

FILTRATION LENTE POUR LE TRAITEMENT DÉCENTRALISÉ DE L'EAU POTABLE

Afin de répondre à une demande toujours plus croissante dans le traitement d'eau potable dans des régions décentralisées, notamment dans les régions montagneuses, le bureau RWB et l'entreprise Etertub ont développé un système de filtration compact fonctionnant sans électricité ni ajout de produit chimique. Les perspectives d'utilisation de ce système de filtration dans les pays en voie de développement sont également intéressantes.

Daniel Urfer; Johann Gigandet, RWB Groupe SA
Manfred Ilg, Etertub AG*

Le traitement de sources de qualité variable représente un grand défi dans les régions excentrées de Suisse, notamment dans les régions de montagnes. Le raccordement au réseau d'eau potable des habitations situées en dehors des zones à bâtir est souvent trop coûteux et techniquement irraisonnable. Par conséquent, ces habitations (exploitations agricoles, restaurants-fermes, alpages, cabanes SAC, chalets de montagne, etc.) dépendent souvent de source(s) karstique(s) privée(s) ayant une qualité d'eau très variable. Aussi, la mauvaise accessibilité et l'absence d'électricité dans certains cas représentent des facteurs de complication supplémentaires pour le traitement de telles sources. Dans la majorité des cas, ces sources privées montrent une turbidité élevée durant les périodes pluvieuses et également la présence de bactéries indicatrices, telles que *E. coli* et entérocoques.

Dans le but de trouver une solution durable pour le traitement de telles sources, un système de traitement multi-étage a été déve-

loppé. Ce système entièrement préfabriqué, appelé kls®filter, est basé sur les technologies éprouvées de la filtration sur graviers et la filtration lente. Ces deux procédés de traitement, largement utilisés dans le traitement de l'eau, représentent le plus ancien procédé de traitement d'eau.

LA FILTRATION LENTE POUR LE TRAITEMENT DE L'EAU

Historiquement, les premières traces de filtration à sable lent ont été observées il y a environ 200 ans (en 1804). La filtration avait alors été utilisée pour le traitement de l'eau dans une blanchisserie en Ecosse [1, 2]. Par la suite, ce procédé a été utilisé à grande échelle dans de nombreuses villes en Angleterre, Allemagne, Hollande et en Suisse (fig. 1). L'utilisation de la filtration lente a eu pour résultat la quasi disparition du choléra en Europe centrale au début du 20^{ème} siècle [3].

Suite aux découvertes de *Louis Pasteur*, *Robert Koch* et *Theodor Escherich*, des liens entre la présence de microorganismes pathogènes dans l'eau et l'apparition d'épidémies telles que le choléra ont pu être prouvés. De nombreuses études scientifiques ont donc été réalisées quant à la performance de rétention des microorganismes pathogènes par la filtration lente. Ces travaux ont démontré l'efficacité de la filtration lente dans l'élimination de bactéries, virus et protozoaires tels que *Giar-*

ZUSAMMENFASSUNG

LANGSAMSANDFILTERSYSTEM FÜR DIE TRINKWASSERVERSORGUNG IN ABGELEGENEN GEBIETEN

Basierend auf dem Verfahren der Langsamsandfiltration wurde das kls®-Filtersystem entwickelt, das als einfaches und robustes Wasseraufbereitungssystem gerade für die Trinkwasserversorgung in abgelegenen Gebieten gedacht ist. Der Filter wird ohne Fremdenergie und chemische Zusätze betrieben. Durch die modulare Kompaktbauweise kann das System gut optimiert und an die Rohwasserqualität angepasst werden, insbesondere indem mit dem Füllmaterial gespielt wird. Somit können ungünstige Einflüsse in der Einlaufphase wie tiefe Temperaturen oder Nährstoffarmut im Zulauf kompensiert werden. Mit einem eingefahrenen System können sowohl Trübung als auch mikrobiologische Verunreinigungen weitestgehend eliminiert werden: Unabhängig von den Werten im Zulauf kann die Trübung des Reinwassers kontinuierlich unter 0,5 FTU gehalten werden. Die mikrobiologische Leistungsfähigkeit erreicht bei einem eingefahrenen System 99–99,9% für *E. coli* und Enterokokken und kann durch Oberflächenmodifikation des Filtermediums noch weiter gesteigert werden.



