

Intensiventsandung von Brunnenfiltern mit der Doppelkolbenkammer

Neue Intensiventnahmekammer und -technologie zur Brunnenfilterentsandung erfolgreich getestet und praxistaugliche Werkzeuge entwickelt

Im Beitrag [1] wurden die auf Grundlage numerischer Modellrechnungen entwickelten Werkzeuge „symmetrische Doppelkolbenkammer“ (SDKK) und „Doppelkolbenspaltkammer“ (DKSK) zur Intensiventnahme bei der Aktivierung und Sanierung von Brunnenfiltern vorgestellt. Um die theoretisch postulierte effizientere Wirkung dieser Entnahmekammern gegenüber den sonst üblicherweise verwendeten, mit Manschetten bzw. Scheiben begrenzten Kammern zu überprüfen, wurde ab Mai 2007 die Entwicklung des ersten Prototyps einer SDKK in Angriff genommen. Vorgesehen war ihr Einsatz in einem 1982 errichteten Horizontalfilterbrunnen der Linksniederrheinischen Entwässerungs-Genossenschaft (LINEG) mit sechs 45 m langen Filtersträngen. Diese sind mit Schlitzbrückenfiltern DN 250 in Edelstahl ausgeführt und mittels Preussag-Verfahren mit Kiesummantelung im 470 mm Bohrloch hergestellt worden. Die LINEG hatte auf Grundlage einer Expertise der GCI GmbH zur Technologie und den erzielbaren Wirkungen der SDKK bei Behandlung eines Filterstrangs einem vergleichenden Test von Manschettenkammer (MK) und SDKK bei der Intensiventnahme zugestimmt. Dieser Test wurde am Strang 3 des Horizontalfilterbrunnens Kapellen Mitte 1 in drei Phasen durchgeführt. Dem Test war eine Hochdruckreinigung aller sechs Filterstränge zur Entfernung von Schlamm und groben Ablagerungen in den Filterrohren vorausgegangen. Zuerst wurde der Strang Nr. 3 mittels 1,8 m langer MK (Abb. 1, links) mit 0,3 m Überlappung der Arbeitsabschnitte und 5-facher Kammerförderrate ($15 \text{ m}^3/\text{h}$) bezogen auf die durchschnittliche Strangergiebigkeit für diese Länge entsprechend DVGW-Merkblatt W 119 „Entwickeln von Brunnen durch Entsanden – Anforderungen, Verfahren, Restsandgehalte“ behandelt. Die am Strangende begonnene Entsandung wurde kontinuierlich überwacht und jeder Arbeitsabschnitt erst bei geringerer Sandführung als $1 \text{ ml}/\text{m}^3$ beendet oder wenn die Austragsrate bei doppelt logarithmisch dargestellter Funktion des Sandaustrags über der Abschnittsbearbeitungszeit eine Plateauphase erreichte (Abb. 2 + 3).

Die Analyse des Filterstrangs 3 hatte für den Durchlässigkeitskontrast D des Filterkieses und des Gebirges in Strangabschnitten Werte zwischen 9 und 120 ergeben. Die strömungsmechanische Analyse der Wirkungen einer SDKK von 1,8 m Länge und rund 0,6 m offener Kammerlänge (Abb. 1, rechts) im numerischen Simulationsmodell ergab, dass eine effiziente Wirkung im Bereich der geringen und mittleren D -Werte vom Stranganfang (5,0 m, da am Brunnen schacht Vollrohr) bis etwa 35 m mit Arbeitsabschnitten von 1,8 m Länge ohne Überlappung erzielt wird. Für den hinteren Abschnitt wurden wegen der sehr hohen D -Werte nur ein Versatz der Kammer und damit eine Arbeitsabschnittslänge von 0,9 m empfohlen. Grundlage dieser Einschätzung waren u. a. die beispielhaft in Abbildung 4 dargestellten Profile der Abstandsgeschwindigkeit im Filterkies, längs der Kammer etwa 1 cm vor der Bohrlochwand auf Höhe der Mitte der Dichtungskolben und der Mitte der Kammeröffnung.

Die SDKK wurde für den Einsatz unter Wasser mit Tauchern am horizontalen Fil-

terstrang so konstruiert, dass sie mittels Rollen im Filterrohr leichtgängig bewegt und für den Einsatz genau verortet werden konnte. Zur Herstellung der Dichtungskolben wurden von der Teftorec GmbH auf zylindrische Grundkörper gestülpte Ringzylinder aus Gummi verwendet, die beim Einsatz entsprechend Arbeits- bzw. Transportphase mit Luft unter Druck gesetzt bzw. entlastet wurden. In der zweiten Testphase wurde die 1,8 m lange SDKK nach den oben beschriebenen Vorgaben mit derselben Förderrate von $15 \text{ m}^3/\text{h}$ und mit Einhaltung derselben Abbruchkriterien eingesetzt. In der dritten Testphase kam die SDKK mit auf $30 \text{ m}^3/\text{h}$ erhöhter Kammerförderrate zum Einsatz, um deren Wirkung bei Erhöhung der spezifischen Strangbelastung auf das 10-Fache der Normalförderung zu prüfen (Abb. 4, rechts).

Die Messergebnisse des Sandaustrags in Abbildung 2 bestätigen zunächst, dass der Filterstrang bei seiner Herstellung nicht abschnittsweise entsandet, sondern nur am Schachtbrunnen abgepumpt worden ist.



Abb. 1: Einfache Manschettenkammer (links) und symmetrische Doppelkolbenkammer in der Prototyp I -Version für den Einsatz in Horizontalfilterbrunnen (rechts)

Quelle: links: pigadi GmbH, rechts: Teftorec GmbH

Diese Maßnahme und die rund 25 Betriebsjahre bewirkten vermutlich eine gewisse Entsandung des vorderen Filterstrangabschnitts von 5 bis 25 m, der sich auch durch günstigere Eigenschaften des Grundwasserleiters auszeichnet als der hintere Abschnitt. Insofern wurde zumindest für den hinteren Strangabschnitt in gewissem Umfang erstmalig eine Strangaktivierung vorgenommen. Würde nun die mit der MK erzielte Entsandung vollständig und optimal sein, dürfte im zweiten Arbeitsgang mit gleich langem Kammerwerkzeug und derselben Förderate kein nennenswerter Sandaustrag

mehr stattfinden. Abbildung 3 dokumentiert jedoch das Gegenteil. Längs des brunnennahen ca. 20 m langen Strangabschnittes wurde mittels SDKK noch ein Mal so viel Sand ausgetragen (407 ml) wie zuvor mit der MK (398 ml). Bei den vergleichenden Betrachtungen muss der hintere Abschnitt um 8 m auf den Bereich 25 m bis 42 m verkürzt werden, weil das Strangende nach der ersten Testphase trocken gefallen war. Mit der SDKK wurden in den verbleibenden 17 m Filterstrang nochmals 462 ml Sand entnommen, womit auch dort die effizientere Wirkung der SDKK gegenüber der MK be-

legt ist. Bemerkenswert sind auch die Abbruchbedingungen bei Einsatz der MK in dem noch zu aktivierenden Strangabschnitt von etwa 25 m bis 35 m, wo überwiegend mit dem Kriterium „Plateauphase“ bei einem Feststoffaustrag über 1 ml/m³ abgebrochen werden musste (Abb. 2), während bei Einsatz der SDKK der Grenzwert 1 ml/m³ in 20 von 21 Arbeitsabschnitten erreicht und unterschritten wurde (Abb. 3). Für den hinsichtlich der Anfangsbedingungen eher vergleichbaren vorderen Strangabschnitt von 5 m bis 25 m betrug die reine Pumpzeit bei beiden Anwendungen jeweils rund 6,5 Stunden. Mit diesem Testergebnis ist nachgewiesen, dass die Intensiventnahme mittels SDKK die Poren der Filterrohrumgebung offenbar gleichmäßiger und wirkungsvoller reinigt, als das mit der Manschettenkammer möglich ist und dass die Anwendung der SDKK eine durchgehende Überwachung der technischen Durchführung und zuverlässige Ergebnismessung und Dokumentation gestattet.

