

Grundwasseranreicherungsanlagen im Hessischen Ried – Leistungsvermögen und Rehabilitation

Versickerung ■ Infiltrationsorgane unterliegen wie Brunnen Alterungserscheinungen, die häufig über Wochen oder Jahre zu einer fortschreitenden Kolmation führen (Verringerung des nutzbaren Porenvolumens eines Filtermediums durch Ablagerungen). Regenerierungsmaßnahmen verursachen bauartbedingt stark differierende Kosten, die unter Umständen betriebswirtschaftlich nicht vertretbar sind. Zur Identifizierung der Prozesse und Faktoren, die eine Kolmation beeinflussen, wurden in den Grundwasseranreicherungsanlagen im Hessischen Ried In-situ-Langzeitversuche durchgeführt.

Zur Sicherstellung der Trinkwasserversorgung von rund zwei Millionen Einwohnern in der Metropolregion Rhein-Main werden seit 1989 im Zustrom der Gewinnungsanlagen der Hessenwasser GmbH & Co. KG und des Wasserverbandes Riedgruppe Ost Anlagen verschiedener Bauart zur künstlichen Grundwasseranreicherung durch den Wasserverband Hessisches Ried betrieben. Die Grundwasseranreicherung erfolgt mit aufbereitetem Oberflächenwasser, das in chemischer Hinsicht den Anforderungen der Trinkwasserverordnung entspricht. Sie ist zentraler Bestandteil bei der Grundwasserbewirtschaftung im Hessischen Ried. Ausführlich wurden die Grundlagen des Infiltrationsregimes (Anlagenplanung, -steuerung und Mengenkonzption) in der bbr-Ausgabe von Januar 2011 behandelt [1].

Sickerschlitzgräben (SSG) werden im Hessischen Ried seit 1986 betrieben. In den Jahren 1996 bis 1998 wurden über 170 Kiesbohrlöcher (KBL) niedergebracht und in Betrieb genommen. Diese auf den Flächenverbrauch im Wald optimierten Infiltrationsorgane bilden das Rückgrat der Grundwasseranreicherung im Hessischen Ried. Als Kiesbohrloch wird eine großkalibrige mit Kies verfüllte Einzelbohrung DN 1500 mit einer Tiefe von sechs bzw. neun Metern bezeichnet. Zum Schutz vor Verunreinigungen wurde oberhalb der Kies-schicht eine Sandauflage (Mächtigkeit



Abb. 1 Oberflächenkolmation in einem Kiesbohrloch

20 cm) eingebaut. Fünf bzw. sieben Kiesbohrlöcher bilden ein Infiltrationsorgan bzw. eine Kiesbohrlochgruppe (KBL-Gruppe). Die rechnerische Leistungsfähigkeit entspricht der eines Sickerschlitzgrabens. Bereits nach wenigen Betriebsjahren weist diese Bauform bei hoher Beaufschlagung deutliche Leistungsrückgänge auf, die beim Betrieb eines Sickerschlitzgrabens mit gleicher Nennleistung nicht beobachtet werden. Die zur Aufrechterhaltung der Infiltrationskapazität notwendigen Regenerierungsmaßnahmen erfordern für die hohe Anzahl der Kiesbohrlöcher einen erheblichen Betriebsaufwand.

Erstmals wurden die Kiesbohrlöcher in 2003 über einen längeren Zeitraum mit den veranschlagten Maximalmengen

beaufschlagt, mit dem Ergebnis, dass häufige Ertüchtigungsmaßnahmen (Materialaustausch) zur Aufrechterhaltung der Leistungsfähigkeit notwendig waren. Eine Regenerierung wie im Brunnenbetrieb kann bei den Kiesbohrlöchern nicht erfolgen. Als Regenerierung wird hier der maschinelle Austausch der Sandauflage bezeichnet. Bei hohen Infiltrationsleistungen erfolgte der Austausch zwei- bis dreimal pro Jahr. Die Regenerierungskosten für den Infiltrationsanlagentyp Kiesbohrloch beliefen sich im Hessischen Ried pro Jahr auf 60.000 bis 180.000 Euro. Ca. 85 % der Regenerierungskosten entfallen dabei auf Personalkosten.