Fig. 1 Filtre lent à Arlington, Angleterre
Langsamsandfilter in Arlington, UK

* Contact: johann.gigandet@rwb.ch



Fig. 2 Exemple d'un kls®filter installé en Suisse

Beispiel eines in der Schweiz installierten kls®-Filters

dia lamblia et *Cryptosporidium parvum* [1, 4-7]. Actuellement, les villes de Londres et Zurich traitent toujours une partie de leurs eaux de surface par filtration lente. Cependant au cours de l'industrialisation et suite à l'apparition et au développement de la filtration rapide, la filtration lente a progressivement perdue en importance dans le domaine du traitement de l'eau [8]. La filtration rapide, utilisant des vitesses de filtration environ 100 fois supérieures à la filtration lente, possède l'avantage de nécessiter de beaucoup moins de surface que la filtration lente. Néanmoins, cette technologie exige l'utilisation de coagulant pour déstabiliser les particules en suspension mais également la présence de courant électrique pour l'utilisation des pompes de lavage.

Depuis un certain nombre d'années, l'utilisation de la filtration lente et de la filtration sur graviers connaît une certaine «renaissance» dans le monde [2, 5, 8-11], en particulier pour les petits systèmes de traitement ou pour des applications dans les pays en voie de développement. La filtration lente, combinée avec la filtration sur graviers (*multi-stage filtration*; [2]), représentent de nombreux avantages particulièrement importants pour les petits systèmes souvent difficilement accessibles:

- Fonctionnement sans électricité
- Fonctionnement sans produits chimiques
- Traitement robuste pour des eaux de qualité très variable (p.ex. sources karstiques)
- Très peu d'entretien
- Facilité de mise en place même dans les régions montagneuses parfois difficiles d'accès
- Frais de fonctionnement minimaux

Une dizaine de kls®filter sont actuellement en service (ou en cours de mise en service) en Suisse (cantons de Fribourg, Jura, Lucerne, St-Gall, Zug). Ces filtres ont principalement été installés dans des régions de montagne (Préalpes et Jura) pour le traitement de source privée (fig. 2). Un filtre a récemment été envoyé au Burkina Faso pour le traitement d'eaux souterraines dans une école au Nord du pays. En effet, la technologie robuste et simple d'entretien du kls®filter se prête particulièrement bien pour des utilisations dans les pays en voie de développement [2].

En Suisse, un premier kls®filter (prototype) a été installé et mis en service en 2002 au Maran en-dessus de St-Ursanne dans le Canton du Jura. Ce filtre fonctionne depuis 10 ans avec un entretien minimal et permet à la ferme du Maran de disposer d'eau potable en permanence.

SYSTÈME DE LA FILTRATION LENTE

Le kls®filter a été développé initialement pour le traitement d'environ 5000 litres d'eau par jour. Ce volume d'eau correspond généralement à la consommation moyenne d'une exploitation agricole moyenne ou encore de petits hameaux et de restaurants/fermes de montagne. Quelques applications particulières ont été réalisées pour des débits supérieurs de l'ordre de 20-30 m³/jour. Des réflexions sont actuellement en cours pour la mise à disposition d'unités plus petites et compactes (environ 400 l/jour) permettant d'alimenter en eau potable les chalets et maisons individuelles.

Les caractéristiques du filtre sont les suivantes (fig. 3 et 4):

- Le filtre est conçu d'une manière totalement préfabriquée en polyéthylène (PE), ceci principalement pour des raisons de qualité du produit fini et de facilité au niveau de sa mise en place sur le terrain.
- Le traitement se fait par une (ou deux) filtration(s) sur graviers suivie(s) par deux étapes de filtration lente.
- Le passage de l'eau d'un compartiment à l'autre se fait par gravité sans apport d'énergie extérieure.

