotere filters met een ander zandbed gelden. Uiteraard zullen de resultaten echter, gezien de andere omstandigheden die zich in de praktijk kunnen voordoen, steeds met de nodige voorzichtigheid dienen te worden gehanteerd, speciaal waar het de kwantitatieve uitkomsten betreft.

2. Beschrijving van de proefinstallatie en de omvang van de uitgevoerde metingen

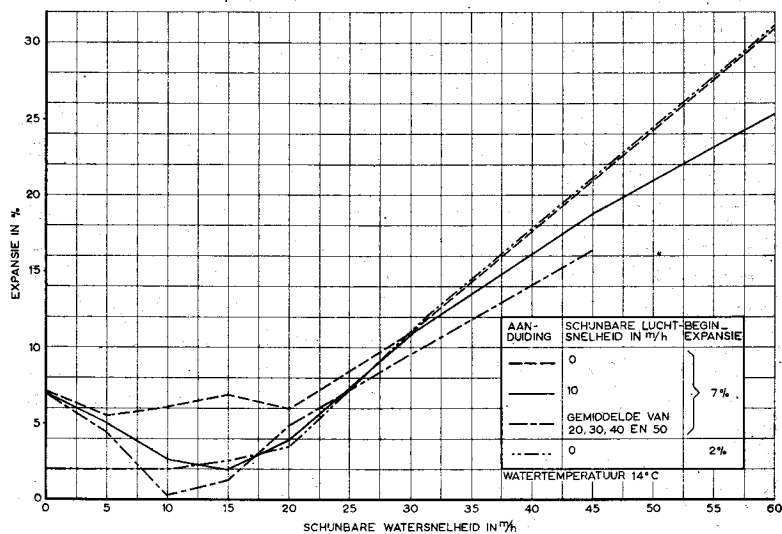
De metingen werden uitgevoerd in een speciaal proeffilter van plexiglas waarin de stroming en de beweging van het zand duidelijk konden worden waargenomen. De horizontale doorsnede van dit filter was rechthoekig: $62,5 \times 375 \text{ mm}^2$. De filterbodem was voorzien van spoelkoppen. In de toevoerleidingen voor water en lucht waren rotameters opgesteld, met behulp waarvan de schijnbare snelheden (betrokken op de horizontale filterdoorsnede) konden worden bepaald. De expansie kon op een verticale schaal op de filterwand worden afgelezen.

Het zandbed had in de niet geëxpandeerde toestand een hoogte van ongeveer 1000 mm. Door een zeefanalyse zijn de volgende gegevens van het gebruikte zand bepaald.

Specificatie:	0,75—1,50 mm
Werkzame korreldiameter:	0,86 mm (10% grens)
Gemiddelde korreldiameter:	1,12 mm (60% grens)
Gelijkmatigheidscoëfficiënt:	1,30

De gelijkmatigheidscoëfficiënt is het quotiënt van de korrelgrootten beneden welke resp. 60% en 10% van het zand is gelegen.

De expansiemetingen zijn verricht bij vrijwel alle combinaties van de volgende water- resp. luchtsnelheden: 0, 5, 10, 15, 20, 30, 45 en 60 m/h en 0, 10, 20, 30, 40 en 50 m/h. De temperatuur van het water bedroeg ca. 14°C. De luchttemperatuur varieerde van 20 tot 22°C.



Afb. 1 Expansie van het zandbed in een proeffilter bij verschillende water- en luchtsnelheden

De resultaten van deze metingen zijn in afb. 1 uitgezet in de vorm van expansiekrommen als functie van de watersnelheid. De expansielijnen voor de luchtsnelheden 0 en 10 m/h zijn afzonderlijk weergegeven. Voor de expansielijnen van de overige luchtsnelheden kon één gemiddelde kromme worden getrokken omdat de gemeten expansies bij deze luchtsnelheden een variatie vertoonden van minder dan 1%.