Im Jahr 2008 startete ein Langzeitversuch zur Ermittlung der die Kol-

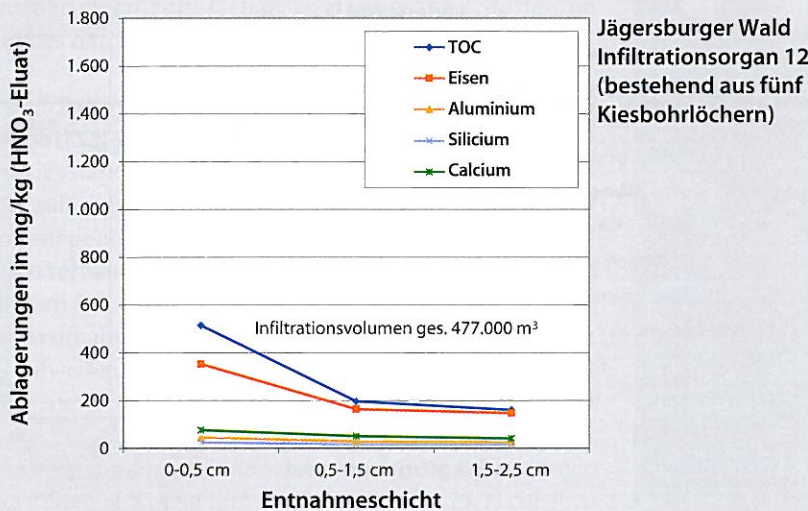
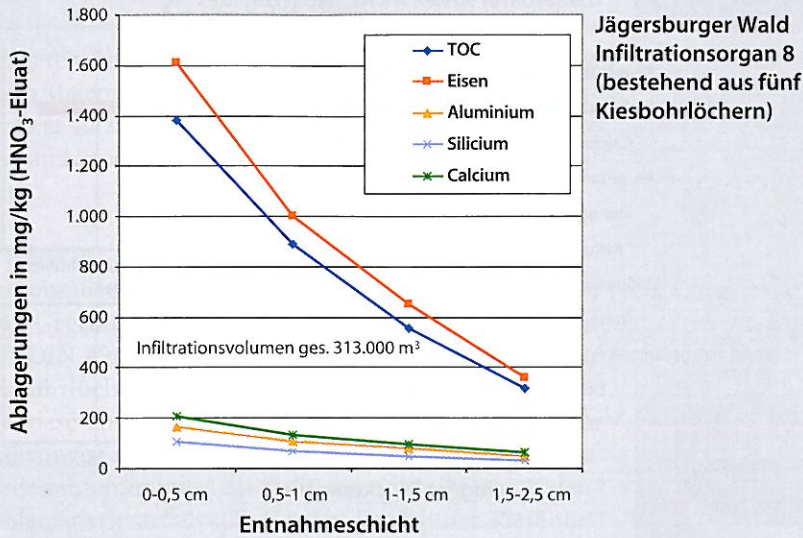


Abb. 2 Tiefenorientierte Untersuchung von Kolmationsschichten am Beispiel von zwei Infiltrationsorganen

mation beeinflussenden Faktoren an ausgewählten Infiltrationsorganen verschiedener Bauarten im Hessischen Ried. Die Untersuchungen erstreckten sich auf die Ermittlung der das Infiltrationsvermögen prägenden hydraulischen Kennwerten, die Analyse physikalischer, chemischer und mikrobiologischer Parameter in den Kiesbohrlöchern, des kolatierten Materials, des zugeführten Infiltrationswassers sowie den Einfluss möglicher Inkrustationen in den Transportleitungen. Eine weitergehende Charakterisierung des eingesetzten Filterkieses und die Bewertung des Wiederverkeimungspotenzials des Infiltrationswassers schlossen die Bestandsaufnahme ab. Darüber hinaus wurden an einem Standort die vorhandenen Kiesbohr-

löcher überbohrt und als Schluckbrunnen ausgebaut. Im Rahmen dieses Ausbaus wurden in zwei von vier Brunnen Glaskugeln, die im Brunnenbau bereits Erfolg versprechend verwendet wurden, als Filtermaterial für die Infiltration eingesetzt [2]. Wesentliche Ergebnisse für den technischen Betrieb der Infiltrationsanlagen werden im Weiteren dargestellt.

