

Theoretische Ansätze zur Intensiventsandung und Filterkornauswahl

Dr. Peter Nillert

GCI GmbH, Königs Wusterhausen

Die Ausbaulänge und der Bohrdurchmesser eines Brunnens orientieren sich grundsätzlich an der gewünschten Förderrate Q_B und am Liefervermögen q_{GWL} des Grundwasserleiters, das bezogen auf die ausbaufähigen geologischen Schichten nach SICHARDT (1928) auf Grundlage der empirisch bemessenen maximalen Filter(grenz)geschwindigkeit v_g mit einem Sicherheitsfaktor $\sigma=2$ abgeschätzt wird (h_{GWL} : Höhe ausgebaute Grundwasserleiterschicht, d_B : Bohrdurchmesser, k_f : Durchlässigkeitskoeffizient).

$$q_{GWL} = h_{GWL} * \pi * d_B * \frac{v_g}{\sigma}, \quad v_g = \frac{\sqrt{k_f}}{15}$$

I. d. R. wird zwischen dem Bohrloch und dem eingestellten Filterrohr ein- oder mehrschichtig Filterkies eingebaut. Damit die für die Brunnenbetriebskosten wirtschaftlich relevante Absenkung des Brunnenwasserspiegels so gering wie möglich ausfällt, soll der Strömungswiderstand vom Bohrlochrand bis in das Filterrohrinnere so klein wie möglich sein. Deshalb werden gut durchlässige Filterkiese und –sande mit gleichförmigen Korngrößen (Ungleichförmigkeitsgrad $U < 1,5$) verwendet. Für die Wahl des richtigen Filterkorndurchmessers ist stets die Korngrößenverteilung des Lockergesteins im angrenzenden Grundwasserleiter ausschlaggebend. Die rezent angewandten Bemessungsregeln

- ‚80 % - Regel‘,
- Kennkornlinie nach BIESKE,
- Filterfaktorregel gemäß DVGW W 113

basieren im Wesentlichen auf der Annahme von TRUELSEN (1957), dass sandfreie Wasserförderung aus einem Brunnen möglich ist, wenn das Schüttkorn so gewählt wurde, dass für $3 \leq U \leq 5$ etwa 90 bis 95 % des anstehenden Kornmaterials aus dem Grundwasserleiter ausgetragen werden können und für $U < 3$ ca. 75 bis 85 %. D. h. dass nur 5 bis 10 % bzw. 15 bis 25 % des in der Bohraureole anstehenden natürlichen Korngefüges bei der Entsandung bzw. der Brunnenentwicklung zurück gehalten werden müssen, um einen nach NAHRGANG & SCHWEIZER (1982) ‚instationär stabilen Filter‘ im Übergangsbereich zwischen eingebautem Filterkies und natürlichem Gebirge zu erzeugen und zu konsolidieren. Diese im Übergang vom Kiesfilter zum Gebirge zu erzeugende ‚natürliche Filterstufe‘ hat auch die Aufgabe, den Durchlässigkeitskontrast zwischen Gebirge und Filterkies durch einen Zwischenwert längs des Fließweges des zum Brunnenfilter strömenden Grundwassers zu mildern.

Erfahrungen aus dem Betrieb von nach diesen Regeln errichteten Brunnen belegen vielfach, dass schon nach wenigen Betriebsjahren – insbesondere bei ausgebauten geologischen Schichten mit geringer Ungleichförmigkeit unter 2,5...3 – die spezifische Brunnenergiebigkeit infolge hydromechanischer Kolmation des Porenraumes im Filterkies gravierend reduziert wird und zur Wiederherstellung akzeptabler Leistungskennziffern Rehabilitationsmaßnahmen, oft im Abstand weniger Betriebsjahre, durchgeführt werden müssen.