In punt 3 wordt de beginwaarde van de expansie toegelicht, in de punten 4 en 5 wordt de invloed van water resp. lucht, op de expansie nader besproken.

3. Uitgangspunt voor de expansiemetingen

Om de graad van expansie van een zandbed door een getal voor te stellen is het gewenst een minimumwaarde voor de zandbeddikte te bepalen en deze met „0%-expansie” te waarderen. Bij de expansiemetingen aan het proeffilter is gebleken dat het zandbed bij een watersnelheid van 10 m/h en een luchtsnelheid

liggende tussen 20 en 50 m/h een minimale dikte had. Deze wordt in het hier beschouwde geval aangeduid met de expansiegraad 0%.

Indien het zandbed door een zekere watersnelheid tot een expansie van ca. 20% was gebracht zakte het bed, door het plotse afsluiten van de watertoevoer, in tot een dikte die 7% groter was dan de minimum dikte. Omdat deze toestand van 7% expansie eenvoudig te verwezenlijken is en omdat mag worden aangenomen dat een dergelijke toestand zich in de praktijk na expansie ook veelal zal instellen, is de 7% expansiegraad als uitgangspunt voor het merendeel van de metingen gekozen. Door de stapeling van het zandbed in deze toestand te verstoren, bv. door op de wand te kloppen, kon de expansie van 7% tot 2% worden teruggebracht. Uitgaande van deze geringe expansie werd ook een meting verricht.

4. Expansie van het zandbed door waterspoeling

Uit het verloop van de in afb. 1 gegeven expansielijnen zonder luchtspoeling komt naar voren dat de expansie begint bij een watersnelheid die, afhankelijk van de beginexpansie, ligt tussen 10 en 20 m/h. Uit visuele waarnemingen is gebleken dat het zandbed bij het overschrijden van deze kritieke snelheid, niet steeds op dezelfde wijze expandeert. Wordt de snelheid langzaam verhoogd dan begint de expansie boven in het bed, waar de korrels zich ongestoord naar boven kunnen bewegen. Bij plotse verhoging van de snelheid kan aanvankelijk onder in het bed een zodanige vergroting van de weerstand optreden dat de zandmassa in zijn geheel, dus min of meer als een zuiger, tussen de filterwanden omhoog beweegt. Aangenomen mag worden dat de kans op het ontstaan van deze toestand groter wordt naarmate de cohesie van de filtermassa, bv. ten gevolge van de vervuiling, toeneemt. Boven de bodem ontstaat dan een ruimte die vrij is van zand maar waarin een zodanige watersnelheid heerst dat de onderste korrels uit de zandmassa zich weer omlaag bewegen zodat het zandbed aan de onderkant steeds verder afbrokkelt. Tegelijkertijd kan het bed van de bodem af weer worden opgebouwd in een iets lossere stapeling dan voorheen. Onder bepaalde voorwaarden kan het beschreven proces zich echter meermalen herhalen, waardoor gedeelten van het bed in op- en neergaande beweging komen. Uiteindelijk zal zich echter bij vergroting van de snelheid steeds weer een evenwichtstoestand instellen, waarbij de poriën in het zandbed een dusdanige grootte hebben dat de opgewekte weerstand in deze poriën juist in evenwicht is met het gewicht van de zandmassa in het water.