Insgesamt wurden siebzehn Kiesbohrlöcher und ein Sickerschlitzgraben an verschiedenen Standorten über mehrere Infiltrationszyklen beobachtet. Aus den Kiesbohrlöchern wurde in Abhängigkeit von der tatsächlichen Leistungskapazität der großkalibrigen Einzelbohrungen Kiesproben in Intervallen entnommen. Die Ergebnisse aus den

Infiltrationszyklen (max.ein Jahr) flossen in Betriebs- und Untersuchungsstrategien ein.

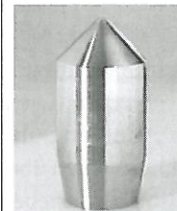
Einflussgrößen auf den Infiltrationsprozess

Die Infiltrationsleistung wird im Allgemeinen durch die Standortverhältnisse, den Ausbau, die Bewirtschaftung, die Grenzflächenproblematik, die Beschaffenheit und die jahreszeitlich variierende Temperatur des zu infiltrierenden Wassers beeinflusst. Die hydraulischen Verhältnisse an den Kontaktflächen zur Sand-/Kiesfilteroberfläche im Einlaufbereich des Kiesbohrloches, zwischen Filterkiesschüttung und Grundwasserleiter und der Grundwasserflurabstand beeinflussen die Infiltrationskapazität zusätzlich.

Kolmationen treten hier vorzugsweise in den Schüttungen nahe der Einspeisestelle auf. Sie sind gekennzeichnet durch Auflagerung von Feinstpartikeln in Infiltrationsrichtung, in einer Ummantelung der primären Kiesstruktur und dem Verschluss der Porenräume durch Brückenbildung zwischen dem Schüttgut. Die Ablagerungen können auf mineralischer und organischer Herkunft basieren und mikrobiologisch induziert sein. Begünstigt wird die Akkumulation durch Unterkorn, Abrieb und erhöhte Filtergeschwindigkeit. ▶

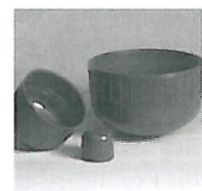
Sondier-spitzen

- DPH (SRS 15)



Boden-kappen

- von DN 50 – DN 200
- Material PP



Verschluss-kappen

- Material PA 6
- versch. Größen
- 2" – 6"



Michael Colshorn
Neuffenstraße 78
D 73240 Wendlingen
Telefon:
07024/929242
Telefax:
07024/929244
www.m-colshorn.de



Filtergeschwindigkeit in verschiedenen Infiltrationsorganen

Die für den Einsatz in den Waldgebieten konzipierten Kiesbohrlöcher weisen gegenüber den Sickerschlitzgräben konzeptionell bedingt eine geringere Filteroberfläche (KBL-Gruppe 13 m² bzw. 18 m²; SSG 75 m² bzw. 100 m²) auf. Bei gleicher Infiltrationsleistung (Q_{inf} 100 m³/h) ist daher in den Kiesbohrlöchern eine deutlich höhere Filtergeschwindigkeit erforderlich. Unter Maximallast werden in den Kiesbohrlöchern Filtergeschwindigkeiten von 8 m/h, in den Sickerschlitzgräben von 1,3 m/h erreicht. Im Mittel werden die Kiesbohrlöcher mit einer Filtergeschwindigkeit von ca. 3 m/h und die Sickerschlitzgräben mit rund 0,5 m/h betrieben. Dabei ist zu beachten, dass die erforderlichen Filtergeschwindigkeiten vom Entnahmeregime der Gewinnungsanlagen und den behördlich geforderten Grundwasserständen unmittelbar abhängig sind.

Nach Inbetriebnahme regenerierter Kiesbohrlöcher verbleibt die Infiltrationsleistung über einen längeren Betriebszeitraum auf einem hohen Niveau. Nach ca. einem halben Jahr werden die ersten Kolmationserscheinungen erkennbar an dunkelbraunen Ablagerungen auf der Oberfläche der Sandschicht (Abb. 1).

