

Die Regenerierung von Wasserfassungsanlagen (Brunnen)

Eine Wasserfassungsanlage wie zum Beispiel ein Vertikalfilterbrunnen ist ein produzierendes Bauwerk, also eine gebaute Maschine. Dieser Umstand ist vielen Betreibern nicht bewusst. Wie aber jede andere Maschine auch, verschleißt der Brunnen im Laufe seiner Betriebszeit. Nur die kontinuierliche Überwachung (Monitoring), die regelmäßige Wartung, Regenerierung, Instandhaltung sowie die Sanierung gewähren die langfristige Funktions- und Betriebssicherheit eines Brunnens.

Für den richtigen Umgang mit der Fördermaschine Brunnen müssen einige Dinge beachtet werden.

Anforderungen an den Betrieb und die Überwachung der Wasserfassungsanlage um einen dauerhaften Betrieb zu gewährleisten.

Betriebsüberwachung durch Brunnenmonitoring

Brunnen unterliegen mit zunehmendem Betriebsalter Leistungsminderungen.

Eine Leistungsminderung sollte frühzeitig erkannt werden, wenn die Ablagerungen im Porenraum oder den Filterschlitz und den Leitungen noch leicht entfernt werden können. Durch regelmäßige Kontrollen der Ruhe- und Betriebswasserspiegel kann eine sukzessive Verschlechterung der hydraulischen Anbindung an den Grundwasserleiter erkannt werden.

Zweck der Betriebsüberwachung

Die Überwachung soll es ermöglichen, frühzeitig Veränderungen bei den Brunnen und den Förderpumpen zu erkennen um zeitnah auf solche Veränderungen reagieren zu können. Nach einem Leistungsverlust von 10 % sollten Brunnen regeneriert werden um Vererzungen der Verockerungen zu vermeiden. Bei rechtzeitig durchgeführten Reinigungs- und Regenerierarbeiten an den Brunnen und evtl. Reparaturarbeiten an den Brunnenpumpen, können der zu betreibende Aufwand noch relativ klein und die dafür entstehenden Kosten niedrig gehalten werden. Dafür ist die kontinuierliche Aufzeichnung der Brunnenbetriebsparameter wie Ruhewasserspiegel, Betriebswasserspiegel, Fördermenge pro Stunde, Stromaufnahme der Pumpe, Aufzeichnung der Steuerfrequenz bei Frequenzsteuerung, Motortemperatur, Wasserstand im Peilfilter sowie ggf. naher Grundwassermessstellen erforderlich. Ergänzend wären Leitfähigkeit, Temperatur, Trübung, Sauerstoff und Redox zu erfassen um auch schnell Veränderungen der Wasserqualität registrieren zu können. Auch die Analyse des Rohwassers auf z.B. Eisen- oder Mangangehalt sowie eine biologische Analyse der Reduzierenden Bakterienstämme können wertvolle Hinweise auf Alterungserscheinungen im Brunnen geben.

Für die Überwachung der Brunnen sind der Förderstrom und das Verhalten des Wasserspiegels die wichtigsten Kriterien. Um frühzeitig Aufschlüsse über mögliche Alterungserscheinungen und dadurch entstehende Leistungsminderungen zu erhalten, ist es von besonderer Bedeutung den Grundwasserspiegel im inneren der Brunnenfilter- und Vollrohre sowie am äußeren Rand der Kiesschüttung (im Peilfilter = Widerstandsfilter) zu erfassen. Aus der Differenz der beiden Wasserspiegel können Rückschlüsse über den

Eintrittswiderstand der Brunnen gezogen und Alterungserscheinungen rechtzeitig erkannt werden. Zudem sollten die Wasserspiegel in benachbarten Grundwassermessstellen erfasst werden.

Überwachung der Brunnenpumpen und Wasserzähler:

Die Kontrolle der Stromaufnahme der Brunnenpumpen ermöglicht das rechtzeitige Erkennen von Störungen. Die Brunnenwasserzähler sollten regelmäßig auf einen einwandfreien

Betriebszustand kontrolliert werden. Es sollte besonders darauf geachtet werden, dass sich keine, die Messungen beeinflussenden Inkrustationen gebildet haben.