Ursache dafür ist in vielen Fällen allein der während des Brunnenbetriebes stetige Eintrag von Sand aus den mindestens 75 bis 85 % Korngrößenanteilen des angrenzenden Grundwasserleiters, die die

Porenkanäle des Filterkieses passieren können, bei der Brunnenentwicklung jedoch mehrheitlich nicht ausgetragen worden sind, weil dafür zu geringe Förderraten angewandt wurden und mit den bislang verfügbaren Geräten nicht ausreichend leistungsfähige Werkzeuge zur Verfügung standen (s. DVGW W 55/99). Die Anwendung der inzwischen auf Grundlage strömungsmechanischer numerischer Modellanalysen entwickelten Doppelkolbenkammer (NILLERT ET AL., 2008a,b) ermöglicht es, bis in den Bereich der Bohraureole so große Filtergeschwindigkeiten zu erzeugen, dass alle Partikel, die durch die hydraulisch wirksamen Porenkanäle passen, auch abtransportiert werden. Diesbezügliche Feldversuche haben gezeigt, dass unter den o. g. ungünstigen Randbedingungen die nach den Bemessungsrichtlinien empfohlenen Filterkorngrößen einen praktisch unbegrenzten Sandaustrag bei der Brunnenentwicklung oder -regenerierung begründen. Bei normalem Brunnenbetrieb findet dieser Feststofftransport aus der Bohraureole bzw. der angrenzenden Grundwasserleiterschicht in die Filterkiesporen ebenfalls statt – nur mit wesentlich geringerer Intensität unterhalb des Nachweiskriteriums der technischen Sandfreiheit von z. B. 1 ml/m³ – aber stetig. Wegen der hieraus folgenden hydromechanischen Kolmation des Brunnenfilters ist dieser dem rezenten Regelwerk zugrunde liegende theoretische Ansatz der Filterkiesbemessung für kleine Ungleichförmigkeitswerte ungeeignet.

Grundsätzlich sollte zumindest bei geringer Ungleichförmigkeit des natürlichen Korngefüges das Schüttkorn so bemessen werden, dass nur ein geringer Anteil des angrenzenden Grundwasserleitermaterials ausgetragen und eine natürliche Filterstufe aus dem verbleibenden Stützkorngerüst sicher hergestellt werden kann. Eine Orientierung an der Korngröße der angrenzenden geologischen Schicht bei etwa 30 % Siebdurchgang erscheint auch mit Blick auf die geübte Praxis der natürlichen Filterentwicklung in den USA nicht unvernünftig (s. Abbildung 1). Insofern ist anzuraten, diesen Sachverhalt bei der Filterkornbemessung nach der DVGW Merkblatt W 113 nicht unbeachtet zu lassen.