Schichtdifferenzierte Untersuchungen ergaben eine enge Begrenzung der abgelagerten Stoffe in den oberen zwei Zentimetern. Mit dem Einsetzen der Kolmationsphase kann eine Massenzunahme der abgelagerten Hauptbestandteile Eisen, TOC (Total Organic Carbon), Aluminium, Silizium und Calcium nachgewiesen werden. Diese korrelieren mit der Abnahme der Filtergeschwindigkeit und können über eine Exponentialfunktion beschrieben werden. Für weitere Stoffe, beispielweise Gesamt-Phosphat, konnte keine Korrelation nachgewiesen werden.

Ein Vergleich verschiedener Infiltrationsorgane miteinander zeigt, dass die Gesamtmasse der abgelagerten Stoffe nicht vom Volumen des infiltrierten Wassers abhängig ist. **Abbildung 2** verdeutlicht, dass die abgelagerte Stoffmasse auf der Sandauflage des Organs 12 (Infil-

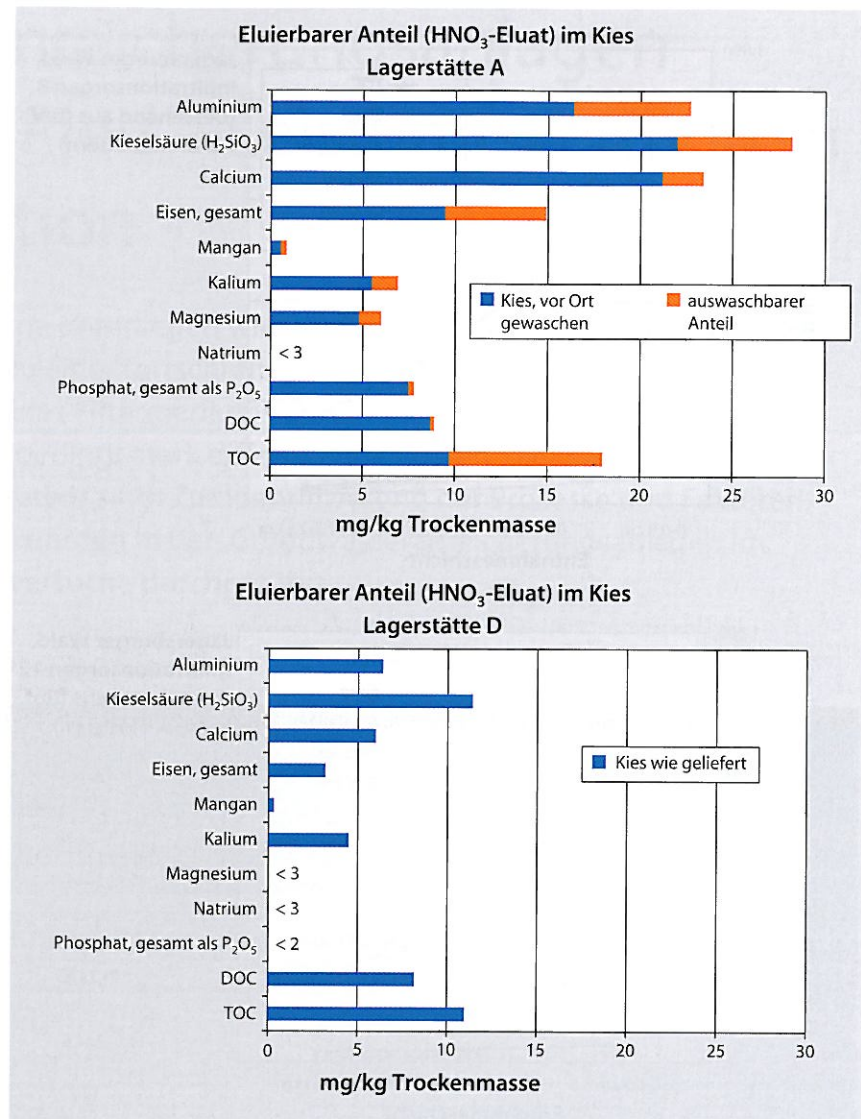


Abb. 3 Anteile eluierbarer Stoffe in Filterkiesen verschiedener Lagerstätten (HNO₃-Eluat, pH 2)

trationsvolumen von 478.000 m³) nur 30 % der des Organs 8 (Infiltrationsvolumen von 313.000 m³) entspricht.