Die dritte Testphase mit verdoppelter Kammerförderate bestätigte die theoretisch berechnete Verbesserung der Tiefenwirkung der SDKK bei Erhöhung der Förderate und vergleichsweise ähnlichen Pumpzeiten wie in den Phasen 1 und 2. Unterstellt man berechtigterweise, dass der mit der MK ausgetragene Anteil bei alleinigem Einsatz der SDKK mit gleicher Förderate auch mit ausgetragen worden wäre und vergleicht nun den Sandaustrag von Phase 1 und 2 (entspricht zusammen 100 Prozent) einerseits und Phase 3 andererseits, so wurden mit verdoppelter Förderate nochmals über 140 Prozent zusätzlich ausgetragen. Die über die gesamte Stranglänge signifikant hohe Austragsleistung der dritten Phase mit erhöhter Kammerförderate (Abb. 4, rechts) bestätigt die auf Grundlage von Modellrechnungen eingeschätzte außerordentliche Bedeutung der Kammerförderate für die erzielbare radiale Wirtiefe. Während innerhalb der Kiesschüttung in jedem Fall extrem erhöhte Filtergeschwindigkeiten bei Kammerbetrieb im Vergleich mit Normalbetrieb erzielt werden, sind unmittelbar außerhalb der Bohrlochwand in Abhängigkeit vom Durchlässigkeitskontrast D nur marginale Erhöhungen erreichbar. Die Kammerförderate ist der Erhöhung der Filtergeschwindigkeit linear direkt proportional.

Auf Grundlage dieser Testergebnisse wurden im Auftrag der LINEG auch die weiteren fünf Filterstränge hinsichtlich ihrer Ausbaudaten analysiert, der Einsatz der SDKK hinsichtlich ihrer Wirkung mittels numeri-

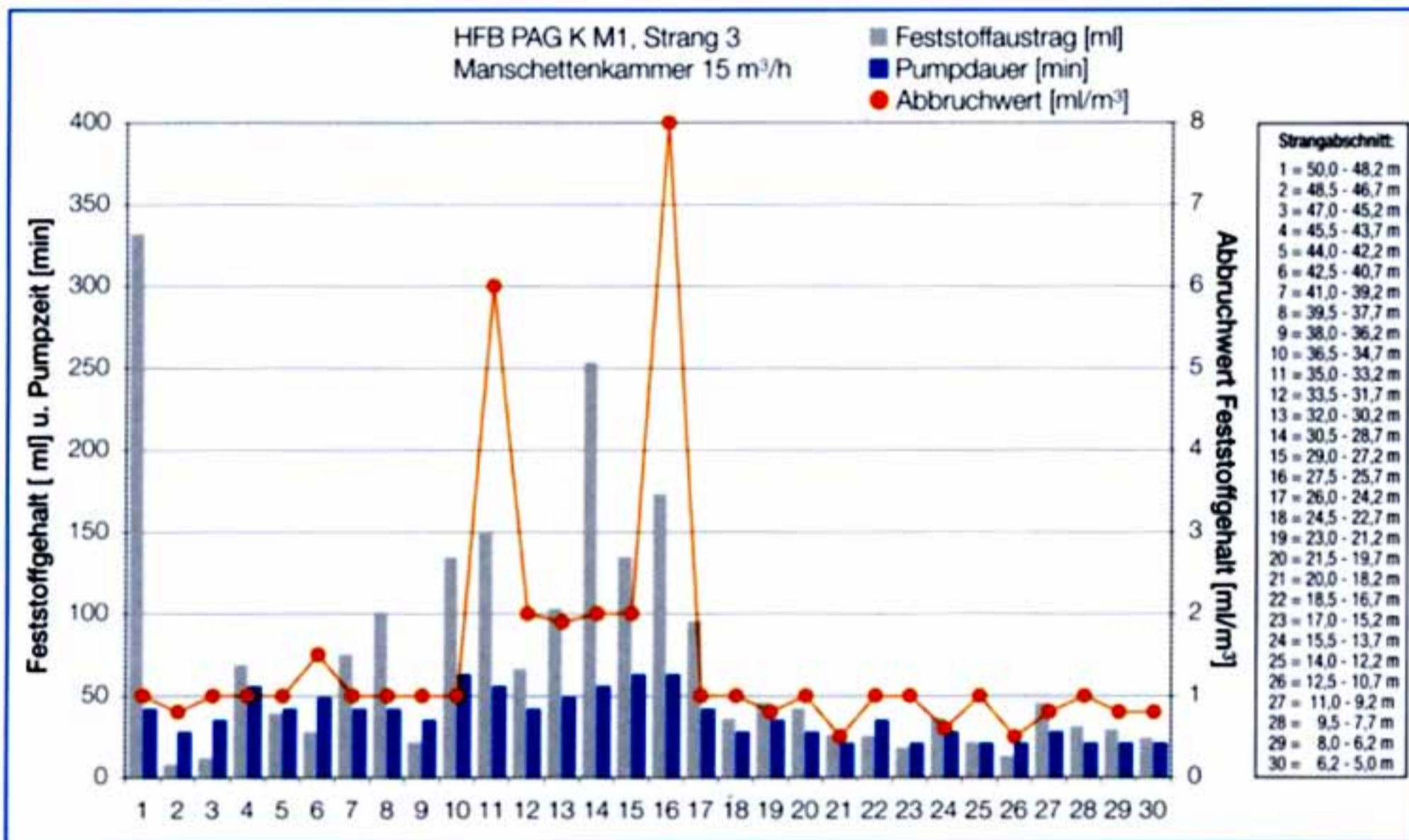


Abb. 2: Abschnittweise gemessene Werte für Pumpzeit, Feststoffaustrag und dessen Abbruchwert beim Test der Manschettenkammer im Strang 3 des Horizontalfilterbrunnens Kapellen Mitte 1