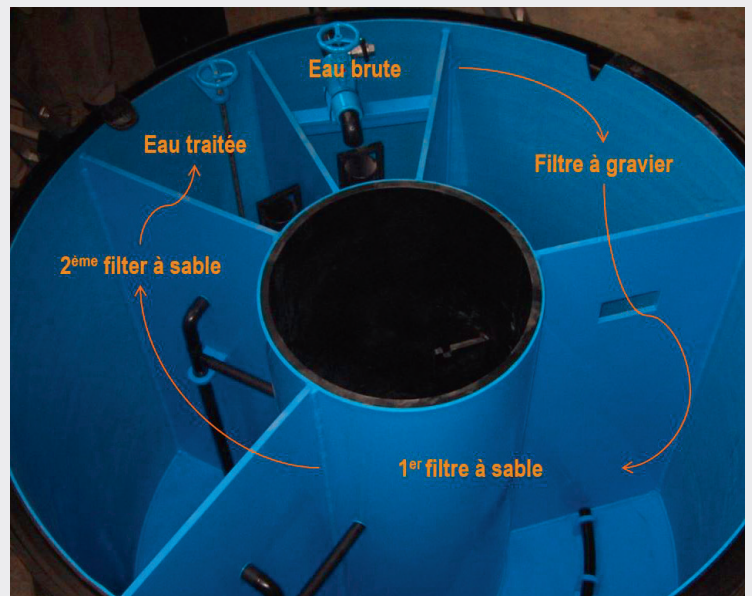


Fig. 3 Principe de fonctionnement du système de filtration

Funktionsschema des Filtersystems

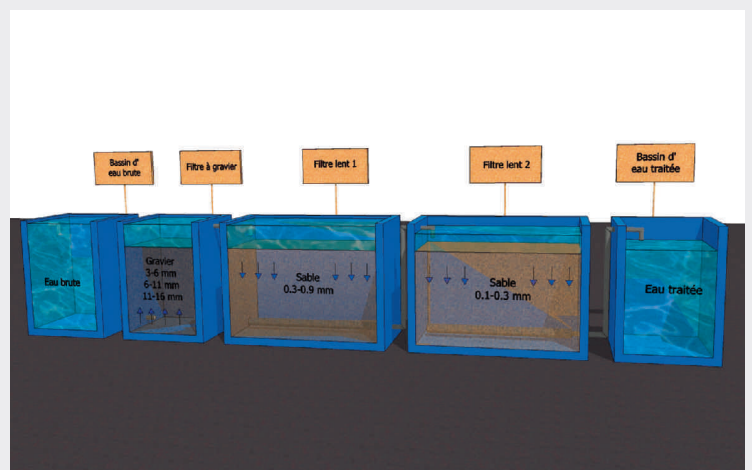


Fig. 4 Schéma d'écoulement du système de filtration

Fliessschema des Filtersystems

- La vitesse de filtration dans les différents compartiments est réglée à l'aide d'une vanne de régulation à la sortie du 2^{ème} filtre lent.
- Le filtre à graviers est un filtre ascendant dimensionné selon les recommandations de la littérature [2, 12, 13].
- Les paramètres de base des filtres lents (hauteur du média filtrant, granulométrie, vitesse de filtration) ont été dimensionnés selon l'état de la technique et la littérature scientifique y relative [p. ex. 1, 10, 14].
- La double filtration lente en série offre une grande sécurité quant à la qualité de l'eau traitée et permet un fonctionnement très robuste de ce système (*multi-barrier system*).
- Les travaux d'entretien se limitent au rinçage gravitaire du filtre à graviers (environ une fois tous les deux mois) et au «raclage» manuel de la «Schmutzdecke» (~ 2 cm de sable) à la surface du 1^{er} filtre à sable lent environ une fois par année.