Im Allgemeinen weisen Kiesbohrlöcher bereits nach einer Beaufschlagung von 20.000 m³/m² bis 30.000 m³/m² erste Kolmationserscheinungen auf. An Sickerschlitzgräben am gleichen Standort wurden bisher auch bei mehr als 55.000 m³/m² keine Anzeichen für eine Kolmation nachgewiesen. Hypothesen, die diesen Sachverhalt erklären könnten, werden aktuell in Pilotanlagen geprüft.

Anforderung an Filterkiese für Kiesbohrlöcher

Häufig wird zur Bewertung von chemischen und mikrobiologischen Prozessen, die bei der Kolmation in Infiltra-

tionsorganen stattfinden, nur die Qualität des Infiltrationswassers betrachtet. Verunreinigungen des Kiesel, die in Abhängigkeit von den Redoxbedingungen ebenfalls eine Rolle spielen können, werden vernachlässigt. Die ab 1996 in Betrieb genommenen großkalibrigen Einzelbohrungen wurden mit Kies verfüllt, der eluierbare organische Verbindungen (TOC, DOC) und anorganische Stoffe (z. B. Eisen-(II), Phosphat) enthielt, die als Substrat für Mikroorganismen dienen können.

Im Rahmen der Optimierung der Regenerierungsmaßnahmen wurden fünf Kiese ausgewählter Lagerstätten untersucht. Einige Kiese enthielten hohe Anteile an eluierbaren Verunreinigungen. Wie in **Abbildung 3** dargestellt, brachte die dem Verbau vorgeschaltete Kies-

wäsche zwar einen gewissen Erfolg, ein anderer Kies (Lagerstätte D) hatte bereits im ungewaschenen Zustand einen geringeren Anteil an Verunreinigungen als die bisher verbauten Materialien im gewaschenen Zustand. Bei nachfolgenden Regenerationsmaßnahmen wurden auszutauschende Kiese und Sande sukzessive durch besser geeignetes Material ersetzt.

Nach DVGW-Arbeitsblatt W 126 sind zur Verfüllung von Versickerungsbecken Sande nach DIN EN 12904 zu verwenden [3, 4]. Gegenüber den im Brunnenbau verwendeten Kiesen nach DIN 4924 bestehen für die im Einsatz befindlichen Kiesbohrlöcher deutlich höhere Anforderungen an die Filterkiese und -sande [5]. Nach den bisher gesammelten Erfahrungen sind die in der DIN EN 12904 festgelegten Mindestanforderungen als nicht ausreichend zu bewerten. Problematisch stellen sich für den Betrieb der Kiesbohrlöcher die mit Inkrafttreten der DIN EN 12904 entfallenen Anforderungen zum Gehalt an organischen Stoffen im Filterkies dar.

Zusätzlich ist zu beachten, dass die Infiltrationsleistungen der Kiesbohrlöcher durch Unterkorn und Abrieb im verbauten Filterkies stark mit beeinflusst werden. Nach DIN EN 12904 ist der zulässige Masseanteil an Unter- und Überkorn von der Korngruppe abhängig. In den Kiesbohrlöchern wurden Korngrößen verbaut, für die ein Masseanteil von 10 % Unter- und Oberkorn zulässig ist. Der dem Filterkies überlagerte Filtersand darf maximal einen Masseanteil an Ober- und Unterkorn von 5 % aufweisen. Zur Reduzierung von Feinanteilen wird das Filtermaterial vor dem Verbau gewaschen.

Der Anteil von Fremdmaterialien (kein Quarz) ist von den Lagerstätten abhängig und erreicht zum Teil 20 % der Probenmasse. Mit Eisenoxid überzogene Feldspäte und Schichtsilikate im Ausgangsmaterial beeinflussen neben organischen Inhaltsstoffen und dem spezifischen Masseanteil an Ober- und Unterkorn zusätzlich die Infiltrationsleistung in den Kiesbohrlöchern.