Quelle: pigadi GmbH

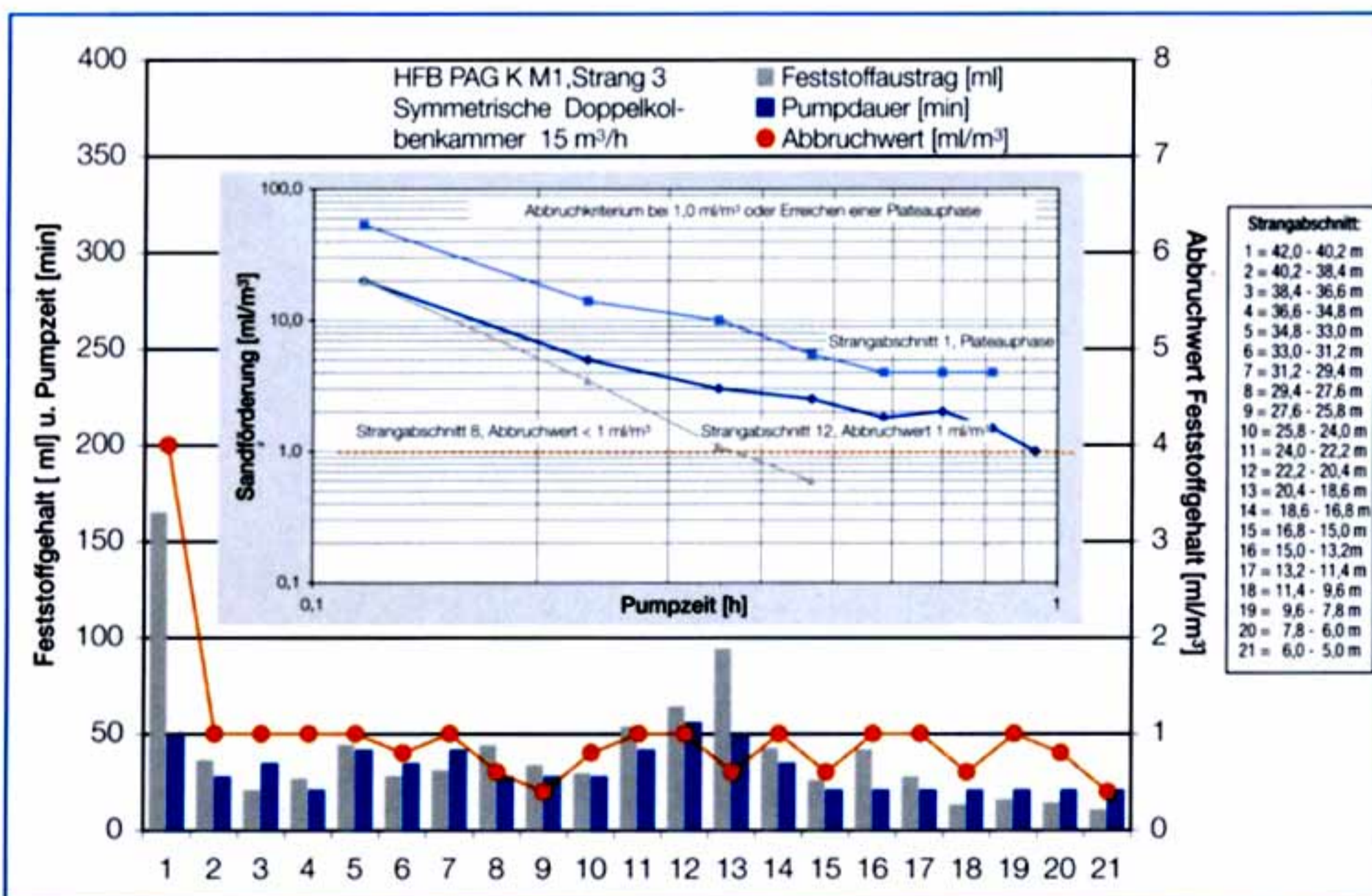


Abb. 3: Abschnittweise gemessene Werte für Pumpzeit, Feststoffaustrag und dessen Abbruchwert beim Test der symmetrischen Doppelkolbenkammer im Strang 3 des Horizontalfilterbrunnens Kapellen Mitte 1 im Anschluss an die Reinigung mittels Manschettenkammer und beispielhaft drei Feststoffaustragsmessungen

Quelle: pigadi GmbH

scher Simulation der Strömungsverhältnisse für neun typische D-Werte zwischen 9 und 120 überprüft und die Technologie für die Filterstränge, betreffend Versatzlänge und Förderraten geplant und erfolgreich durchgeführt. Vor und nach der Intensiventnahme mittels SDKK durchgeführte Flowmetermessungen in den Strängen zeigten, dass Strangabschnitte aktiviert und in ihrer spezifischen Wasseraufnahmefähigkeit verbessert werden konnten. Trotz der technisch anspruchsvollen Unterwasserarbeiten mit dem Tauchunternehmen Gilz kam es an allen sechs Strängen während der von der pigadi GmbH durchgeführten Regenerierarbeiten zu keinerlei Havarien oder Störfällen.

Wirksame Anwendung der symmetrischen Doppelkolbenkammer

Sehr wirksam ist die Anwendung der SDKK, wenn sie jeweils um die Länge eines ihrer Dichtungskolben bzw. der mittleren Kammeröffnung „a“ in Arbeitsabschnitten versetzt wird (Abb. 5). Im Vorwärtmarsch der Kammer wird in Abschnitten der Länge a (Drittel der Baulänge) im ersten Bearbeitungsschritt des Arbeitsabschnittes im Bereich des vorderen Dichtungskolbens eine intensive Durchströmung der Filterkiesschüttung (Zone I) realisiert. Dabei wird auch aus dem vor der Kammer liegenden Ringraum längs des Filterstranges Schmutz in den Arbeitsbereich transportiert und entfernt. Ist das Abbruchkriterium erreicht, wird die Kammer um die Länge „a“ vorgerückt. Im anschließenden zweiten Schritt wird der offene Kammerabschnitt, so weit dies überhaupt möglich ist, im betrachteten Arbeitsbereich eine radiale Tiefenbehandlung außerhalb der Filterkiesschüttung in der Zone II bzw. dem angrenzenden Gebirge in Abhängigkeit des Durchlässigkeitskontrasts D und der Kammerförderrate bewirken. Dabei ist die absolute Strömungsgeschwindigkeit im Filterkiesbereich geringer als im ersten Schritt. Dennoch wird nur durch den zweiten Schritt die Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeit in der Zone II außerhalb der Bohrlochwand überhaupt ermöglicht. Schließlich wird die Kammer nochmals um die Länge a vorgerückt und der hintere Dichtungskolben gelangt in den Arbeitsabschnitt. Dieser gewährleistet nun eine intensive Nachbehandlung des Ringraumes in Zone I, in dem im Schritt zuvor infolge der vergleichsweise geringeren absoluten Leistung möglicherweise Restverschmutzungen, die aus dem angrenzenden Gebirge im zweiten Schritt verlagert worden sind, entfernt werden. Da aus dem rückwärtigen Filterabschnitt hinter der Kammer