Messvorrichtungen an Brunnen

Messvorrichtungen an Brunnen dienen der Erfassung von Wasserspiegellagen und der Erfassung der geförderten Wassermengen. Messungen der Wasserstände an Brunnen dienen der Feststellung der Ruhewasserstände und der Absenkung des Wasserspiegels bei der

Entnahme. Für die Messungen stehen heute zahlreiche Geräte zur Verfügung. Das Spektrum reicht von einfachen Kabellichtloten, die von Hand in den Brunnen abgelassen werden, bis zu Datenloggern mit digitaler Aufzeichnung.

Brunnenpfeife

Der Klassiker der Wasserstandsmesser. Eine Pfeife aus Messing wird mit einem Messband verbunden und in den Brunnen eingefahren. Bei Auftreffen der Pfeife auf dem Wasser wird die Luft im Pfeifenkörper komprimiert und aus dem Blasloch herausgedrückt. Dabei ertönt der Pfeifton. Dieses Batterie unabhängige Gerät funktioniert immer und sollte immer dabei sein. Die Genauigkeit liegt bei etwa 2-3 cm.

Kabellichtlot

Bei Kabellichtloten beinhaltet der am Ende des Kabels befindliche Lotkörper eine Tauchelektrode. Wenn die Tauchelektrode den Wasserspiegel erreicht leuchtet eine Signallampe an der Kabeltrommel auf. Manche Ausführungen geben zusätzlich noch einen Signalton ab.

Datenlogger (Drucksonde)

Drucksonden arbeiten nach dem Prinzip der Umwandlung eines hydrostatischen Drucks in Strom. Der elektrische Ausgang der Sonde erlaubt den Anschluss von Anzeige- und Schreibgeräten sowie Reglern und Grenzwertschaltern. Bei Unterschreiten eines festgelegten tiefsten Wasserspiegels erfolgt die Abschaltung der Brunnenpumpe und die Ausgabe eines Alarms. Die Sonden können auch für die Messung zusätzlicher Parameter wie etwa Temperatur, Leitfähigkeit ausgestattet werden.

Wasserstandsschreiber

Der Wasserstandsschreiber ist ein analoger Stiftschreiber welcher die Messwerte auf eine kontinuierlich drehende Papiertrommel aufmalt. Der Wasserstand wird von einem Schwimmer über ein Seil an den Schreiber übertragen.

Trockenlaufschutz

Ein Trockenlaufschutz hat die Aufgabe die Brunnenpumpe beim Absinken des Wasserspiegels über ein vorgegebenes Maß abzuschalten, um ein Trockenlaufen und damit Überhitzen des Motors zu verhindern. Bei den beiden Förderbrunnen sind die entsprechenden Sonden vorhanden, jedoch nicht eingebaut.

Empfehlung: um eine kontinuierliche Überwachung der Brunnen- und Pumpenanlagen zu gewährleisten, sollte ein Mitarbeiter sowie ein Stellvertreter für diese Aufgaben benannt werden. Der Aufgabenbereich sollte die Durchführung der Messungen, die Erfassung und Aufzeichnung der gewonnenen Daten, sowie die Kontrolle der Pumpen, Wasserzähler und sonstiger elektrischer Einrichtungen umfassen.

Die gewonnenen Daten können in einem „Brunnenbuch“ tabellarisch erfasst werden. Um den Personaleinsatz möglichst gering zu halten und eine kontinuierliche Erfassung der Messwerte zu erhalten, ist der Einbau von Datenloggern sowohl in die Förder- als auch in die Sickerbrunnen zu empfehlen.

Bei einem Einsatz von Datenloggern kann die Erfassung bzw. Übertragung der Messwerte auf unterschiedliche Weise erfolgen.

So gibt es einmal die Möglichkeit die Sonden vor Ort mit Handgeräten oder Computer (Notebook; Laptop) auszulesen. Hierzu muss allerdings ein Mitarbeiter jedes Mal in die Brunnenstuben einsteigen und die Sonden mit dem Auslesegerät verbinden. Derartige Sonden sind mit einer Batterie und einem internen Speicher ausgestattet. Die Batterien haben eine Lebensdauer von mehreren Jahren. Die Speicherkapazität ist naturgemäß begrenzt und liegt bei ca. 17000 Messungen.