Änderungen der Einlaufcharakteristik

In den Kiesbohrlöchern erfolgt der Zulauf über ein geschlitztes Kunststoffrohr oberhalb der Sandoberfläche. Diese Zuführungsart hat durch die entstehenden Turbulenzen im freien Fall, ähnlich einer Belüftung, eine Zunahme des Sauerstoffgehaltes im Wasser bis hin zur Übersättigung zur Folge. In der Sandauflage bilden sich feine Gasblasen, die zu einer Verringerung des Porenvolumens führen. Die unterschiedlichen Strömungsverhältnisse auf den Sandoberflächen zeigten, dass in Bereichen turbulenter Strömung keine Ablagerungen vorhanden waren.

Um einer Reduzierung des Porenvolumens entgegenzuwirken und den positiven Effekt der turbulenten Strömungen zu nutzen, wurde die Einlaufcharakteristik verändert. Dies erfolgte durch den Einbau eines in Form einer Schnecke verlegten perforierten Kunststoffrohrs (Einlaufschnecke). Die Einlaufschnecke wurde mit einer 20 cm mächtigen Sandschicht überdeckt. ▶

Qualität lohnt sich!



GRUNDFOS X

SQ

Das Original

Grundfos SQ 3-2
Tankgutschein-Förderung
Aktionszeitraum vom
15.04.2011 bis 31.07.2011.



Grundfos SQ – Das Original

Der Weg zum Fachgroßhandel lohnt sich für Brunnenbauer zur Zeit besonders – jetzt SQ 3-2 aus dem Frühjahrspaket kaufen und Tankgutschein kassieren. Das Original macht sich bezahlt.

Während des Versuchs wurden die wesentlichen hydraulischen Parameter wie Überstau, Filterwiderstände in verschiedenen Tiefen und Grundwasserstände im Zu- und Abstrom kontinuierlich aufgezeichnet. Entgegen den Erwartungen setzte die Kolmation unabhängig von der Zuführungsart (Einlaufschnecke oder ursprüngliche Einlaufcharakteristik) im gleichen Zeitfenster ein.

Nach schichtenspezifischer Freilegung der Einlaufschnecke konnten vom flexiblen Rohr seitlich und nach unten gerichtet wellenförmige Kolmationsbereiche festgestellt werden (Abb. 4). Nach oben zeichnet sich der gewünschte Effekt durch Ausspülungen von Feinmaterial aus. Deutlich erkennbar war in den umgebauten Kiesbohrlöchern die Lage der Einlaufschnecke trotz der vorhandenen Sandüberlage. Vom flexiblen Rohr nach oben gerichtet betrug die lockere Lagerung der Sandschicht bis zur Oberfläche ca. 20 cm. Das dort aufsteigende Wasser wurde über die ungestörte Oberfläche des Organs reinfiltriert und hinterließ die übliche zwei Zentimeter starke Kolmationsschicht auf der Sandoberfläche.

Horizontal und vertikal nach unten gerichtet beschränkte sich die Wirkung der Turbulenzen auf bis zu zwei Zentimeter um das flexible Rohr. Die wellenförmige Kolmationslinie im Nahbereich des Rohres ist auf lokal herrschende hohe Strömungsgeschwindigkeiten im Bereich der Schlitze zurückzuführen. Diese verhindern zwar die Kolmation an der Grenzfläche Rohr/Sand, führen aber durch Ausschwemmung und Wiederablagerung des Unterkorns zur Ausbildung einer neuen Grenzfläche. Im Rahmen zusätzlich durchgeführter Filterversuche mit verschiedenen Filtergeschwindigkeiten konnten die Ergebnisse validiert werden. **Abbildung 5** zeigt die Ausbildung eines Kolmationshorizontes im Rahmen der Filterversuche. Ähnliche Effekte wurden von Bert-Rik de Zwart bei der Untersuchung von Kolmationsprozessen in der Umgebung von Entnahmebrunnen beschrieben [6].