Quelle: GCI GmbH

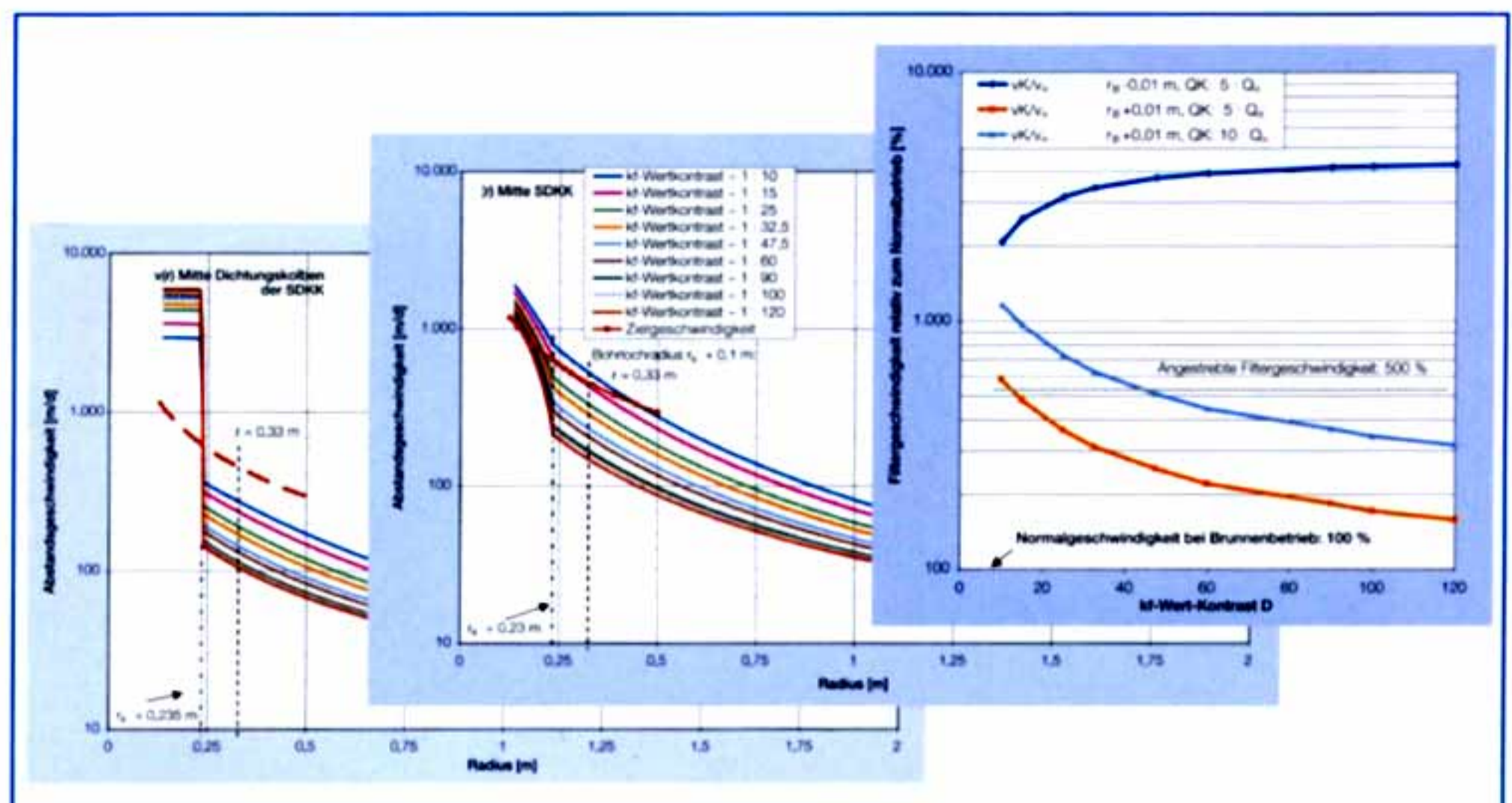


Abb. 4: Strömungsgeschwindigkeiten für verschiedene Durchlässigkeitskontrastwerte in Abhängigkeit von der radialen Entfernung von der Filterachse auf Höhe „Mitte Dichtungskolben“ und „Mitte offene Kammer“ der SDKK sowie erreichbare Filtergeschwindigkeiten in Prozent bezüglich Normalbetrieb 1 cm vor und 1 cm hinter der Bohrlochwand

kein Sand mehr nachgefördert werden kann, ist dieser Schritt schon als „Feinreinigung“ zu bezeichnen, da der hintere Strangbereich zuvor bereits dreistufig gereinigt worden ist.

Test im Vertikalfilterbrunnen

Nach dem Test im Horizontalfilterbrunnen beauftragte die LINEG die pigadi GmbH mit einem weiteren Test der SDKK in dem über 30 m tiefen Vertikalfilterbrunnen „Gestfeld 5“, welcher zur dauerhaften Grundwasserstandsregulierung in Kamp-Lintfort mit 1.000 mm Bohrdurchmesser errichtet, mit Wickeldrahtfilter DN 750 in Stufen von 0,54 m und 16,60 m Länge ausgebaut und 1995 in Betrieb genommen worden war. Der Brunnen war für eine maximale Förderrate von bis zu 180 m³/h vorgesehen, die nach zwölf Betriebsjahren auf rund 80 m³/h gesunken ist, wobei die obere kurze Filterstufe bereits trocken gefallen war. Der Brunnen sollte 2007 in einen akzeptablen Zustand versetzt oder aufgegeben werden, weil die Restleistung nicht mehr den Betriebsanforderungen entsprach. Da der Brunnen neben mechanischer Kolmation wegen der Grundwasserbeschaffenheit auch zur Verockerung neigt, wurde er im Verlauf seiner 12-jährigen Betriebszeit bereits fünf Mal mit verschiedenen Verfahrenskombinationen mit unterschiedlichem Erfolg regeneriert (Abb. 6). Die fünf Regenerierungen vor 2007 zeichnen sich dadurch aus, dass die Reihe der spezifischen Ergiebigkeiten sowohl vor als auch nach den Regenerierungen in den neun Betriebsjahren stetig fällt. Neubauwerte lagen nicht vor. Eine Ausnahme bildet allein die Anwendung des Verfahrens Sprengschocken®

nach sieben Betriebsjahren. Offenbar erfuhr der Brunnen trotz regelmäßiger aufwendiger Regeneriermaßnahmen mittels mechanischer und chemischer Verfahren sowie Niederdruck- und Hochdruckspülungen eine stetig zunehmende Kolmation des Porenraumes, die insbesondere in den vom Brunnenfilter weiter entfernten Bereichen dieses groß dimensionierten Brunnens nur ungenügend beseitigt wurde. Der sehr starke Impulseintrag durch das Sprengschocken® verursachte augenscheinlich eine tiefenwirksame Lockerung des auszutragenden Materials, das mittels einfachen Abpumpens jedoch nicht vollständig ausgetragen worden ist.

Wegen der sehr starken Anlagerungen im Filterbereich und den bekannten Verockerungserscheinungen wurde der Brunnen 2007 nach einer Kamerabefahrung zunächst mechanisch gereinigt und anschließend mit H₂O₂ behandelt. Die Ergebnisse waren äußerst unbefriedigend (Abb. 6). Durch zweimaliges Sprengschocken® mittels Öffnungsladung und Wirkladung sowie jeweils anschließendem Klarpumpen konnte die spezifische Ergiebigkeit von 8,3 auf 13 bzw. 20,9 (m³/h)/m reaktiviert werden. Nach rund vier Wochen Behandlungspause bzw. nach den positiven Ergebnissen der SDKK-Anwendung in 270 m Filtersträngen eines Horizontalfilterbrunnens wurden Filterkies und angrenzende Sedimente des Brunnens „Gestfeld 5“ im fünften Schritt mittels hydropuls® in mehreren Filterfahrten erneut aufgelockert und anschließend mit der SDKK (Abb. 7) abschnittsweise entsprechend Technologie gemäß Abbildung 5 intensiv gerei-

nigt. Für diesen Brunnen berechnete GCI GmbH die Parameter für den SDKK-Einsatz unter Berücksichtigung des gegebenen Brunnenausbaues und der dokumentierten Gebirgsparameter sowie der technischen Möglichkeiten. Von der Tef-torec GmbH wurde die 1,90 m lange SDKK in Gummiblasentechnik (Abb. 7) hergestellt, die wegen der gerundeten Blasen an den Enden nur eine wirksame Länge von 1,50 m mit 0,5 m Länge der zentralen offenen Kammer aufwies, wobei das mittlere Filterstück zwischen den Kolben wegen der Blasenrundungen nur ca. 10 cm lang war (Abb. 7, oben). Die strömungsmechanische Analyse ergab

optimale Kammerförderraten von 80 bis 120 m³/h. Wegen behinderter Wasser-ableitung konnten aber nur 60 bis 80 m³/h realisiert werden. Die Blasen wurden mit Druckluft an die Filterwand gepresst. Zuvor in der Werkstatt mit dem verwendeten Material durchgeführte Anpressversuche zur Prüfung der Dichtwirkung im Wickeldrahtfilter DN 750 ließen eine sehr gute Abdichtung erwarten. Die Kombination der Regenerierschritte mit den jeweils erzielten spezifischen Ergiebigkeiten in Abbildung 6 zeigt, dass durch die abschließende Intensiventnahme mittels SDKK nach zwölf Betriebsjahren eine spezifische Ergiebigkeit erzielt

wurde, die nicht nur über der Leistung nach der ersten Pflegemaßnahme nach zwei Betriebsjahren liegt, sondern die höchste überhaupt gemessene spezifische Brunnenleistung ausweist.