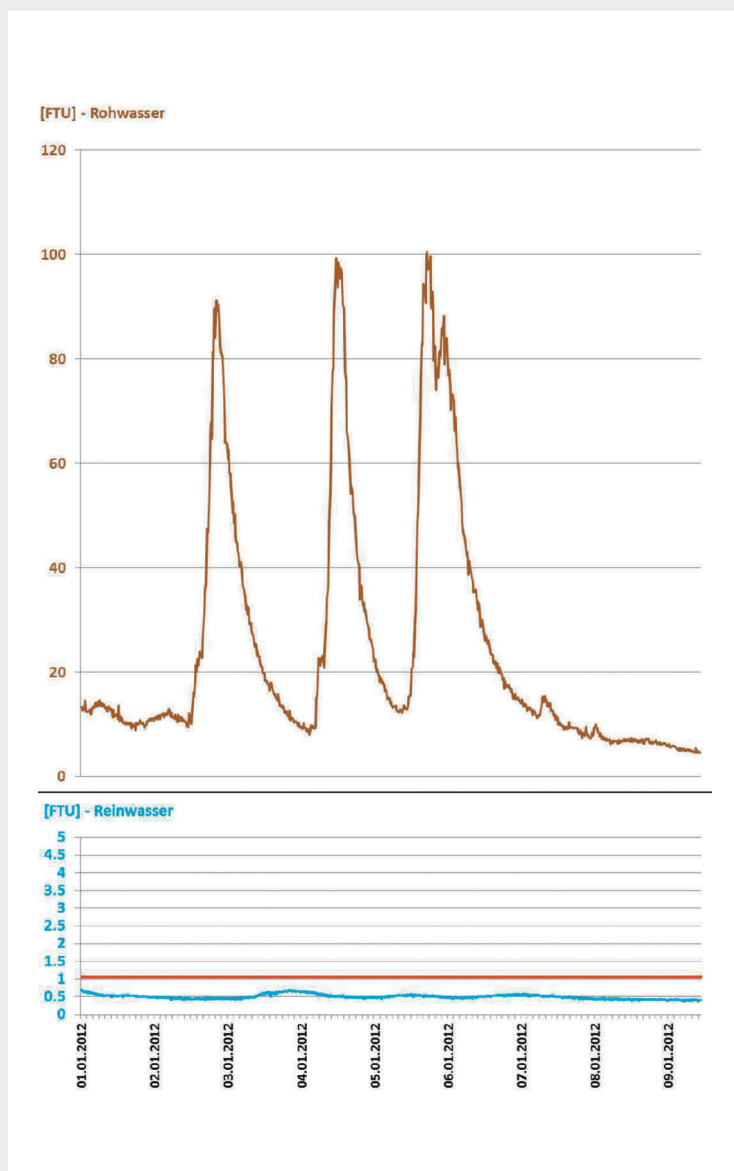


Fig. 5 Variation de la turbidité dans l'eau brute et traitée de l'installation pilote entre le 1^{er} et le 9 janvier 2012. Selon l'OSEC, la valeur de tolérance pour la turbidité est de 1 FTU

Schwankungen der Trübung im Roh- und Reinwasser der Pilotanlage zwischen dem 1. und 9. Januar 2012. Gemäss FIV liegt der Toleranzwert für Trübung bei 1 FTU

PRÉSENTATION DU FILTRE TEST

Afin d'évaluer et d'optimiser le fonctionnement du kls®filter, un filtre test a été mis en place à Porrentruy (Jura). Ce filtre traite l'eau d'un ruisseau (Bacavoine) ayant une qualité fortement variable en fonction de la météo (région karstique). Lors de fortes pluies, la turbidité augmente très rapidement et peut atteindre plusieurs centaines de FTU en quelques heures. Néanmoins, à la sortie du filtre les valeurs de turbidité autour de 0,5 FTU étaient observées (fig. 5). En plus, le tableau 1 résume la qualité microbiologique de l'eau brute du Baccavoine ainsi que la qualité à la sortie du filtre test.

Le choix de tester les performances du kls®filter avec l'eau de ce ruisseau avait pour objectif d'obtenir des conditions extrêmes de traitement (*worst case*). En général, les eaux brutes des sources de montagnes montrent une qualité supérieure et plus stable en comparaison avec une eau de surface telle que celle du ruisseau du Bacavoine. Par conséquent, les résultats des tests en conditions réelles effectués sur ce filtre test indiqueront une performance optimale du kls®filter dans le traitement d'eau de source karstique.

La figure 6 illustre le fonctionnement du filtre test. Compte tenu des turbidités extrêmes de l'eau brute, un deuxième filtre à graviers a été mis en place afin d'éviter des turbidités excessives (> 10 FTU) à l'entrée du premier filtre lent. En effet, il est généralement admis que la turbidité à l'entrée d'un filtre lent ne devrait pas dépasser 10 FTU afin d'éviter le «raclage» trop fréquent de la surface du filtre pour rétablir la performance hydraulique de ce dernier [1].

Afin d'optimiser le fonctionnement du système, la deuxième étape de filtration lente a été subdivisée en quatre filtres fonctionnant en parallèle. Différents médias filtrants ont ainsi été testés dans ces quatre compartiments. Du sable de quartz standard (sable A) a été comparé avec un sable optimisé du point de vue de sa charge superficielle (sable B).