Hydraulischer Gradient und Viskosität

Bei dauerhaftem Betrieb der Infiltration



Abb. 4 Aufsicht auf das Kolmationsmuster im Nahbereich der Einlaufschnecke



Abb. 5 Ausbildung des Kolmationshorizontes in Filterversuchen

verringern sich die mittleren Flurabstände im engeren Umfeld der Infiltrationsorgane. Die Verringerungen des hydraulischen Gradienten zwischen der ungespannten Grundwasser Oberfläche und dem Infiltrationsorgan führt zu einer Reduzierung des Infiltrationsvermögens. Ein Anstieg des Grundwasserspiegels von ca. 2,5 m auf 2 m uGOK hatte eine Leistungsreduzierung von rd. 20 % zur Folge. Zur Wiederherstellung des hydraulischen Gradienten wurde die Niveauregulierung im Schachtbauwerk um 1,5 m erhöht und das Infiltrationswasser im Kiesbohrloch um diesen Betrag eingestaut. Im Anschluss wurde die Infiltrationsleistung wieder erreicht.

In den Sommermonaten wird die hydraulisch bedingte Leistungsreduzierung

durch die geringere Viskosität des infiltrierten Wassers (max. 28 °C) kompensiert; mit der Folge, dass die Infiltrationsleistung in den Wintermonaten (min. 5 °C Wassertemperatur) um bis zu 40 % reduziert ist. Auch nach einer erneuten Regenerierung der Kiesbohrlöcher in den Wintermonaten hat die höhere Viskosität dazu geführt, dass die geplante Sollleistung deutlich unterschritten wurde. Eine Kompensation des Defizits konnte nur durch den Betrieb der Anlage im Überstau erreicht werden.

Zusammenfassung und Ausblick

Der Einsatz von Infiltrationsorganen im Hessischen Ried ist obgleich ihres nachweisbaren ökologischen Nutzens kosten- und arbeitsintensiv. Ein technisch hochkomplexes Förder- und

Infiltrationsregime ist zur wasserwirtschaftlichen Steuerung der behördlich festgeschriebenen Grundwasserspannbreite unabdingbar. Probleme mit nachlassenden Infiltrationsleistungen treten bei den Kiesbohrlöchern auf. Die Flächenoptimierung gegenüber den Sickerschlitzgräben geht dabei zu Lasten der Leistungsfähigkeit. Im Extremfall führt dies zu Einschränkungen auf das Förderregime.

Die in den Kiesbohrlöchern auftretende Kolmation unterliegt vielfältigen Einflüssen. Um dem Prozess der Kolmation entgegenzuwirken, müssen kritische Filtergeschwindigkeiten unterschritten werden, die zu einer Verlagerung von Unterkorn in den Porenräumen führen. Filtermaterial mit enger Korngrößenverteilung, insbesondere auch Glaskugeln, können zur Minimierung der Verlagerung von Unterkorn beitragen. Neben hydraulischen Aspekten ist im Besonderen auf die Anteile an eluierbaren Verunreinigungen zu achten. Die in der DIN EN 12904 festgelegten Mindestanforderungen für Quarzsande und Quarzkiese sind für den Einsatz in Kiesbohrlöchern als nicht ausreichend zu bewerten. Problematisch stellt sich die in der DIN EN 12904 fehlende Anforderung zum Gehalt organischer Stoffe im Filterkies dar.

Mit dem Verbau eines für den Betrieb der Kiesbohrlöcher besser geeigneten Filtermaterials konnten die Standzeiten erhöht und die Regenerierungsintervalle gestreckt werden. In Verbindung mit dem optimierten Austausch der zur Kolmation neigenden obersten Sandschichten konnten die jährlichen Instandhaltungskosten um ca. 30 % reduziert werden. Die Kompensation des Leistungsrückganges der Kiesbohrlöcher in den Wintermonaten von bis zu 30 % (bezogen auf die Soll-Leistung) konnte durch eine Erhöhung des hydraulischen Gradienten abgepuffert werden.