Test des Prototyp II der SDKK

In hydrogeologisch schwieriger Situation, die durch Wechsellagerungen feiner und grober Schichten gekennzeichnet ist, wurde im Jahr 2000 in Rathenow ein rund 40 m tiefer Vertikalfilterbrunnen mittels Trockenbohrung mit Durchmesser 670 mm errichtet. Der Brunnen wurde von 31,50 bis 39,40 m u. GOK mit rund 8 m Wickeldrahtfilter DN 300 in Abschnitten mit Filterschlitzweiten SW 1,75 und 2,0 mm sowie einfacher Kiesschüttung der Körnung 2 bis 3,15 mm und 3,15 bis 5,6 mm ausgebaut. Dieser Brunnen wurde mit einer Manschettenkammer moderat aktiviert und fünf Jahre mit ca. 55 m³/h betrieben. Nach betriebsinduzierter Erhöhung der Lagerungsdichte und relativ starker Kolmation durch Schluff und Feinsand im Filterkies wurde im August 2005 im Rahmen einer sehr aufwendigen Nachentsandung eine spezifische Ergiebigkeit von 16,18 (m³/h)/m erzielt. Diese war bis Februar 2008 bei schrittweise auf 35 bis 20 m³/h reduzierten Förderraten auf 2,14 (m³/h)/m gesunken. Durch Regenerierung mittels SDKK und Impulsverfahren sollte der bestmögliche Zustand des Brunnens erzielt werden.

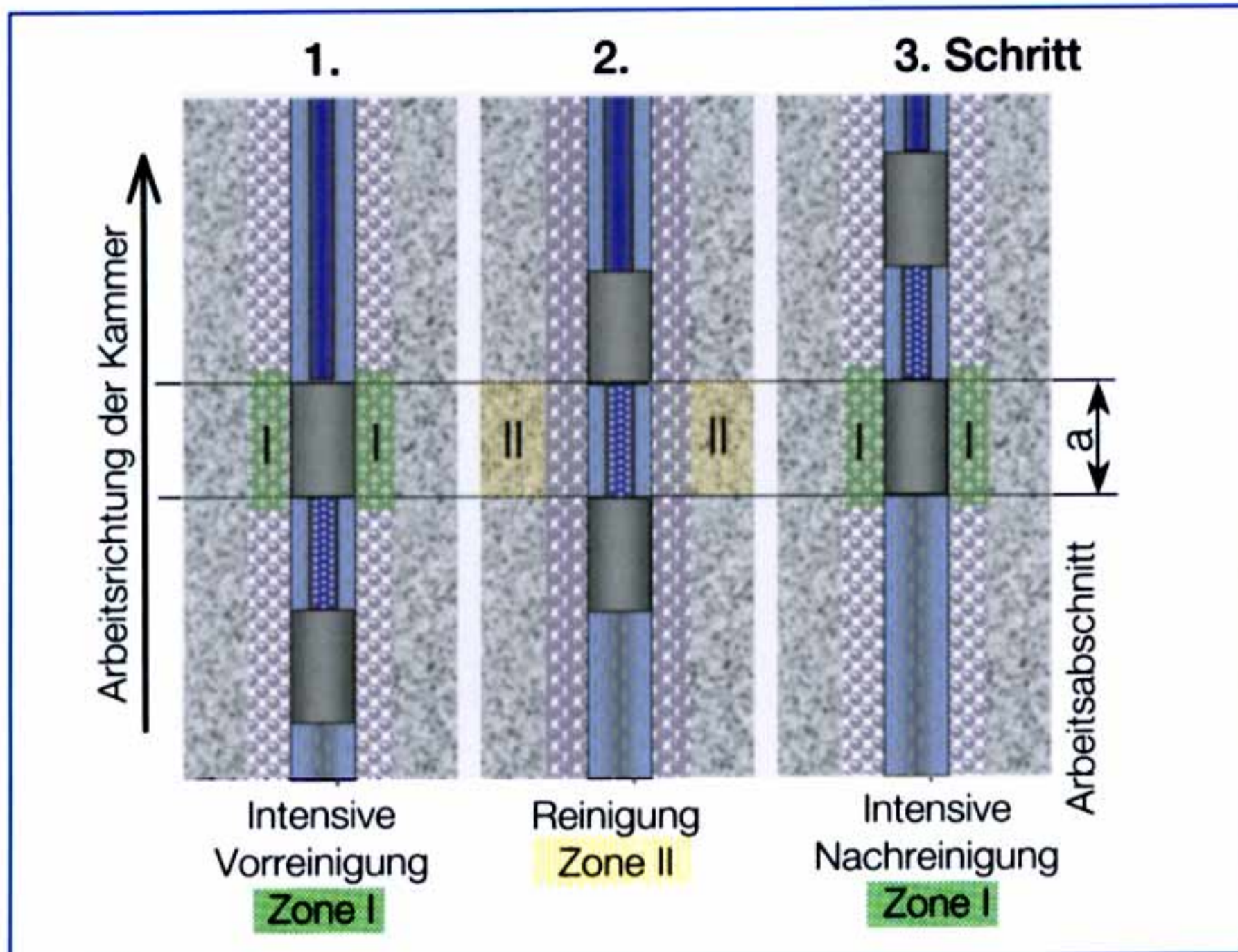


Abb. 5: Arbeitsschritte und Wirkungen bei Anwendung der symmetrischen Doppelkolbenkammer