Microbiologie - performance de traitement

Il est généralement admis que l'efficacité d'un filtre lent, et notamment l'élimination des microorganismes, dépend principalement d'une couche de quelques centimètres qui se forme à la surface des filtres lents. Cette dernière est communément appelée «Schmutzdecke». Cette couche, composée d'un mélange de microorganismes et de particules minérales et organiques, se forme après une certaine période de maturation biologique du filtre [p. ex. 15]. La durée de maturation d'un filtre lent est fortement dépendante de la qualité de l'eau brute et des paramètres déterminants tels que la concentration en matière organique biodégradable (AOC), la température de l'eau, la charge en particules, etc.

En règle générale, la performance d'un filtre lent biologiquement mature montre une élimination des microorganismes pathogènes tels que *E. coli* et les virus [1, 4, 6, 16, 17] de l'ordre de 2-3 log (99-99,9% de réduction). L'élimination des protozoaires *Giardia* et *Cryptosporidium* dans les filtres lents matures est généralement plus élevée (~ 3-6 log) [7, 18], probablement à cause de leur plus grand diamètre (~ 4-7 µm) comparé aux bactéries (~ 1 µm de diamètre). Des recherches récentes ont suggéré que la présence de particules d'aluminium - élément abondamment présent dans la croûte terrestre - dans les eaux naturelles pourrait jouer un rôle important au niveau de l'efficacité de filtres lents [19].