Eine andere Möglichkeit der Datenübertragung bieten Sonden, die ein elektrisches Signal aussenden (i.d.R. 5 bis 20 mA). Bei Verwendung solcher Sonden muss vorab geklärt werden, wie die Stromversorgung der Sonden (i.d.R. = 6 bis 36 V) hergestellt werden kann und wo die Daten erfasst und angezeigt werden sollen (Messwerte; Leittechnik). Für den Betrieb müssen entsprechend geeignete Kabel zu den einzelnen Brunnen verlegt werden.

Eine dritte Möglichkeit bieten Sonden mit einer Funkübertragung der Daten. Bei der Wahl solcher Sonden sollte mit dem Hersteller vorab geklärt werden, ob der Funkverkehr tatsächlich störungsfrei möglich ist.

Die Anzeigeeinrichtung sollte auf jeden Fall mit einer Alarmfunktion ausgestattet werden, die beim Überschreiten einer zuvor festgelegten Absenkung des Betriebswasserspiegels die Pumpe automatisch abschaltet.

Die vierte Möglichkeit ist die direkte Datenübertragung z.B. per LAN in die Leitwarte.

Betrieb eines Brunnens

Die Betriebsweise eines Brunnens hat auch Auswirkungen auf die Lebensdauer. Überbeanspruchung durch zu hohe Förderraten, intermittierender Betrieb, Nichtbeachtung von Leistungsrückgängen sowie vernachlässigte Wartung sind neben anderen Faktoren eine häufige Ursache von Brunnenalterungen.

Idealerweise sollte ein Brunnen bei etwa 75 % seiner maximalen Leistungsfähigkeit betrieben werden. Eine möglichst konstante Förderung mit geringen Veränderungen des Absenkspiegels helfen Verockerungserscheinungen zu vermeiden. Um Alterungserscheinungen frühzeitig zu erkennen sollten neben regelmäßigen Kamerabefahrungen und Auswertungen der Förderdaten, regelmäßige Leistungspumpversuche, am besten jährlich, durchgeführt werden. Dadurch können Leistungsabnahmen rechtzeitig erkannt und Regeneriermaßnahmen eingeleitet werden.

Kamerabefahrungen

Eine der wichtigsten Maßnahmen zur Zustandserfassung von Brunnen ist die in Augenscheinnahme durch ein Bild erzeugendes Instrument, z.B. der Brunnenkamera.

Die Ausbaukontrolle nach der Fertigstellung des Wasserfassungsbauwerkes dient der Beweissicherung für die durchgeführten Arbeiten. Durch die Sichtbarmachung von Zuständen im normal nicht zugänglichen Brunnenrohr, sind sofort der Alterungsgrad und die Ursache zu erkennen. Die Einmessung von Schäden und die optische Nachkontrolle nach Regenerierung und Sanierung sind ein wertvolles Instrument der Bewertung.

Brunnenkamerasysteme unterscheiden sich in drei grundsätzliche Typen: dem Axial System, dem Axial-Radial System und dem Schwenkkopfsystem.

Die Optiken können fokussierbar und teilweise sogar mit einem Zoomobjektiv versehen sein.

Pumpversuche

Die hydraulische Leistungsfähigkeit eines Brunnens lässt sich durch qualifizierte Pumpversuche feststellen. Im Vergleich mit Altmessungen oder durch Vergleich von Messungen vor und nach Regeneriermaßnahmen können Veränderungen und Regeneriererfolge optimal nachgewiesen werden.