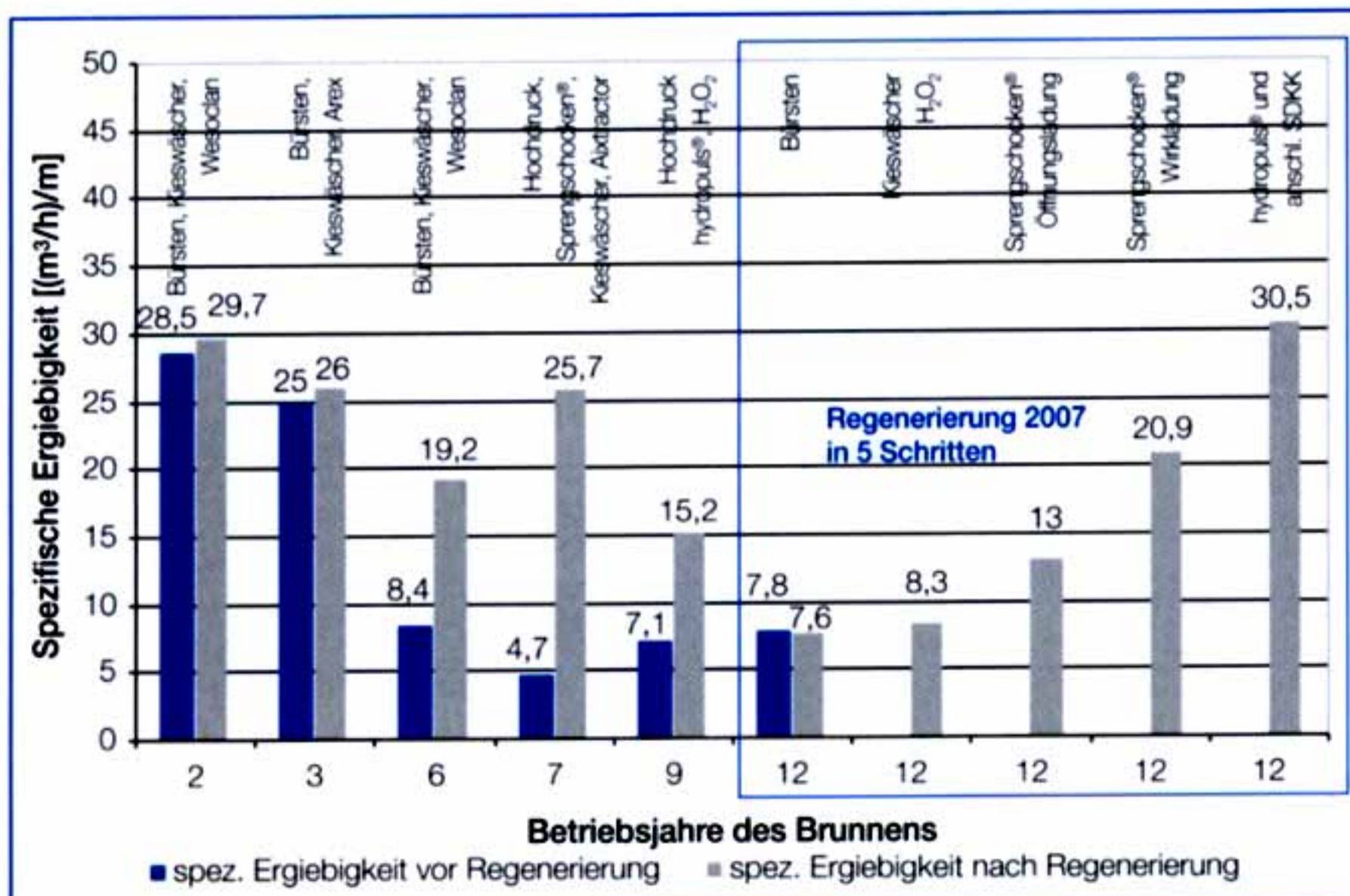


Abb. 6: Spezifische Ergiebigkeiten nach Maßnahmen/Verfahrensschritten der Brunnenregenerierung „Gestfeld 5“ in zwölf Betriebsjahren

Da die Gummiblasen des Prototyps I eine vollständige Abdichtung wegen der engen Anordnung der inneren Drahtstege des Wickeldrahtfilters DN 300 nicht sicher gewährleisten können, wurden die Dichtungskolben modifiziert. In mehreren konstruktiven Schritten entwickelte die Tef-torec GmbH schließlich eine sehr einfach handhabbare SDKK [2] von 1,5 m Länge, bestehend aus zwei 0,5 m langen Dichtungskolben mit dazwischen angeordneter 0,5 m langer offener Kammer. Die Dichtungskolben sind aus Edelstahlzylindern mit zylinderringförmig in Sandwich-Struktur aufgebrachtem speziellem porösem Schaumstoff aufgebaut. Diese SDKK kann nach Bewässerung leicht in das Brunnenrohr eingeführt und bewegt werden. Sie dichtet den Filter gegen die offene Kammer über die gesamten Kolbenlängen vollständig ab (Abb. 8). Bei ihrer Anwendung entfällt das technologisch aufwendige Anpressen und Entlasten der geformten Gummiblasen mittels Gas oder Wasser in druckleitenden Schläuchen. In diesem Test sollte die praktische Einsetzbarkeit und Werkzeugstandzeit der völlig neuartig konstruierten Dop-



Abb. 7: Symmetrische Doppelkolbenkammer (oben) für den Einsatz in Vertikalfilterbrunnen DN 750 zur Intensiventnahme und Anpresstest zur Prüfung der Formstabilität (unten)

Quelle: Teftorec GmbH

pelkolbenkammer geprüft und die in [1] getroffenen Aussagen zur Erhöhung der Entsandungsleistung der Intensiventnahme bei gleichzeitigem Impulseintrag in das Korngefüge von Filterkies und angrenzendem Grundwasserleiter hinsichtlich quantitativer Auswirkungen untersucht werden. Zum Einsatz kam die in der pigadi GmbH angewandte Funktionsstrecke bestehend aus der unten angeordneten SDKK, dem hydropuls®-Generator im Strömungsteiler in der Mitte und der oben angeordneten gemantelten Tauchmotorpumpe.

In der ersten von drei Phasen dieses Tests wurde der Brunnenfilter über seine gesamte Länge drei Mal mittels hydropuls® behandelt, um Verblockungen der Poren zu lösen und anschließend mit Tauchpumpe ohne Kammersystem mit $15 \text{ m}^3/\text{h}$ abgepumpt, um die gelösten Porenverunreinigungen zu entfernen. Wie Abbildung 9 zeigt, konnte dadurch die spezifische Ergiebigkeit von $2,14 \text{ (m}^3/\text{h)/m}$ auf nur $2,47 \text{ (m}^3/\text{h)/m}$ erhöht werden, obwohl $3,8 \text{ l}$ Feststoff ausgetragen worden waren.

In der zweiten Testphase wurde der Filter von unten nach oben in $0,5 \text{ m}$ langen Abschnitten mittels SDKK ohne weiteren Im-

pulseintrag jeweils bis zum Erreichen des Abbruchkriteriums $0,1 \text{ ml/m}^3$ Feststoff oder eines größeren Wertes in Form einer Plateauphase des zeitabhängigen Feststoffaustrages bei doppellogarithmischer Auswertung über der Pumpzeit im Arbeitsabschnitt abgepumpt (Abb. 10). Die für den 5 m langen unteren Filterabschnitt erforderliche Pumpzeit betrug insgesamt 296 Minuten . Die abschnittsbezogene Intensiventsandung mittels SDKK wurde überwiegend bei Erreichen des Grenzwertes $0,1 \text{ ml/m}^3$ beendet. Da die Zwischenauswertung des Brunnenwasserspiegels bei Kammerförderung erkennen ließ, dass auf diese Art und Weise die angestrebte Erhöhung der spezifischen Ergiebigkeit nicht erreicht werden kann, wurde diese Phase nach Behandlung von 5 m der insgesamt 8 m Filterlänge abgebrochen. Der anschließend durchgeführte Pumpversuch erbrachte eine Steigerung der spezifischen Ergiebigkeit auf $5,34 \text{ (m}^3/\text{h)/m}$, obwohl nur $0,65 \text{ l}$ Feststoff ausgetragen worden waren. Im Vergleich zur ersten Phase sind nur rund 17 Prozent Feststoff zusätzlich ausgetragen worden, während sich die spezifische Ergiebigkeit mehr als verdoppelt hat. Eine plausible Erklärung dafür liefert die in [1] dargelegte strömungsmechanische Effizienz der SDKK durch Initiierung sehr hoher Filtergeschwindigkeiten im gesamten Kiesfilter, insbesondere auch am Bohrlochrand und in nennenswerter Größe auch im angrenzenden Grundwasserleiter. Möglicherweise sind in dieser Phase Porenräume aktiviert worden, die radial weiter entfernt liegen, die zuvor gar nicht gereinigt worden sind und deren erste Reinigung bereits deutlichen Zugewinn an Brunnenleistung erbracht hat.