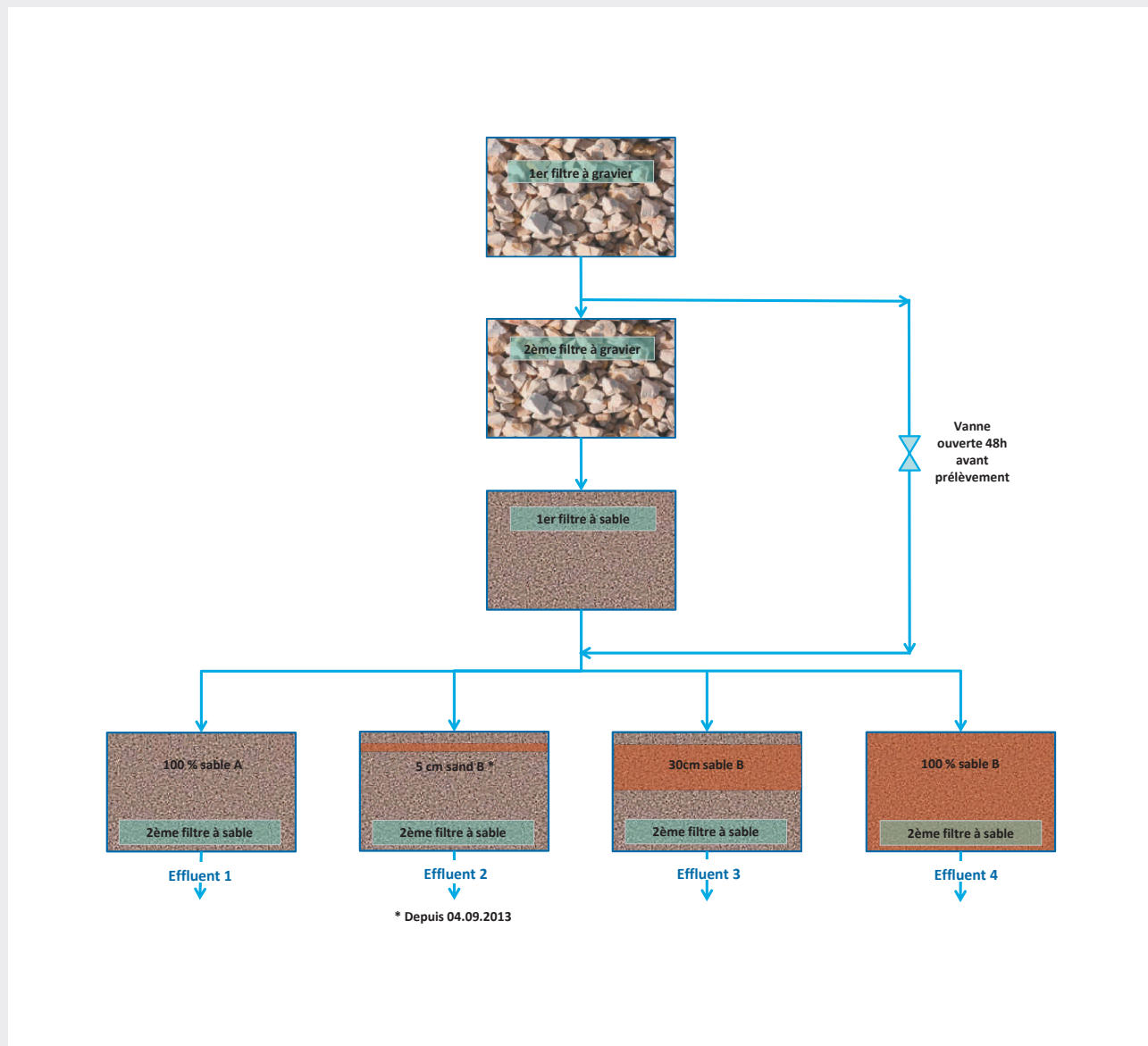


Fig. 6 Schéma de fonctionnement de l'installation pilote à Porrentruy JU
 Funktionsschema der Pilotanlage in Porrentruy JU

La performance microbiologique du filtre test et les différences de performance entre le sable standard (sable A) et le sable optimisé (sable B) sont résumées dans les tableaux 2 et 3. Ces résultats démontrent l'importance prépondérante du média filtrant au niveau de la rétention des bactéries dans le filtre lent.

Turbidité

Les résultats des mesures de turbidité de l'eau brute et de l'eau à la sortie des différents compartiments du filtre test à Porrentruy sont résumés dans le tableau 4. Ainsi, l'observation de ces résultats montre une turbidité de l'eau traitée toujours en-dessous de 0,5-1,0 FTU, indépendamment de la turbidité de l'eau brute. Plusieurs échantillons ponctuels, pris lors d'événements pluvieux (> 100 FTU),

Date	E. coli [UFC/100 ml]		Entérocoques [UFC/100 ml]	
	Entrée 600	Sortie 604	Entrée 600	Sortie 604
28.08.2012	520	15	780	14
06.09.2012	Elimination de la Schmutzdecke du premier filtre			
17.09.2012	540	101	260	100
22.10.2012	157	9	22	4
19.11.2012	66	4	22	6
17.12.2012	162	2	160	0
07.01.2013	18	4	8	7
04.02.2013	75	1	60	0
11.03.2013	160	0	101	0
08.04.2013	33	0	15	1
27.05.2013	66	0	12	5

Tab. 1 Quantité d'E. coli et d'entérocoques dans l'eau brut du Bacavoine (600) et à la sortie du filtre lente (604)
 Anzahl E. coli und Enterokokken im Rohwasser des Bacavoines (600) und im Auslauf des Langsamsandfilters (604)

Date	<i>E. coli</i> [UFC/100 ml]				
	Entrées 604-607	Sortie 604	Sortie 605	Sortie 606	Sortie 607
		100% sable A	5 cm sable A 5 cm sable B* 70 cm sable A	5 cm sable A 30 cm sable B 45 cm sable A	100% sable B
11.06.2013	1300	600	580	0	0
24.06.2013	178	38	13	0	0
19.08.2013	79	12	2	0	0
16.09.2013	37	23	4	1	0
14.10.2013	240	22	81	0	0

* Depuis le 4 septembre 2013; avant cela: 80 cm de sable A

Tab. 2 *E. coli* à l'entrée et à la sortie du second filtre lente de l'installation pilote
E. coli im Ein- und Auslauf des zweiten Langsandsfilters der Pilotanlage

Date	Entérocoques [UFC/100 ml]				
	Entrées 604-607	Sortie 604	Sortie 605	Sortie 606	Sortie 607
		100% sable A	5 cm sable A 5 cm sable B* 70 cm sable A	5 cm sable A 30 cm sable B 45 cm sable A	100% sable B
11.06.2013	420	240	200	0	0
24.06.2013	170	28	2	0	0
19.08.2013	32	8	3	0	0
16.09.2013	14	16	3	0	0
14.10.2013	90	8	21	0	0