Bij toenemende watersnelheid zal de verhoogde opgewekte weerstand steeds worden genivelleerd door een verdere vergroting van de poriën, dus een toeneming van de expansie. Daarentegen zal verlaging van de watersnelheid een vermindering van de expansie teweegbrengen. Uitgaande van een grote expansie zal een vermindering van de watersnelheid doorgaans resulteren in een expansie $> 0\%$. In het hier beschouwde geval bleek dit ca. 7% ten opzichte van de in punt 3 omschreven toestand met minimale expansie te zijn. Om deze losse stapeling van het zandbed zodanig te verstoren dat de zandkorrels zich in een dichtere stapeling kunnen schikken, is een hoeveelheid energie nodig die door het water niet op de juiste wijze kan worden toegevoerd. Bij de hiervoor vereiste watersnelheid worden de opwaartse krachten die op het zand worden uitgeoefend door de waterverplaatsing en de stuwdruk nl. te groot. Dit komt duidelijk naar voren in het verloop van de expansielijn die geldt voor 0 m/h lucht en watersnelheden tussen 0 en 20 m/h. Bij een beginexpansie van 7% trad door het toevoeren van spoelwater wel enige beweging van het bed op, maar inklinking tot een kleinere expansie had niet plaats. Bij 20 m/h is de opwaartse toevoer van snelheidsenergie zo groot dat het filtermateriaal omhoog gaat. Hier begint een regelmatige expansie die vrijwel gelijkmatig toeneemt bij een verdere vergroting van de spoelsnelheid. Wordt echter uitgegaan van een door uitwendige beïnvloeding verkregen beginexpansie van 2% dan begint het bed reeds bij 10 m/h te expanderen. Bij spoelsnelheden van 30 m/h en groter vallen de beide krommen samen.

Hoewel de invloed van de temperatuur bij het hier beschreven onderzoek buiten beschouwing bleef, is het toch gewenst hierop even de aandacht te vestigen. De viscositeit van water neemt in het gebruikelijke temperatuurgebied nl. vrij snel af met toenemende temperatuur. Het gevolg hiervan is dat voor een bepaalde expansie 's zomers met grotere spoelsnelheden moet worden gewerkt dan 's winters. Dat de invloed aanzienlijk is blijkt wel hieruit dat snelheidsverhogingen van ca. 25% nodig kunnen zijn om de invloed van 10° temperatuurverhoging te compenseren.

5. Invloed van de lucht

5.1. *Invloed van de lucht op het in losse stapeling verkerende zandbed*

In tegenstelling tot de stroming van het spoelwater dat zich, behoudens de vertragingen en versnellingen in de poriën, eenparig door de zandmassa beweegt, blijkt de spoellucht zich in een

weinig of niet geëxpandeerd bed min of meer schoksgewijs door het filter te verplaatsen. Kleine luchtbelllen vertonen de neiging in het bed te blijven hangen. Deze belllen zullen zich dan pas in opwaartse richting in het filter bewegen, indien hun opwaartse druk, door toevoer van lucht van onderen af, groter is dan de co- en adhesie van de omringende zand-watermassa. Op deze wijze ziet men kleine belllen, die in het bed blijven hangen, aangroeien tot grotere alvorens zij verder naar boven doorbreken. Een aangegroeide luchtbel scheurt dan als het ware een kanaal in het filterbed. Een klein gedeelte van de luchtbel zal veelal achterblijven en als verzamelkern voor de nieuw aangevoerde lucht dienen. Bij het doorbreken van de luchtbel wordt het water zowel naar boven meegeslept als opzij verdrongen. Er ontstaan dus niet alleen verticale, maar ook horizontale watersnelheden in het bed. Hierdoor worden verticale en horizontale krachten op de zandkorrels uitgeoefend. De min of meer labiele toestand waarin het los gestapelde bed verkeert wordt hierdoor verstoord. Bovendien zal de opwaartse kracht op het zand, die het gevolg is van de waterverplaatsing van de zandkorrels, bij het passeren van luchtbelllen plaatselijk tijdelijk sterk worden verminderd. Als gevolg van deze factoren zullen de zandkorrels zich tot een dichtere stapeling kunnen rangschikken waardoor de expansie vermindert.

Uit de grafiek blijkt dat op deze wijze de expansie met een spoelluchtsnelheid van 10 m/h en een watersnelheid van 15 m/h kan worden verminderd van 7% (beginexpansie) tot 2%. Bij hogere luchtsnelheden wordt de expansie bij 10 m/h watersnelheid zelfs tot 0% teruggebracht.