In der dritten Phase dieses Tests wurde die SDKK wieder in Arbeitsabschnitten von $0,5 \text{ m}$ Länge, jedoch bei gleichzeitigem fortwährend moderatem Impulseintrag mittels hydropuls® durch den Filter bewegt. Diese Verfahrenskombination von Intensiventnahme mittels SDKK und gleichzeitigem Impulseintrag erbrachte bei gleichen Abbruchkriterien einen Feststoffaustrag von $212,8 \text{ l}$ und eine einheitliche Erhöhung der spezifischen Ergiebigkeit auf $16,8 \text{ (m}^3/\text{h)/m}$ in den drei Pumpstufen mit $15, 35$ und $46 \text{ m}^3/\text{h}$. Erwähnenswert sind die Sandaustragsmessungen (Abb. 10), die in Phase 3 mehrheitlich den Abbruch der Abschnittsentsandung bei Erreichen einer Plateauphase erforderten. Offenbar ist es in den betreffenden Abschnitten gelungen, den Porenraum im Kiesfilter so weit zu reinigen, dass anschließend fort-dauernd Feinkorn aus dem anstehenden Gebirge, welches durch Wechsellagerungen und hohe Ungleichförmigkeiten der Se-



Abb. 8: Symmetrische Doppelkolbenkammer in der Version Prototyp II für den Einsatz in Vertikalfilterbrunnen DN 300 zur Intensiventnahme mit gemantelter Tauchmotorpumpe am Brunnen 10 Rathenow

Quelle: Teftorec GmbH

dimente gekennzeichnet ist, ausgetragen wurde. Insofern kann das Regenerierungsergebnis auch dahingehend interpretiert werden, dass die eingebaute Kiesschüttung auch künftig Verstopfungen durch Feinkorn aus dem Grundwasserleiter erleiden kann – auch wenn dieser Prozess bei geringer Förderate entsprechend langsam vonstattengehen wird. Diese mit eindeutigen Abbruchkriterien kontrolliert durchgeführte Intensiventsandung erforderte eine reine Pumpzeit von über 31 Stunden . Die abschließend ermittelte spezifische Ergiebigkeit übertraf diejenige vor dieser Regenerierungsmaßnahme geringfügig (Abb. 9). Die hohe Austragsleistung dieser Verfahrenskombination bewirkte, dass nicht nur Schluff und Feinsand ausgetragen wurden, sondern auch Mittelsand und nicht ausreichend gerundetes (plattiges) Filterkorn. Bohrspülung befand sich laut Mineralanalyse definitiv nicht mehr im Feststoffaustrag.

Der Prototyp II der SDKK, die auch einfach zur Doppelkolbenspaltkammer (DKSK) mit variabler Spaltweite umgerüstet werden kann, hat den gesamten Einsatz mit täglichen Einfahrten und Ausfahrten im Brunnenbauwerk sehr gut überstanden. Handhabungsbedingt entstandene Beschädigungen des Schaumstoffes der Dich-

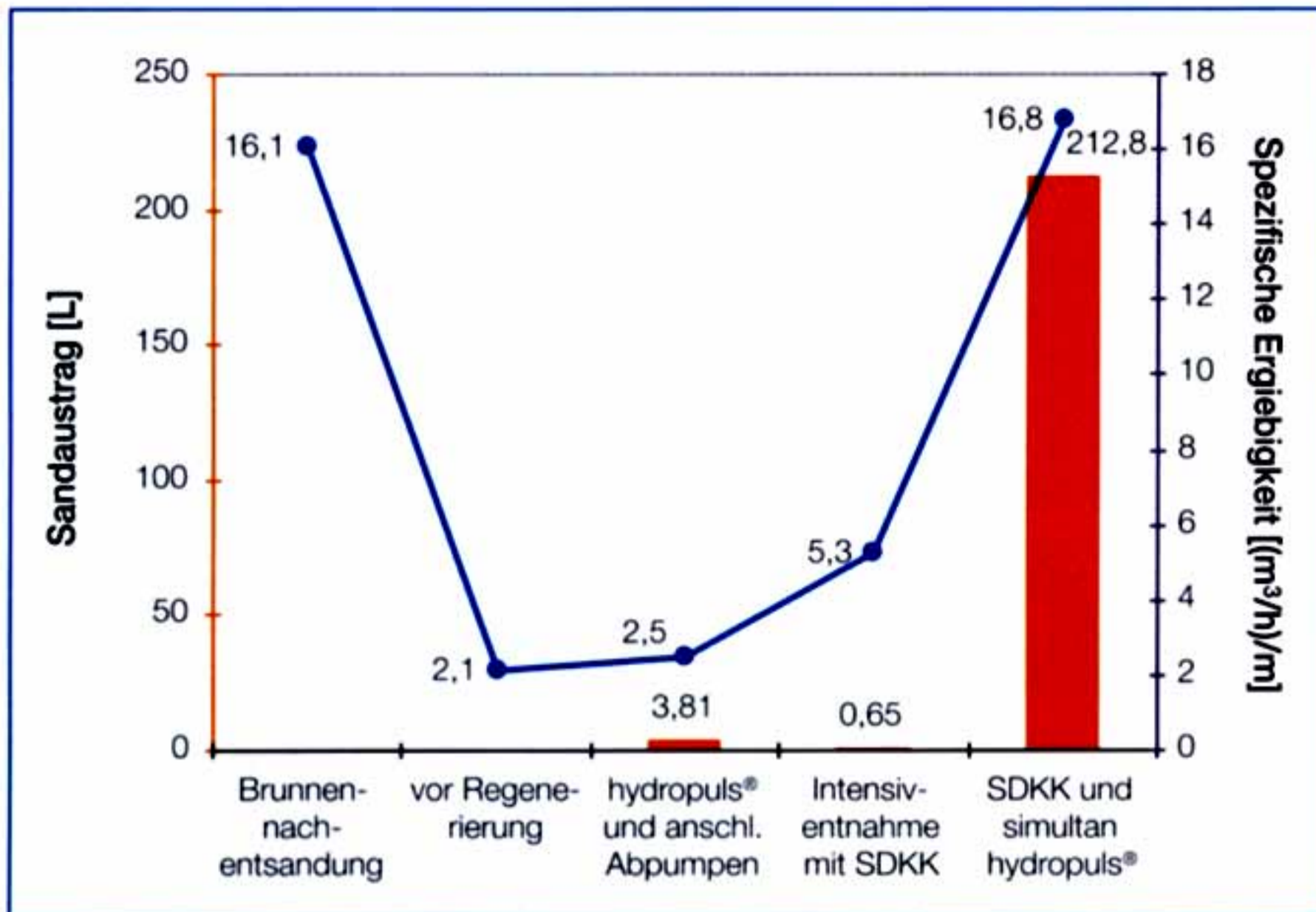


Abb. 9: Spezifische Ergiebigkeiten und Sandaustragsmengen nach Verfahrensschritten der Brunnenregenerierung Br. 10 Rathenow

Quelle: GCI GmbH

tungskolben vermochten die Dichtwirkung nicht zu beeinträchtigen. Gleichwohl werden die als Aufschiebezylinder, zweckmäßig für eine Basis-Doppelkolbenkammer in verschiedenen Durchmessern, konstruierten Dichtungselemente nach mehreren Einsätzen erneuert. Der Arbeitsablauf bei der Durchführung der Regenerierung mit

dem Prototyp II im Vergleich mit den druckregulierten Dichtungskolben des Prototyps I ist erheblich einfacher und weniger störanfällig. Der bedarfsweise Austausch der Aufschiebezylinder mit der Kolbendichtung ist jederzeit auf der Baustelle durchführbar und vergleichsweise gering aufwendig.