* Depuis le 4 septembre 2013; avant cela: 80 cm de sable A

Tab. 3 Entérocoques à l'entrée et à la sortie du second filtre lente de l'installation pilote
Enterokokken im Ein- und Auslauf des zweiten Langsandsfilters der Pilotanlage

Date	Turbidité [FTU]				
	Entrées 604-607	Sortie 604	Sortie 605	Sortie 606	Sortie 607
		100% sable A	5 cm sable A 5 cm sable B* 70 cm sable A	5 cm sable A 30 cm sable B 45 cm sable A	100% sable B
11.06.2013	13,700	1,650	0,850	0,001	0,001
24.06.2013	1,800	0,170	0,001	0,001	0,003
19.08.2013	1,400	0,220	0,230	0,001	0,001
16.09.2013	1,900	0,230	0,002	0,001	0,001
14.10.2013	4,600	n.d.	0,105	0,002	0,001
18.11.2013	1,200	0,100	0,002	0,001	0,001

* Depuis le 4 septembre 2013; avant cela: 80 cm de sable A

Tab. 4 Valeurs de turbidité à l'entrée et à la sortie du second filtre lente de l'installation pilote
Trübungswerte im Ein- und Auslauf des zweiten Langsandsfilters der Pilotanlage

montrent un abattement très performant de la turbidité avec des valeurs dans l'eau traitée inférieures à 1,0 FTU.

A la sortie des filtres lents contenant un média filtrant optimisé, (sable B, filtres 3 et 4), des turbidités très basses (< 0,1 FTU) ont été observées, démontrant l'effet positif de ces médias filtrants sur la rétention des particules dans le filtre. Des effets similaires des médias filtrants optimisés ont été observés sur la rétention des bactéries (*E. coli* et entérocoques) dans les filtres. En fait, la rétention physique des particules (p.ex. limons et

argiles) et des microorganismes (bactéries, virus et protozoaires) dans un filtre lent dépend de conditions similaires puisque les microorganismes peuvent être également considérés comme des particules. Aussi, les particules minérales et les microorganismes possèdent des caractéristiques similaires quant à leur charge superficielle. En effet, à des pH caractéristiques d'eaux naturelles, ces substances possèdent des charges superficielles négatives [20-23].

Sachant que la filtration lente ne fait pas intervenir de coagulants, qui sont de

nature à neutraliser les charges négatives des particules à retenir, les charges superficielles des médias filtrants utilisés dans un filtre lent ont une importance prépondérante quant à leur capacité de retenir les particules et les microorganismes. Différents tests et optimisations sont actuellement en cours dans le filtre test afin d'optimiser ces paramètres. L'objectif principal est donc l'amélioration de la capacité de rétention des microorganismes (et des particules) dans les filtres lents.

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Le kls®filter est un système de traitement d'eau adapté, simple et robuste pour la production d'eau potable dans des régions excentrées en Suisse. Son fonctionnement sans électricité et sans produit chimique du système lui donne un caractère durable et parfaitement adapté aux défis énergétiques auxquels notre société actuelle est confrontée. Les différentes optimisations récemment réalisées à l'aide d'un filtre test ont permis d'augmenter sensiblement la performance du système (microbiologie et turbidité), particulièrement pendant la période sensible de mise en service (durée de maturation biologique du système).

Le kls®filter permet de traiter les deux principaux problèmes des petites sources en Suisse: la turbidité et la microbiologie. Le filtre permet d'éliminer la turbidité en dessous de 0,5 FTU en permanence et indépendamment de la turbidité de l'eau brute. La performance microbiologique est de 99-99,9% d'élimination pour *E. coli* et entérocoques pour un filtre biologiquement mature (Schmutzdecke développée) et peut être augmentée en utilisant un média filtrant optimisé du point de vue de sa charge superficielle.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Huisman, L.; Wood, W.E. (1974): *Slow Sand Filtration*. WHO, Geneva
- [2] Wegelin, M. (1996): *Surface Water Treatment by Roughing Filters*. SANDEC report No 2/96, Dübendorf
- [3] Grombach, P. et al. (2000): *Handbuch der Wasserversorgungstechnik (3. Auflage)*. Oldenbourg Industrieverlag GmbH, München
- [4] Bellamy, W.D. et al. (1985): *Removing Giardia cysts with slow sand filtration*. Journal AWWA 77: 52-60
- [5] Galvis, G.; Latorre, J.; Visscher, J.T. (1998): *Multi-Stage Filtration: an innovative water treatment technology*. IRC, International Water and Sanitation Centre, The Hague, Netherlands and CINARA, Cali, Colombia