Uit het voorgaande kan dus worden geconcludeerd dat inklinking van een los gestapeld filterbed kan worden verkregen door naast de waterspoeling spoellucht aan het bed toe te voeren.

5.2. Invloed van de lucht op het geëxpandeerde zandbed

Uit metingen die zijn verricht in het Technisch Laboratorium van de N.V. KIWA, onder meer om te bepalen hoe groot de hoeveelheid lucht is die zich tijdens het spoelen met lucht in een schoon zandbed bevindt, is komen vast te staan dat bij de gecombineerde spoeling van een zandbed ongeveer 10% van het poriënvolume door lucht wordt ingenomen. Indien door 90% van de poriënkanaalen water stroomt zou men wellicht verwachten dat de hiermee gepaard gaande snelheidsverhoging de totale weerstand van het filterbed doet toenemen ten opzichte van de toestand zonder luchtspoeling. Bij de gecombineerde spoeling zou dan een grotere expansie mogen worden verwacht dan indien er

bij dezelfde schijnbare watersnelheid uitsluitend met water werd gespoeld. Uit afb. 1 blijkt echter dat de expansie door aanvulling van de waterspoeling met luchtspoeling wordt verkleind. In punt 5.1. werd reeds besproken dat de beginexpansie van het losgestapelde bed bij toepassing van kleine watersnelheden door de toevoer van lucht wordt verkleind. Ook bij grotere watersnelheden blijkt de expansie in de toestand met water- en luchtspoeling kleiner te zijn dan met waterspoeling alleen. Dat de expansie, ondanks de toevoeging van een extra spoelmedium wordt verkleind, zou o.a. kunnen samenhangen met de volgende wijzigingen die in het zandbed optreden.

1. De door het bed brekende lucht zal, vooral wanneer zich hieruit grote bellen hebben gevormd, het bed openscheuren en hierin kanalen vormen. Hierdoor kunnen zich relatief grote hoeveelheden water verplaatsen waardoor een vermindering van de watersnelheid in de overige delen van het bed optreedt. De kortsluiting die de doorbrekende luchtbellen tussen de verschillende lagen in het filter teweegbrengen gaat dus gepaard met een weerstandsvermindering.

2. Op de plaatsen waar de lucht in het bed passeert wordt de opwaartse druk, veroorzaakt door de waterverplaatsing van de zandkorrels, tijdelijk sterk verminderd.

3. Door de toevoeging van lucht aan het bed wordt het water in heftige beroering gebracht. Het water krijgt een hogere turbulentiegraad terwijl de door de lucht veroorzaakte extra watersnelheden het getal van Reynolds vergroten. Het is niet uitgesloten dat deze factoren bijdragen tot een kleinere weerstand van het bed.

6. Conclusies

De bestudering van de expansie in een proeffilter, gevuld met schoon zand van 0,75-1,50 mm (werkzame diameter 0,86 mm) en gespoeld met water en lucht, heeft tot de volgende conclusies geleid.

- a. De minimale dikte van het zandbed werd bereikt door dit te spoelen met water en lucht en wel bij een watersnelheid van 10 m/h gecombineerd met luchtsnelheden liggende tussen 20 en 50 m/h.

- b. Bij het beëindigen van de watertoevoer aan een in expansie verkerend zandbed dat alleen met water wordt gespoeld, zal de zandmassa inzakken tot een losse stapeling. In het onderzochte geval was de zandbeddikte bij deze losse stapeling ca. 7% groter dan de onder a genoemde minimale dikte.

c. Het is mogelijk gebleken een zandbed dat geëxpandeerd is geweest en dat na het sluiten van de watertoevoer tot de onder **b** genoemde 7% dikte is ingezakt, door uitwendige invloeden te verstoren en hierdoor tot verdere inzakking te brengen. De hierdoor verkregen minimum dikte was ongeveer 2% groter dan de onder **a** genoemde minimum dikte.

d. Door een expansie veroorzakende watersnelheid te combineren met luchtspoeling werd de expansie van het zandbed verminderd.

e. Het onder **d** genoemde verschijnsel hangt waarschijnlijk samen met:

1. door de in het bed toegevoerde lucht veroorzaakte gapingen, waardoor kortsluiting tussen de zich op verschillende hoogten bevindende waterlagen van het filterbed optreedt en het water onder geringere weerstand naar boven kan ontwijken;
2. de vermindering van de door de waterverplaatsing veroorzaakte opwaartse druk van de zandkorrels;
3. het meer turbulente karakter van de stroming.