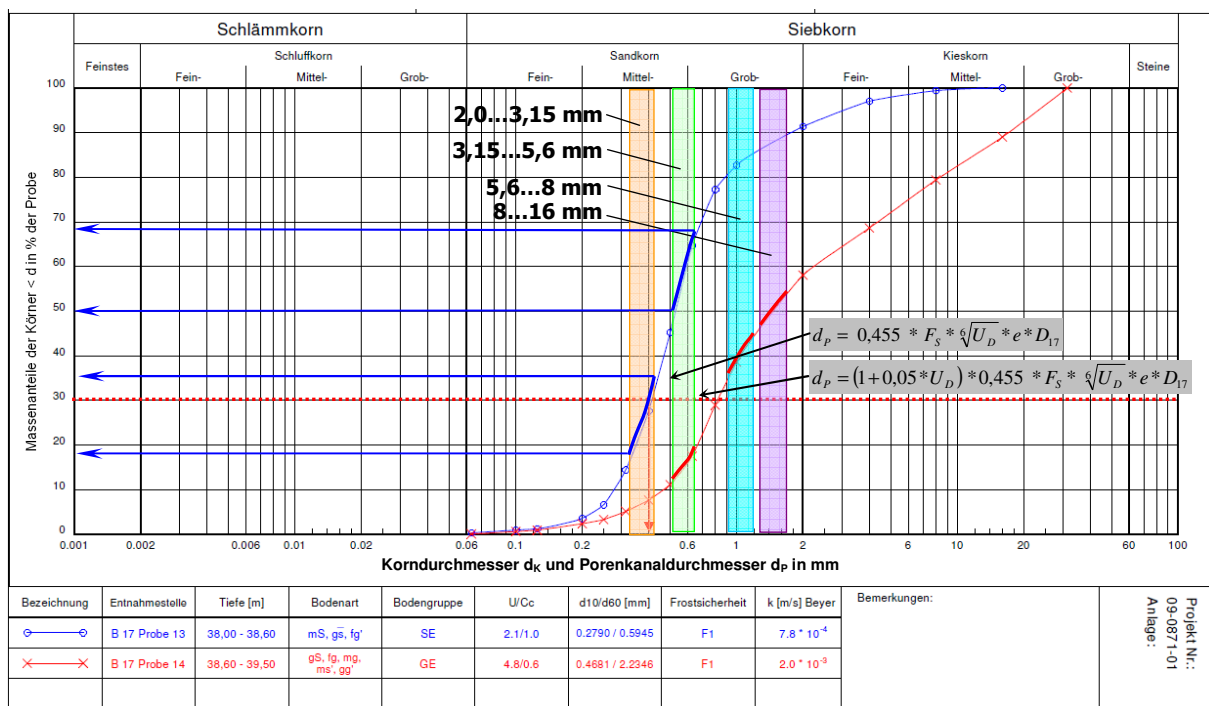


Abbildung 1: Kornsummenlinien von 2 Bohrkernproben im Vergleich mit minimalen und maximalen hydraulisch wirksamen Porenkanalweiten von Filterkiesen zur Abschätzung des austragfähigen Kornanteils aus der Bohraureole bzw. aus dem Grundwasserleiter.

Wenn der eingebaute Filterkies die austragbaren Korngemischanteile der angrenzenden Schichten auf zulässige Anteile sicher begrenzt, kann ein Brunnen mit der Zielstellung des Aufbaues einer natürlichen Filterstufe im Bereich der Bohraureole durch Austrag der in den Porenkanälen der eingebauten Filterkornschüttung durchgangsfähigen Sandkörner und aller aus dem Bohrprozess resultierenden Verschmutzungen vollständig entwickelt werden. Dazu müssen in allen zu reinigenden Bereichen die erforderlichen Filtergeschwindigkeiten v_R für eine optimale Reinigung der Poren erzeugt werden. Zweckmäßig und alternativ zu der in der DVGW Regel W 119 getroffenen Empfehlung ist hierfür die Orientierung an der von der Durchlässigkeit und damit dem Korngemisch und seiner Lagerungsart abhängigen Grenzgeschwindigkeit v_g nach SICHARDT mit der Bedingung $v_R \geq v_g$. Sie schätzt die maximal mögliche Filtergeschwindigkeit im natürlichen Grundwasserstrom in Abhängigkeit vom durchströmten Korngefüge ab. D. h., dass alle künftigen Strömungssituationen beim Betrieb eines richtig bemessenen Brunnens ($\sigma=2$) nur geringere Filtergeschwindigkeiten und damit keinen Sandaustrag mehr bewirken können.

Die erforderlichen Filtergeschwindigkeiten für eine optimale Porenreinigung im Filterkies und für den Austrag von Unterkorngrößen aus der Bohraureole können auf diese Weise für jeden einzelnen Brunnen spezifisch berechnet werden. Um diese optimale Filtergeschwindigkeit für die Porenreinigung in der Umgebung eines Brunnenfilters zielgerichtet zu erzeugen, bedarf es geeigneter Werkzeuge und in Abhängigkeit deren Geometrie, der Brunnengeometrie sowie der Durchlässigkeitswerte von Filterkies und angrenzendem Gebirge entsprechender Förderraten. Untersuchungen der Filteranströmung mittels numerischer Modelle weisen die sog. Doppelkolbenkammer (NILLERT, 2008c) als leistungsfähigere Alternative zur mit Manschetten begrenzten sog. ‚Intensiventsandungskammer‘ aus. Die sog. ‚Symmetrische Doppelkolbenkammer‘ setzt die Erkenntnis zielgerichtet um, dass der Filterkiesringraum eines Bohrbrunnens nur gegenüber den Begrenzungen einer Entnahmekammer effizient gereinigt werden kann, niemals aber gegenüber der Kammeröffnung, während die Bohraureole gegenüber der Kammeröffnung wesentlich intensiver behandelt wird als gegenüber den Kammerbegrenzungen (s. Abbildung 2).