- [6] Hijnen, W.A.M. et al. (2004): Elimination of viruses, bacteria and protozoan oocysts by slow sand filtration. *Wat. Sci. Technol.* 50: 147-154
- [7] Hijnen, W.A.M. et al. (2007): Removal and fate of *Cryptosporidium parvum*, *Clostridium perfringens* and a small-sized centric diatoms (*Stephanodiscus hantzschii*) in slow sand filters, *Water Res.* 41: 2151-2162
- [8] Zimmermann U. (2000): Die Langsandsandfiltration, altbewährt und modern einsetzbar. *gwa* 2000/1: 45
- [9] Riesenberg, F. et al. (1995): Slow sand filters for a small water system. *Journal AWWA* 87: 48-56
- [10] Gimbel, R.; Graham, N.J.D.; Collins, M.R. (eds) (2006): *Recent Progress in Slow Sand and Alternative Biofiltration Processes*. IWA Publishing, London
- [11] Sobsey M. et al. (2008): Point of Use Household Drinking Water Filtration: A Practical, Effective Solution for Providing Sustained Access to Safe Drinking Water in the Developing World. *Environ. Sci. & Technol.* 42: 4261-4267
- [12] Cleasby, J.L. (1991): Source Water Quality and Pretreatment Options for Slow Sand Filters. In: *Slow Sand Filtration*, G.S. Logsdon, (Ed.), ASCE, New York
- [13] Boller M. (1993): Filter Mechanisms in Roughing Filters. *Journal of Water Supply Research and Technology - Aqua* 42: 174-185
- [14] Edzwald, J.K. (Ed.) (2011): *Water Quality and Treatment: A Handbook of Drinking Water* (6th edition). AWWA, USA
- [15] Petry-Hansen, H. (2005): *Bakterielle Diversität von Biofilmen in Langsandsandfiltern*. PhD-Dissertation, Universität Duisburg-Essen
- [16] Wasserversorgung Zürich (2000): *Zusammenstellung bakteriologischer Untersuchungen Quellwasser-Minifilter*. Unveröffentlichte Resultate
- [17] Karschunke K. (2005): *Nutzung der Eisenkorrosion zur Entfernung von Arsen aus Trinkwasser*. PhD-Dissertation, Technischen Universität Berlin
- [18] Cleary S.A. et al. (2004): Treatment of a Variable Turbidity Surface Water with Multistage Slow Sand Filtration. *Proceedings of AWWA WQTC*, San Antonio, TX, USA
- [19] Weber-Shirk, M.L.; Chan, K.L. (2007): The role of aluminum in slow sand filtration. *Water Res.* 41: 1350-1354
- [20] Truesdail, S. E. et al. (1998): Analysis of Bacterial Deposition on Metal (Hydro)oxide-Coated Sand Filter Media. *Journal of Colloid and Interface Science* 203: 369-37
- [21] Elimelech, M. et al. (2000): Relative Insignificance of Mineral Grain Zeta Potential to Colloid Transport in Geochemically Heterogeneous Porous Media. *Environ. Sci. Technol.* 34: 2143-214
- [22] You, Y. et al. (2005): Removal and Inactivation of Waterborne Viruses using Zerovalent Iron. *Environ. Sci. Technol.* 39: 9263-9269
- [23] Sukdeb, P. et al. (2006): Removal of *E. coli* from Water Using Surface-Modified Activated Carbon Filter Media and its Performance over an Extended Use. *Environ. Sci. Technol.* 40: 6091-6097



Gas- und Wasserversorgung

Umfangreiches Sortiment und modernste Logistik. Rohre, Formteile, Armaturen und Hydranten, Rohrverbindungen und Problemlösungen – wann immer es um Materialien

für die Gas- und Wasserversorgung geht, bei Debrunner Acifer sind Sie an der richtigen Quelle.

Überall in Ihrer Nähe.

Debrunner Acifer

klöckner & co multi metal distribution

www.d-a.ch