November 1961

SAMENVATTING

van

*Mededeling No 4 van de Commissie Filterconstructies (Cofico)
van het Keuringsinstituut voor Waterleidingartikelen
N.V. KIWA*

*„Expansie van het zandbed in een proeffilter bij gecombineerde
water-luchtspoeling”*

Het is bekend dat zandfilters intensiever kunnen worden gespoeld door, al of niet gelijktijdig met de waterspoeling, luchtspoeling toe te passen. Weinig is echter bekend over het effect dat luchtspoeling op de expansie van het zandbed heeft. Om deze invloed nader te leren kennen, werden in het Technisch Laboratorium van het KIWA expansiemetingen verricht bij verschillende water- en luchtsnelheden. Deze proeven werden uitgevoerd in een speciaal proeffilter van plexiglas met een doorsnede van $37,5 \times 6,25$ cm², gevuld met schoon zand van 0,75 — 1,50 mm (werkzame korreldiameter 0,86 mm).

De geconstaterede verschijnselen zullen in principe ook voor grotere filters gelden. Wegens andere omstandigheden die zich in de praktijk kunnen voordoen dienen de resultaten echter, speciaal wat betreft de kwantitatieve uitkomsten, met de nodige voorzichtigheid te worden gehanteerd.

Het onderzoek heeft tot de volgende conclusies geleid:

- a.** De minimale dikte van het zandbed werd bereikt door dit te spoelen met water en lucht en wel bij een watersnelheid van 10 m/h gecombineerd met luchtsnelheden liggende tussen 20 en 50 m/h.
- b.** Bij het beëindigen van de watertoevoer aan een in expansie verkerend zandbed dat alleen met water wordt gespoeld, zal de zandmassa inzakken tot een losse stapeling. In het onderzochte geval was de zandbeddikte bij deze losse stapeling ca. 7% groter dan de onder **a** genoemde minimale dikte.
- c.** Het is mogelijk gebleken een zandbed dat geëxpandeerd is geweest en dat na het sluiten van de watertoevoer tot de onder **b** genoemde 7% dikte is ingezakt, door uitwendige invloeden te verstoren en hierdoor tot verdere inzakking te brengen. De hierdoor verkregen minimum dikte was ongeveer 2% groter dan de onder **a** genoemde minimum dikte.
- d.** Door een expansie veroorzakende watersnelheid te combine-

ren me tluchtspoeling werd de expansie van het zandbed verminderd.

e. Het onder d genoemde verschijnsel hangt waarschijnlijk samen met:

1. door de in het bed toegevoerde lucht veroorzaakte gapingen, waardoor kortsluiting tussen de zich op verschillende hoogten bevindende waterlagen van het filterbed optreedt en het water onder geringe weerstand naar boven kan ontwijken;
2. de vermindering van de door de waterverplaatsing veroorzaakte opwaartse druk van de zandkorrels;
3. het meer turbulente karakter van de stroming.

SUMMARY

of

Communication No 4 of the Committee for the Construction of Filters (Cofico) of the Institution for the Testing of Waterworks Materials Ltd. KIWA

„Expansion of the sandbed in an experimental filter in which backwashing with water is combined with airwash”

It is well-known that sandfilters can be washed more thoroughly by applying airwash, simultaneously or otherwise with backwashing with water. Little is known, however, of the effect of airwash on the expansion of the sandbed.