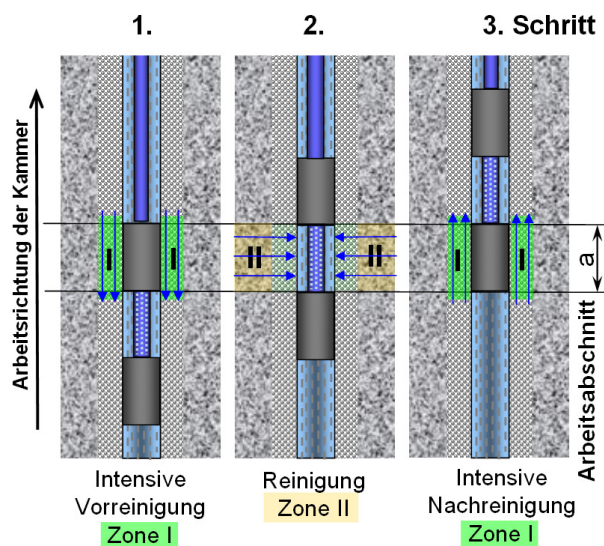


Abbildung 2: Anwendungsschema einer symmetrischen Doppelkolbenkammer mit radialer Tiefenreinigung.

Die erforderliche Kammerförderrate Q_K zur optimalen Brunnenentwicklung oder auch bei der Regenerierung kann praktisch für jede Situation und für jeden Kammertyp auf Grundlage numerischer Modellanalysen bemessen werden.

$$Q_{K,erf.} = f(r, z, k_{f,Kies}, k_{f,GWL}, d_F, d_B, l_K, a_K, \dots)$$

Damit ist es möglich, für jede Brunnenfilterentsandung – gleich ob bei der Entwicklung oder einer Regenerierungsmaßnahme – zur Erreichung einer optimalen Porenreinigung in Filterkies und Bohraureole die günstigste Kammergeometrie und die erforderliche Kammerförderrate zu bemessen und derartige Maßnahmen zielgerichtet zu planen (s. Abbildung 3).

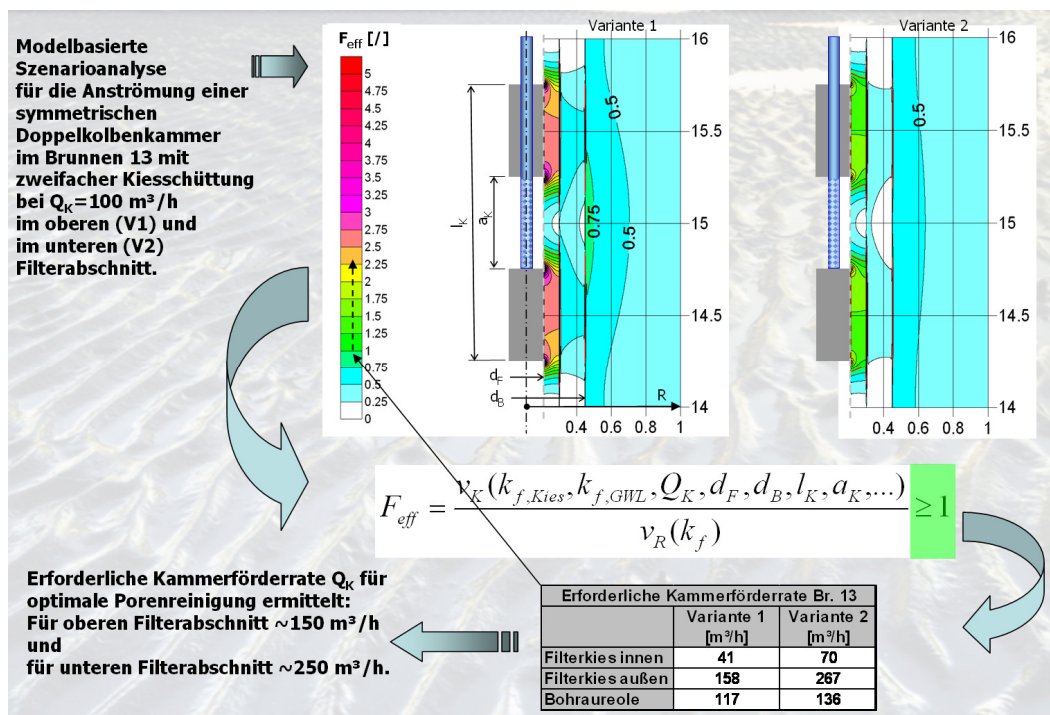


Abbildung 3: Ablaufschema einer numerischen Analyse der Brunnenanströmung bei Einsatz einer Intensiventsandungskammer und Bemessung der erforderlichen Kammerförderrate für die optimale Porenreinigung.