Ob die notwendigen hohen Beschickungsraten mit den damit verbundenen hohen Strömungsgeschwindigkeiten in den Infiltrationsorganen bereits zu einer Ausbildung von irreversiblen Kolmationszonen im Grenzbereich zum Ge-

birge geführt haben, kann nicht ausgeschlossen werden. Forschungsbedarf besteht in diesen Fragestellungen, wie auch in Fragen zu kritischen Filtergeschwindigkeiten, deren Abhängigkeit vom Filtermaterial und den daraus resultierenden Qualitätsanforderungen an Filtermaterialien für den Einsatz in Infiltrationsorganen.

Basierend auf den Erkenntnissen der durchgeführten Untersuchungen erfolgt eine Bewertung aller im Einsatz befindlichen Infiltrationsorgane als Grundlage für den anstehenden Neubau weiterer Anlagen und die Instandhaltung bestehender Anlagen in den Waldflächen des Hessischen Rieds.

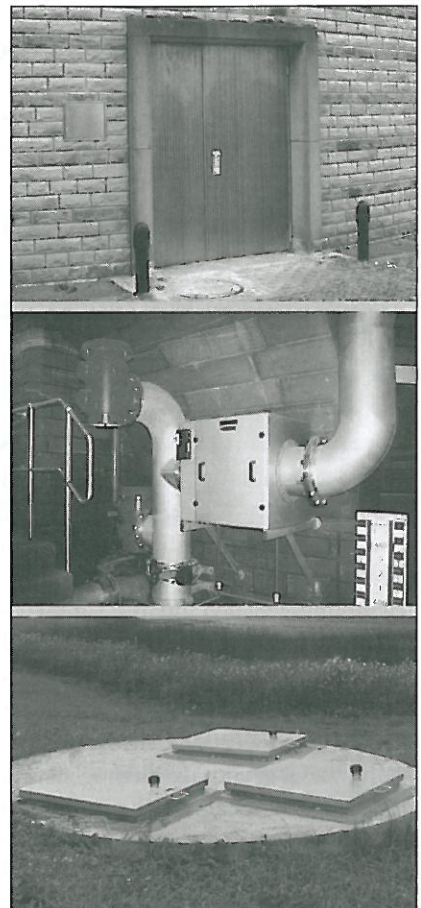
Literatur

[1] Weber, L. & Mikat, H. (2011): Grundwasseranreicherungsanlagen im Hessischen Ried, bbr Heft 01/2011, S. 44-49.
 [2] Treskatis, C. & Hein, C. (2008): Brunnenalterung: Sind Glaskugeln eine Alternative zum Filterkies nach DIN 4924?
 [3] DVGW, Technische Regel, Arbeitsblatt W126 (2007): Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur künstlichen Grundwasseranreicherung für die Trinkwassergewinnung.
 [4] DIN EN 12904 (2005): Produkte für die Aufbereitung von Wasser für den menschlichen Gebrauch – Quarzsand und Quarzkies, Beuth-Verlag, Berlin.
 [5] DIN 4924 (1998): Sande und Kiese für den Brunnenbau – Anforderungen und Prüfungen, Beuth-Verlag, Berlin.
 [6] de Zwart, B. (2007): Investigation of Clogging Processes in Unconsolidated Aquifers near Water Supply Wells.

Abbildungen: Hessenwasser GmbH & Co. KG

Autoren:

Dipl.-Ing. Lilo Weber
 Dr. Hermann Mikat
 Geschäftsbereichsleiter Wasserwirtschaft und Informationstechnologie
 Hessenwasser GmbH & Co. KG
 Taunusstr. 100
 64521 Groß-Gerau/Dornheim
 Tel.: 069 25490-3200
 Fax: 069 25490-7009
 E-Mail: lilo.weber@hessenwasser.de
 hermann.mikat@hessenwasser.de
 Internet: www.hessenwasser.de



**Mit Edelstahl
perfekt
ausgerüstet...**

**... zum hygienischen
Speichern von Trinkwasser**

Die hygienische Qualität von Trinkwasser kann beim Speichern beeinträchtigt werden. Wir haben effektive und wirtschaftliche Lösungen und liefern standardisierte Bauteile, die das verhindern.

info@huber.de
www.huber.de

HUBER
TECHNOLOGY
WASTE WATER Solutions