In order to get better acquainted with this effect, expansion measurements were taken in the Technical Laboratory of the KIWA at different water and air velocities. These experiments were carried out in a special experimental filter of plexiglass of a cross-section of $37,5 \times 6,25 \text{ cm}^2$, filled with clean sand of 0,75 — 1,50 mm (effective grainsize 0,86 mm).

The phenomena noted will in principle also apply to large filters. On account of the different circumstances which may present themselves in practice, however, the results should be handled with some precaution, especially for the quantitative results.

The examination has led to the following conclusions.

- a.** The minimum depth of the sandbed was attained by backwashing it with water and air and that at a water velocity of 10 m/h combined with air velocities ranging from 20 to 50 m/h.
- b.** When in a sandbed being in expansion and only backwashed with water the water-supply is stopped, the mass of sand will settle into a loose pile. In the case examined the depth of the sandbed in the loose pile was **c** 7% larger than the minimum depth mentioned under **a**.
- c.** It proved to be possible by external influences to disturb a sandbed that has been expanded and after turning off the water-supply has subsided to the 7% depth mentioned under **b** and in this way to help along the process of subsidence. The minimum depth attained by this was about 2% larger than the minimum depth mentioned under **a**.
- d.** The expansion of the sandbed was diminished by combining airwash with a water-velocity causing an expansion.

- e. The phenomenon mentioned under **d** probably results from:
1. gaps caused by the air conveyed to the bed by which a short-circuit occurs between the layers of water in the filterbed at different heights and by which the water can evade upwards under a smaller headloss;
 2. the decrease of the upward pressure of the sandgrains caused by the water-displacement;
 3. the more turbulent character of the current.

RÉSUMÉ

de

*la Communication No 4 de la Commission Construction des
Filtres (Cofico) de l'Institut pour la Réception et la Vérification
du Matériel des Services de Distribution d'Eau S.A. KIWA*

*„L'expansion du lit de sable dans un filtre d'essai par un lavage
à l'air et à l'eau combiné”*

On sait que les filtres à sable peuvent être rincés d'une façon plus intense, si l'on applique le lavage à l'air, oui ou non simultanément avec le lavage à l'eau. L'effet cependant que le lavage à l'air a sur l'expansion du lit de sable est assez inconnu. Pour mieux connaître cette influence, on a exécuté dans le Laboratoire Technique du S.A. KIWA des mesurages d'expansion par des vitesses d'eau et d'air différentes.

On a fait ces expériences dans un filtre d'essai de polyméthacrylester (Plexiglas, Perspex etc.) avec une section transversale de $37,5 \times 6,25 \text{ cm}^2$, rempli de sable propre de 0,75 — 1,50 mm (taille effective des grains 0,86 mm).

Les phénomènes constatés vaudront en principe aussi pour des filtres plus grands. Il faut cependant à cause des autres circonstances qui peuvent se présenter dans la pratique, qu'on manie les résultats avec beaucoup de prudence, particulièrement en ce qui concerne les résultats quantitatifs.

Les recherches ont mené aux conclusions suivantes.

a. On a obtenu l'épaisseur minimale du lit de sable par un lavage à l'eau et à l'air c.à.d. avec une vitesse d'eau de 10 m/h et avec des vitesses d'air qui se trouvaient entre 20 et 50 m/h.

b. En finissant l'amenée d'eau à un lit de sable qui se trouve dans une expansion et qui n'est rincé qu'avec de l'eau, la masse de sable tombera jusqu'à un empilement peu serré. Dans le cas examiné, l'épaisseur du lit de sable était par cet empilement peu serré, environ 7% plus grande que par l'épaisseur minimale nommée sous **a**.

c. Il s'est trouvé possible qu'on pût troubler un lit de sable qui a été soulevé et qui après la clôture de l'amenée de l'eau, est tombé jusqu'à l'épaisseur minimale de 7% nommée sous **b**, par des influences extérieures et par là mener à une chute plus grande. Le minimum de l'épaisseur obtenu par cela, était environ 2% plus grande que le minimum de l'épaisseur nommé sous **a**.