Berechnungsergebnisse einer Vielzahl erforderlicher Kammerförderraten zur Behandlung real existierender Brunnen zeigen, dass oft Brunnenkonstruktionen gewählt worden sind, die den Empfehlungen des geltenden Regelwerkes nicht widersprechen, die aber praktisch mit der gemäß DVGW Regel W 119 empfohlenen Entsandungstechnik unmöglich vollständig entwickelt werden konnten und teilweise auch mit der Doppelkolbenkammer nicht hinreichend behandelt werden können.

Eine Ursache dafür ist die Reduzierung der Brunnenbemessung auf den Prozess der Brunnenanströmung bei Normalbetrieb ohne strömungsmechanische Prüfung der praktischen Machbarkeit der Brunnenentwicklung und ggf. erforderlichen Regenerierung. Insbesondere bei mehrfach geschütteten Filterkiesen mit sehr groben Kornfraktionen ist es oft nicht möglich, die hydraulisch erforderlichen Filtergeschwindigkeiten in den zu reinigenden Bereichen zu erzeugen, weil

in den eingebauten Filtern mit den praktisch einbaufähigen leistungsstärksten Pumpen die erforderlichen Kammerförderraten nicht erzeugt werden können. Dieser Sachverhalt kann durch Gegenüberstellung der zur optimalen Porenreinigung erforderlichen Filtergeschwindigkeit v_R und der mittels bestenfalls einsetzbarem Kammertyp und der größten möglichen Kammerförderrate für jeden zu reinigenden Bereich in der Umgebung des Filterrohres erreichbaren Filtergeschwindigkeit v_K berechnet werden. Insofern der erreichbare Effizienzfaktor der Porenreinigung F_{eff} kleiner als 0,75...1 ist, kann weder eine ausreichende Entwicklung noch eine qualifizierte Regenerierung gewährleistet werden.

$$F_{eff} = \frac{v_K(r, z, Q_K)}{v_{R,erf.}(k_f(r, z))}$$

$$F_{eff} \geq 1 \quad : \text{optimale Porenreinigung}$$

$$0,75 \leq F_{eff} < 1 : \text{bedingt akzeptable Porenreinigung}$$

$$F_{eff} < 0,75 \quad : \text{unzureichende Porenreinigung}$$

Dies ist in konkreten Fällen umso bedauerlicher, wenn der Einbau hydraulisch sicher beherrschbarer Filterkiese mit kleinerer Korngröße, insbesondere in der inneren Kiesschüttung, einen optimalen Brunnenbetrieb in keiner Weise behindern würde. Deshalb ist bei der Errichtung von Brunnen mit zweifacher Kiesschüttung die alleinige Orientierung der Filterkies Kornabstufung am Filterfaktor (~ 4) bzw. an der Empfehlung in DIN 4924 unzureichend. Diese Regel stellt lediglich eine notwendige, keineswegs aber eine hinreichende Bedingung dar. Grundsätzlich darf das kleinere Filterkies Korn nicht die Porenkanäle des größeren Filterkieses passieren können. Die Filterkiese sind aber auch so zu bemessen, dass sowohl optimale hydraulische Bedingungen für die langfristige Grundwasserentnahme gewährleistet werden können als auch eine hydraulisch ausreichend intensive Filterentwicklung und später ggf. erforderliche Regenerierung praktikabel sind. D. h., dass die technisch initiierten Entsandungswirkungen über die innere Filterkiesschüttung hinaus auch den äußeren Filterkies und die Bohraureole in ausreichender Intensität erreichen müssen, um optimale Porenreinigung und die Entwicklung einer natürlichen Filterstufe im Übergang zum Grundwasserleiter zu erzeugen. Insbesondere die hydraulisch sehr schwierige qualitativ ausreichende Vollendung der Brunnenerrichtung begründet, wenn sie nicht erreicht worden ist, die Grundlage hydromechanischer Kolmation im Filterkies und in der Bohraureole, die später ebenfalls sehr schwierig wieder zu beseitigen ist. Insofern sind bereits bei der Bemessung von Brunnengeometrie und Filterkies die zur Brunnenentwicklung und ggf. Regenerierung erforderlichen Kammerförderraten bei Anwendung verfügbarer Werkzeuge abzuschätzen, um die technische Machbarkeit gewährleisten zu können.