Fazit

Die Ergebnisse der an drei verschiedenen Brunnenfiltern (horizontal, Bohrdurchmesser 470 mm, Schlitzbrückenfilter DN 250; vertikal, Bohrdurchmesser 1.000 mm, Wickeldrahtfilter DN 750; vertikal, Bohrdurchmesser 670 mm, Wickeldrahtfilter DN 300) durchgeführten Tests der Brunnenfilterentsandung durch Intensiventnahme mittels symmetrischer Doppelkolbenkammer haben die in [1] dargelegte theoretisch begründete Überlegenheit der Doppelkolbenkammer gegenüber der einfachen Manschettenkammer bestätigt.

Besonders eindrucksvoll gelang der Nachweis des behaupteten Zusammenhangs, dass Intensiventnahme allein eine effiziente Entsandung nicht zu leisten vermag, sondern dass dazu während des Abpumpvorgangs durch Impulseintrag ständig eine wiederholte Lockerung des Korngefüges bzw. Lösung ständig erneut entstehender Verblockungen der Poren geleistet werden muss, wie dies grundsätzlich auch im DVGW-Arbeitsblatt W 130 „Brunnenregenerierung“ empfohlen wird.

Die Verfahrenskombination von SDKK und hydropuls® hat im Test sehr gute erste Er-

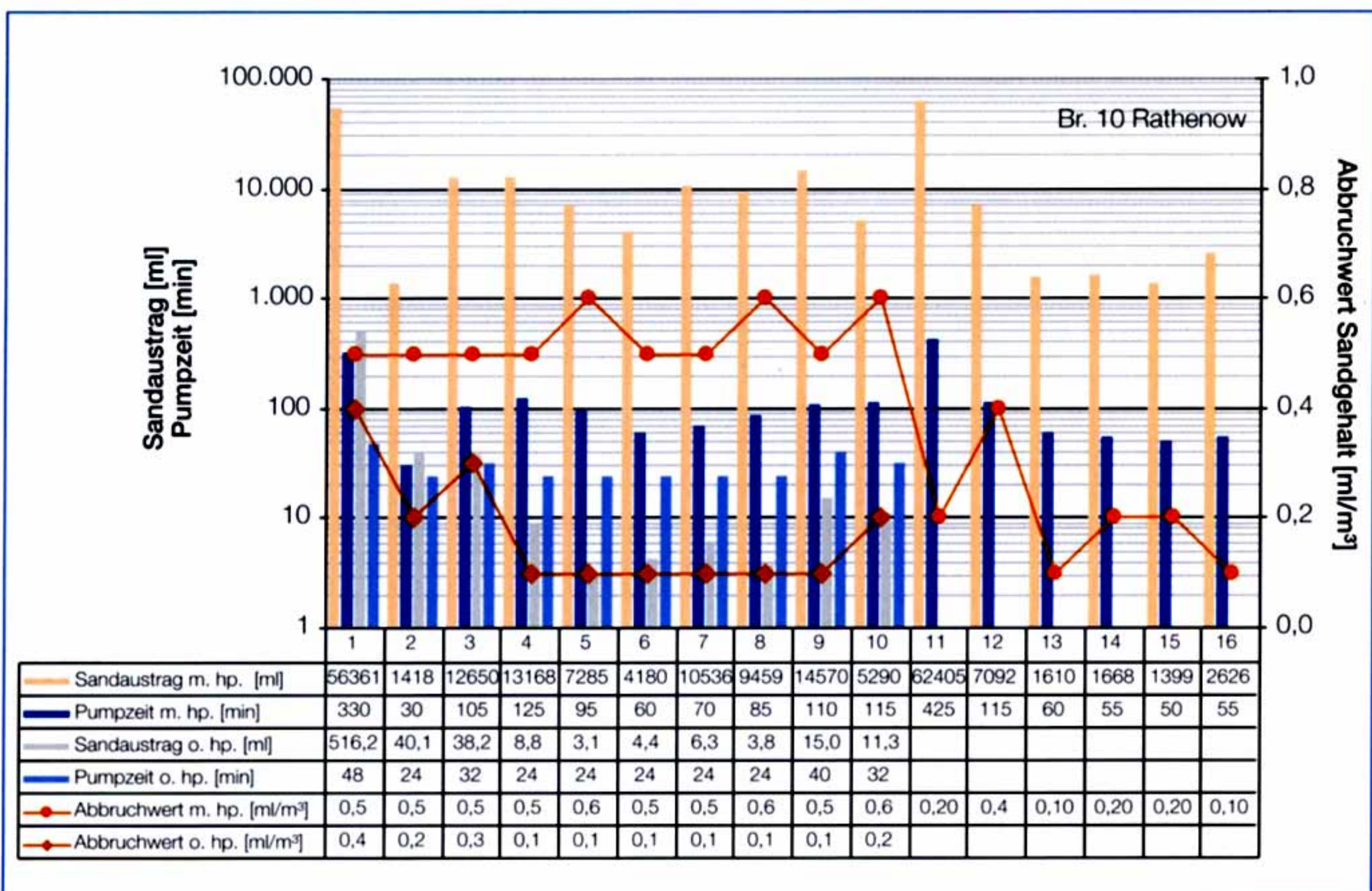


Abb. 10: Abschnittsweise gemessene Werte für Pumpzeit, Sandaustrag und dessen Abbruchwert beim Test der SDKK ohne (o. hp.) und mit simultan bei der Intensiventnahme eingesetztem hydropuls®-Verfahren (m. hp.) am Br. 10 Rathenow

Quelle: pigadi GmbH

gebnisse erbracht. Beide Verfahren ergänzen sich in ihren räumlichen Wirkungsgrenzen gut. Insbesondere werden auch im angrenzenden Grundwasserleiter nennenswerte Wirkungen erzielt. Die Erhöhung der Filtergeschwindigkeit im so bearbeiteten Abschnitt ist mit der Doppelkolbenkammer in ihren Ausführungen als symmetrische oder Spaltkammer bei geeigneter Kammerförderate nicht nur im Kiesfilter, sondern auch im angrenzenden Gebirge in bisher mit Manschettenkammern nicht erreichbarem Maße möglich. Die effiziente Austragstechnologie mittels Doppelkolbenkammer kann auch mit anderen geeigneten Trennmethoden zur Mobilisierung auszutragenden Materials – vorzugsweise Impulsverfahren – kombiniert werden.

Literatur:

- [1] Nillert, P., Bäsler, H. & S. Fuchs (2008): Intensiventnahme bei der Brunnenentwicklung und -regenerierung. DVGW energie | wasser-praxis 04/2008, S. 2-8.
[2] Deutsche Patentanmeldung DE 10 2007 050 966.

Autoren:

Dr. Peter Nillert
Hartmut Bäsler
GCI GmbH Grundwasser Consulting
Ingenieurgesellschaft
Bahnhofstr. 19
15711 Königs Wusterhausen
Tel.: 03375 2947-85, Fax: 03375 2947-18
E-Mail: peter.nillert@gci-kw.de
hartmut.baesler@gci-kw.de
Internet: www.gci-kw.de

Uwe Schmitz-Habben
LINEG Linksniederrheinische
Entwässerungs-Genossenschaft
Körperschaft des öffentlichen Rechts
Friedrich-Heinrich-Allee 64
47475 Kamp-Lintfort
Tel.: 02842 960-0, Fax: 02842 960-499
E-Mail: schmitz-habben.u@lineg.de
Internet: www.lineg.de

Andreas Wicklein
pigadi GmbH
Leykestr. 11-13
12053 Berlin
Tel.: 030 74757-477
Fax: 030 74757-576
E-Mail: andreas.wicklein@pigadi.com
Internet: www.pigadi.com