Pumpversuche werden durchgeführt, um aus den Änderungen der Wasserstände in den Messstellen sowie der Beschaffenheit und Temperatur des geförderten Wassers geohydraulische und betriebstechnische Informationen zu gewinnen. Pumpversuche werden entsprechend ihrer Zielsetzung untergliedert in:

- *Langzeitpumpversuch (Aquifertest): Dieser Test dient der Ermittlung von Aquifer- und Brunneneigenschaften, der Identifikation des Strömungssystems sowie der Bestimmung der Entnahmebreite und des Absenkungstrichters. Der Versuch wird einstufig mit konstanter Entnahmerate über mehrere Tage oder auch Wochen gefahren. Die Wasserstände sollten dabei nicht nur im Förderbrunnen selbst, sondern auch in benachbarten Beobachtungsmessstellen erfasst werden.*
- *Kurzzeitpumpversuch (Pumptest): Dieser Test dient ebenfalls der Ermittlung hydraulischer Kenndaten des Aquifers. Aufgrund der kurzen Pumpphase (mindestens 4 h) sollten mit diesen Werten lediglich qualitative Aussagen über die lokalen Aquifereigenschaften getroffen werden, quantitative Aussagen sind kritisch zu sehen.*

- *Stufenpumpversuche (Brunnentests): Bei hydrogeologischen Untersuchungen zur Wasserversorgung werden häufig Stufenpumpversuche (Brunnentests) durchgeführt. Dieser Test dient vor allem der Erstellung einer Leistungscharakteristik eines Brunnens und der Ermittlung von Brunnenverlusten.*
- *Gütepumpversuche: Diese Versuche dienen der messstellenspezifischen Festlegung von Abpumpkriterien und haben sich insbesondere bei langfristigen Überwachungsprogrammen mit kontinuierlicher Beprobung bewährt.*
- *Pumpversuche zur Probenahme: Der Abpumpvorgang dient hier lediglich der Entnahme von Grundwasserproben*

Die aufgeführten Ziele können z.T. in einem Pumpversuchstyp kombiniert werden, z.B. Kurzpumpversuch zur Probenahme.

Diese können auch notwendig werden, wenn z.B. die wasserrechtliche Genehmigung eines bestehenden Brunnens verlängert werden soll. Wegen der Länge solcher Pumpversuche ist heutzutage die elektronische Datenerfassung unabdingbar. Die Kriterien des Arbeitsblattes nach DVGW W 111 müssen in vorbildlicher Weise erfüllt werden.

Regeneriermaßnahmen

Die Reaktivierung der Förderfähigkeit einer Wasserfassungsanlage, z.B. vertikale und horizontale Brunnen, durch eine optimale Reinigung der Porenräume ist die Grundlage zur Werterhaltung der Wassergewinnungsanlage.

Für die Verfahren der Brunnenregenerierung gilt aber folgendes: Es ist kein universelles mechanisches sowie chemisches Verfahren am Markt vorhanden welches in jedem Brunnen sowie bei jedem Alterungszustand erfolgreich eingesetzt werden kann.

Die verschiedenen Ausbaumethoden der Brunnen sowie deren Herstellung und die darin ggf. durchgeführten Regenerier- & Sanierungsverfahren sind sehr unterschiedlich und komplex wie deren Alterungszustand. Dementsprechend müssen die einzusetzenden Verfahren zur Reaktivierung der Förderfähigkeit der Wasserfassungsanlagen genauso vielfältig und effektiv sowie speziell an den entsprechenden Brunnen angepasst sein um eine optimale Reinigung der Porenräume zu erreichen.

Das optimale Verfahren zur Regenerierung muss aber nicht zwangsläufig zum Einsatz kommen, wenn die Bearbeitungszeit zu lang ist und somit die Wirtschaftlichkeit des gewählten Verfahrens nicht mehr gegeben ist. Oder die mechanischen Belastungen des Verfahrens den Brunnenausbau beeinträchtigen und die Standsicherheit gefährden. In diesem Fall muss ein Kompromiss zwischen optimalen Wirkungsgrad und möglichst größter Wirtschaftlichkeit gefunden werden. Auch genehmigungstechnische Gründe wegen Umweltverträglichkeit können das technisch optimalste Verfahren nicht zur Anwendung kommen lassen.

Eine effektiv erfolgreiche Regenerierung muss nach DVGW Richtlinie W130 die folgenden Bedingungen unbedingt erfüllen:

Gleichzeitiges Trennen, Mobilisieren, Austragen und Kontrollieren!

Grundsätzlich aber gilt: Mechanische Regenerierverfahren sind der chemischen Regenerierung immer vorzuziehen, der Einsatz von chemischen Regeneriermitteln ist auf das notwendigste zu reduzieren.