Eine andere typische Ursache für die Unmöglichkeit einer angemessenen Brunnenentwicklung und Regenerierung ist eine zu üppige Ringraumdicke. Seltener ergibt sich diese Situation beim Neubau als im Ergebnis bereits sanierter, meist mit Schutzrohr hergestellter tiefer Brunnen, bei denen das zuerst eingebaute Filterrohr (z. B. DN 300) gezogen und anschließend der erneut auszubauende Teufenabschnitt mit größerem Durchmesser (z. B. alt DN 900, neu DN 1200) aufgebohrt und das dann eingestellte Filterrohr wieder in DN 300 eingebaut worden ist. Derartig aufwändige Brunnenanierungen sind nur sinnvoll, wenn die letztlich entstehenden Brunnenfilter auch qualifiziert fertig gestellt werden können. Praktisch ist es jedoch außerordentlich schwierig und mit üblicher Technik unmöglich, sämtliche Bohrspülung und Unterkorn aus der Bohraureole sowie Bohrklein und Feinsand aus den Kiesporen zu entfernen, wenn Filterrohre mit vergleichsweise geringem Durchmesser von sehr dickem Ringraum mit Filterkorn umgeben sind. Die qualifizierte Vollendung eines neu zu errichtenden oder die Sanierung eines Brunnens kann jedoch planerisch geprüft und die langfristige Effizienz der Maßnahme beurteilt werden.

Insofern liefert die Auswertung des Leistungspumpversuchs eines neu errichteten Brunnens nur dann eine verlässliche spezifische Ergiebigkeit, wenn der Brunnen qualifiziert entwickelt worden ist. Fehleinschätzungen in Richtung zu geringer Ergiebigkeit beruhen hierbei auf unvollständiger Porenreinigung und unzulänglicher Entwicklung einer natürlichen Filterstufe in der Bohraureole. Den Eindruck einer scheinbar größeren als tatsächlich vorhandenen spezifischen Ergiebigkeit verursacht die oft zu lockere Lagerung des im Filterringraum eingebauten Kornmaterials, dessen Durchlässigkeit anfänglich hoch ist. Infolge betriebsinduzierter Erhöhung der Lagerungsdichte, verursacht z. B. durch Eintrag von Schwingungen betriebener UWM-Pumpen, verringert sich adäquat der ursprünglich vorhandene Porenraum und damit die Durchlässigkeit im Kiesfilter sowie auch die spezifische Ergiebigkeit. Leistungsminderungen nach ca. vier bis acht Betriebsjahren auf 50 bis 20 % sind nicht unüblich. Um derartige Brunnen zu rehabilitieren, sind intensive Maßnahmen der Regenerierung oder nachträglichen Entwicklung erforderlich. Für die intensive Porenreinigung reicht es aber nicht aus, die für den Transport aller durch die Porenkanäle transportierbaren Feststoffe erforderliche Filtergeschwindigkeit v_R zu erzeugen, weil die transportierten Sandkörner und andere Partikel sich regelmäßig in den Poren verkleben und Brücken bilden. Um diese Verstopfungen der Poren fortwährend wieder zu beseitigen, müssen während der heftigen Grundwasserströmung im zu behandelnden Bereich simultan und stetig über Impulsverfahren mechanische Kräfte in das Korngerüst eingetragen werden, die dies bewirken. Neben der Auflösung von Verstopfungen der Porenkanäle bewirkt ein geeigneter Impulseintrag außerdem die zeitweilige Vergrößerung der hydraulisch wirksamen Porenkanalweiten – ein Prozess, der auch als Porenraumstimulation bei der Porenreinigung bezeichnet wird (s. Abbildung 4).