d. En combinant une vitesse d'eau qui cause une expansion, avec un rinçage à l'air, on a diminué l'expansion du lit de sable.

e. Le phénomène nommé sous **d** est probablement en relation avec:

1. les vides causés par l'air qu'on avait amené dans le lit, à cause desquelles se présente un court-circuit entre les couches d'eau du lit de filtre qui se trouvent à des hauteurs différentes, de sorte que l'eau peut évader vers le haut, sous une perte de charge moins grande;
2. la diminution de la pression de bas en haut des grains de sable causée par le déplacement de l'eau;
3. le caractère plus turbulent du courant.

ZUSAMMENFASSUNG

von

*Mitteilung Nr. 4 des Ausschusses für Filterkonstruktionen
(Cofico) des Prüfungsinstitutes für Wasserleitungsartikel
A.G. KIWA*

„Expansion des Sandbettes in einem Versuchsfilter bei kombinierter Wasser-Luftspülung“

Es ist bekannt, dass Sandfilter intensiver gespült werden können, wenn, gleich- oder ungleichzeitig mit der Wasserspülung, Luftspülung angewandt wird. Es ist jedoch wenig über den Einfluss bekannt, den Luftspülung auf die Expansion des Sandbettes hat. Um diesen Einfluss näher kennenzulernen, wurden im Laboratorium des KIWA Expansionsmessungen bei verschiedenen Wasser- und Luftgeschwindigkeiten ausgeführt. Die Untersuchungen wurden in einem besonderen aus Plexiglas gefertigten Versuchsfilter von $37,5 \times 6,25$ cm² Querschnitt, gefüllt mit reinem Sand von 0,75 — 1,50 mm (wirksame Korngrösse 0,86 mm) durchgeführt.

Die konstatierten Erscheinungen werden im Prinzip auch für grössere Filter gelten. Wegen der anderen Umstände, die in der Praxis vorkommen können, müssen jedoch die Ergebnisse, besonders was die quantitativen Ergebnisse betrifft, mit der grössten Vorsicht hantiert werden.

Die Untersuchung hat zu den folgenden Schlussfolgerungen geführt.

- a. Die minimale Sandschichthöhe wird erreicht durch Spülen mit Wasser und Luft und zwar bei einer Wassergeschwindigkeit von 10 m/h kombiniert mit einer Luftgeschwindigkeit, die zwischen 20 und 50 m/h liegt.
- b. Beim Abschliessen der Wasserzufuhr an ein Sandbett, das sich im Expansionszustand befindet und das ausschliesslich mit Wasser gespült wird, wird die Sandmasse zu einer lockeren Lagerung einsacken. Im untersuchten Fall war die Sandschichthöhe bei dieser lockeren Lagerung 7% grösser als die unter a genannte minimale Höhe.
- c. Es hat sich als möglich erwiesen ein Sandbett, das expandiert war und das nach Abschliessen der Wasserzufuhr zu der unter b genannten Höhe von 7% eingesackt ist, durch äussere Einflüsse zu stören und dadurch zu weiteren Einsinken zu bringen. Die

hierdurch erreichte minimale Schichthöhe war ungefähr 2% grösser als die unter **a** genannte.

d. Durch eine Expansion verursachende Wassergeschwindigkeit mit Luftspülung zu kombinieren, wurde die Expansion des Sandbettes vermindert.

e. Das unter **d** genannte Phänomen hängt wahrscheinlich zusammen mit:

1. Öffnungen, die durch die dem Bett zugeführte Luft verursacht werden, wodurch Kurzschlüsse zwischen den sich auf verschiedenen Höhen befindenden Wasserlagen des Filterbettes entstehen, so dass das Wasser mit geringerem Druckverlust nach oben entweichen kann;
2. der Abnahme des durch die Wasserverdrängung verursachten nach oben gerichteten Druckes der Sandkörner;
3. dem mehr turbulenten Charakter der Strömung.