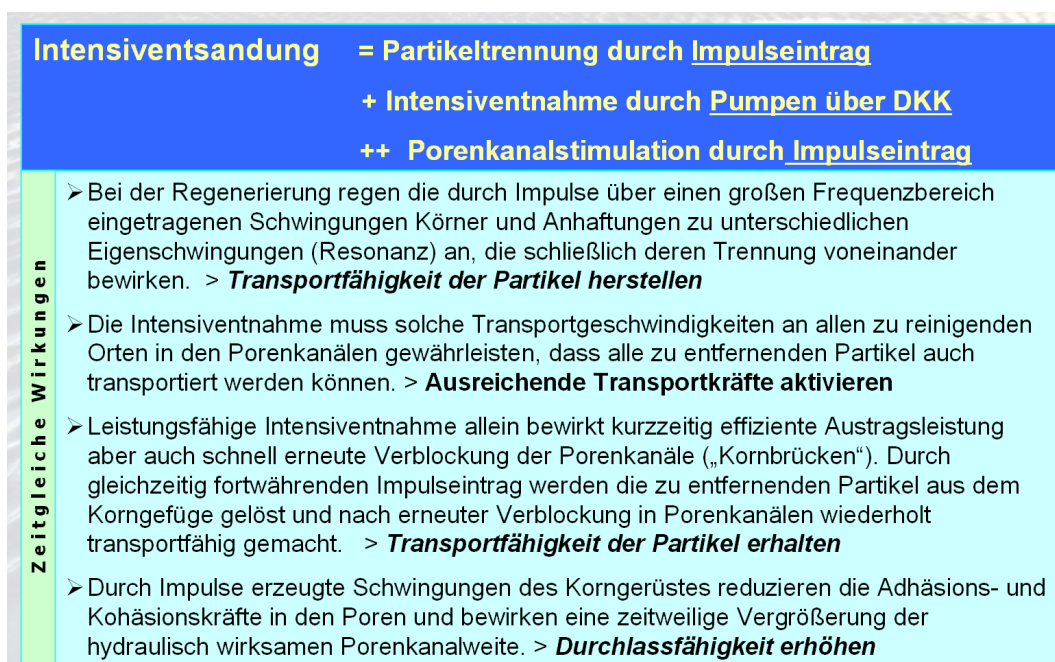


Abbildung 4: Vier erforderliche Wirkungen, die bei einer effizienten Intensiventsandung simultan und in ausreichender Intensität realisiert werden müssen.

Evident ist bei dieser zwangsläufig erforderlichen Rehabilitationsmaßnahme, dass mit dem intensiven Impulseintrag, ohne den eine effiziente Porenreinigung nicht möglich ist, gleichzeitig die endgültige Verdichtung des Kiesfilters stattfindet – sofern dies nicht schon bei der Brunnenerrichtung in

ausreichendem Maße erfolgt ist. Geschieht dies erst bei einer späteren Servicebehandlung eines Brunnens, sind damit zwei wesentliche Nachteile verbunden.

Die unmittelbar nach der Brunnenerrichtung infolge sehr lockerer Kieslagerung größeren Porenweiten erlauben das Eindringen relativ großer Partikel in den Filterkies, wo sie mit fortschreitender Verringerung der Porenkanalweiten infolge betriebinduzierter Lagerungsverdichtung und forciert durch Rehabilitationsmaßnahmen teils irreversibel blockiert werden. Dies bewirkt eine Vergrößerung der Ungleichförmigkeit U und die Verringerung des maßgeblichen Korndurchmessers des Filterkieses, womit eine irreversible Verringerung seiner Durchlässigkeit und damit der spezifischen Brunnenenergiebigkeit einhergeht. Grundsätzlich ist es besser, bereits beim Brunnenneubau auf eine Verdichtung des eingebauten Filterkieses zu achten, damit die hydraulisch wirksamen Porenräume im Filterkies keinen Raum für das Eindringen von Feststoffen bieten, die während der Aufenthaltszeit dieser Partikel in den Poren des Filterkieses infolge weiterer Erhöhung der Lagerungsdichte endgültig fixiert werden können.

Die nachträgliche Verdichtung des eingebauten Filterkieses erzeugt feststofffreie bzw. -reduzierte Hohlräume vornehmlich innerhalb des ursprünglichen Bohrloches. Dies kann zum Nachfallen von Gegenfiltermaterial oder Hinterfüllung aus dem Hangenden bis hinter den obersten Filterrohabschnitt führen. Die aus diesem Sachverhalt resultierenden Hohlräume oberhalb des Filterausbaues im Bohrlochbereich gefährden auch die Standfestigkeit hangend eingebauter Tonsperren. Oft angewandte ‚Faustregeln‘ (z. B. auch W 123) zur Bemessung der Überschüttung sind nicht immer ausreichend. Die Überschüttung der Filteroberkante ist mit Orientierung an der gesamten Schütthöhe der Filterkiessäule ab Bohrlochsohle so zu bemessen (z. B. max. Porenraumverringerung $\sim 14\%$), dass kein Material aus dem Hangenden bis in Höhe der oberen Filterschlitze nachfallen kann. Besser ist es deshalb, den Filterkies bereits beim Einbau auf seine endgültige Lagerungsdichte zu konsolidieren, um irreversible Porenverschmutzungen und Schädigungen des eingebauten Kiesfilters und hangender Sperrschichten im Bohrloch zu vermeiden.

In der Zusammenfassung aller erwähnten Aspekte der Brunnenbemessung und -errichtung sowie -instandhaltung ist festzuhalten, dass die qualifizierte Brunnenentwicklung mit dem Ziel

- der optimalen Porenreinigung im Filterkies und in der Bohraureole sowie
- der Entwicklung einer natürlichen Filterstufe im Übergangsbereich zum Grundwasserleiter
- bei gleichzeitiger Verdichtung des Filterkieses bis zum praktisch erreichbaren Endwert

Voraussetzungen sind für einen optimalen Brunnenbetrieb. In dem Maße, wie diese Ziele nicht oder nur eingeschränkt erreicht werden, haften dem Brunnenbauwerk Mängel an, die seine Funktion bzw. Leistung beschleunigt mindern.

Um eine qualifizierte Brunnenentwicklung oder auch Regenerierung im Sinne einer Porenreinigung mit radialer Tiefenwirkung bis in die Bohraureole durchführen zu können, müssen den lokalen Durchlässigkeitsverhältnissen entsprechende Filtergeschwindigkeiten erzeugt werden. Diese können für geometrisch definierte Kammertypen und Brunnenkonstruktionen durch Bemessung der erforderlichen Kammerförderraten realisiert werden. In der Praxis zeigt sich allerdings, dass nicht jeder nach den rezenten Regeln gebaute Brunnen auch tatsächlich qualifiziert entwickelt werden kann. Deshalb ist es zweckmäßig, bereits bei der Brunnenkonstruktion die Machbarkeit seiner qualifizierten Entwicklung und ggf. später erforderlichen effizienten Regenerierung zu prüfen und eine diesbezüglich abgestimmte Bemessung vorzunehmen. Dies betrifft sowohl die Wahl eines dem anstehenden Gebirge angemessenen Schüttkorndurchmessers als auch dessen Abstufung bei Mehrfachschüttungen, wobei

über die im rezenten Regelwerk dargelegten Empfehlungen hinausgehende oder andere Prüfungen und Nachweise erforderlich sind. Die hier angesprochenen Facetten der Brunnenplanung, -errichtung und -instandhaltung werden in einer Reihe aktueller Beiträge in der Fachliteratur zu Brunnenkonstruktion und -betrieb weiter gefächert ergänzt und vertieft, so dass es nahe liegt, zu prüfen, in welchem Maße das rezente Brunnen-Regelwerk des DVGW dem entwickelten Stand der Technik entspricht und ob ggf. Anpassungen nützlich sein können, wie in TRESKATIS & NILLERT (2009) angeregt wird.

Quellen

- DVGW-Forschungsvorhaben W 55/99 – Brunnenregenerierung, Untersuchungen zur Bewertung von Gerätetechnik – Ergebnisbericht. Dresdner Grundwasserforschungszentrum e. V. Juli 2003.
- Nahrgang, G. & Schweizer, W. (1982): Untersuchung über die Stabilität und das Dichtfahren von Filtern aus Sanden und Kiesen bei Bohrbrunnen: Stufe I und II. – DVGW-Schriftenreihe Wasser, Nr. 11; Eschborn (ZfGW-Verlag).
- Nillert, P., Bäsler, H. & S. Fuchs (2008a): Intensiventnahme bei der Brunnenentwicklung und –regenerierung. DVGW energie | wasser-praxis 04/2008, S. 22-28.
- Nillert, P., Bäsler, H., Schmitz-Habben, U. & A. Wicklein (2008b): Intensiventsandung von Brunnenfiltern mit der Doppelkolbenkammer. DVGW energie-wasser-praxis 05/2008, S. 29-35.
- Nillert, P. (2008c): Bemessung der Kammerförderrate bei der Intensiventsandung von Brunnenfiltern. bbr 10/2008, S. 52-61.
- Treskatis, Ch. & Nillert, P. (2009): Anforderungen an den Brunnenbau: Fortschritte und Praxisentwicklungen als Auslöser eines regelmäßigen Anpassungsbedarfs im DVGW-Regelwerk. bbr 6/2009, geplant.

Autor: Dr. Peter Nillert, GCI GmbH, 15711 Königs Wusterhausen, Bahnhofstr. 19
Peter.Nillert@gci-kw.de, www@gci-kw.de