Aus diesem Grund sind einige Kriterien zu beachten welche durch einen Abfragekatalog abzuarbeiten sind um ein geeignetes Verfahren unter Berücksichtigung der o.a. Aspekte auszuwählen.

Prüfliste

Mechanische Regenerierverfahren:

- Wie hoch ist die mechanische Belastung für den Brunnenausbau?*
- Wird das mechanische Verfahren den Brunnenausbau beschädigen?*
- Wie weit ist die Eindringtiefe des mechanischen Verfahrens?*
- Wie weit wird die Filterkiesschüttung von Wirkmechanismen durchdrungen?*
- Werden Einwirkungen an der Bohraureole erreicht?*
- Werden Verdichtungen in der Kiesschüttung erzeugt?*
- Werden Verdichtungen im Gebirge erzeugt?*
- Wird der Filterkies durch das mechanische Verfahren verändert?*

Chemische Regenerierverfahren:

- Wird die Verwendung von Chemikalien im entsprechenden Brunnen von der unteren Wasserbehörde genehmigt?*
- Welche Chemikalien sind im entsprechenden Brunnen von der unteren Wasserbehörde genehmigungsfähig?*
- Welche Auswirkungen hat die gewählte Chemikalie auf den Brunnenausbau?*
- Wie sind die Auswirkungen der einzusetzenden Chemikalie, z.B. Anlösungen des anstehenden Gebirges?
Säuren können z.B. kalkhaltiges Gestein an- bzw. auflösen, da Säuren aufgrund der besseren Reaktionsfähigkeit zuerst mit dem Kalk reagieren und mit Eisen und Manganablagerungen nur langsam reagieren und damit länger brauchen um die Ablagerungen abzubauen. Dadurch wird erheblich mehr Chemie benötigt, welche dann ins Aquifer abdriften kann und das Grundwasser beeinträchtigt!*
- Sind in Betrieb stehende, benachbarte Brunnen beeinträchtigt?*
- Ist der Einsatz einer Chemikalie wegen ggf. langer Reaktionszeiten im Kieswaschprozess mit Umspülkammer (Kieswäscher) überhaupt möglich?
Nachweislich benötigen chemische Regeneriermittel eine spezifische Reaktionszeit um Inkrustierungen zu lösen. Zusätzlich muss die Chemikalie im Filterkies umgespült werden um gelöste Inkrustierungen abzuführen und frische Chemikalien an die Inkrustationsoberfläche zu bringen. Nur so wird ein Abschälungsprozess in Gang gebracht welcher es der Chemie ermöglicht immer tiefer in die, von Ablagerungen behaftete, Kiesschüttung einzudringen und ggf. auch die Bohraureole erreicht um Spülungsreste und äußere Kolmation aufzulösen.*
- Ist die Zeit für ausreichendes klar und neutral Pumpen gegeben?*
- Kann die Chemie bei starken Inkrustierungen (Verockerungen) überhaupt tief genug in den Filterkies eindringen?
Die Zeit hierfür wird oft unterschätzt und wird oft falsch kalkuliert. Je mehr Chemikalien ins Aquifer abdriften, desto länger dauert das neutral Pumpen.*
- Ist die Ableitung in die Vorflut oder die Versickerung im Gelände technisch und gefahrlos möglich?*
- Ist die Neutralisierung und Entsorgung der Restwässer möglich und geklärt?
Dieser Punkt sehr wichtig weil er hohe Kosten durch Deponierung erzeugen kann.*

Wenn chemische Verfahren eingesetzt werden muss vorab eine mechanische Reinigung erfolgen um vorab so viel wie möglich an Ablagerungen aus dem Brunnen herausgearbeitet werden um den Einsatz der Chemie auf das notwendigste zu beschränken. Dies ist in der Gesetzgebung sowie den Richtlinien der DWGW W130 zwingen vorgeschrieben.

Eine intensive Nachentwicklung des Brunnens nach der chemischen Regenerierung ist unbedingt notwendig um die nutzbaren Porenräume effektiv zu reinigen und den Übergangsbereich Kiesfilter / Gebirge optimal zu entwickeln. Die zur chemischen Reinigung verwendeten Umspülkammern oder Kieswäscher können in der Regel den Effekt der Schleppkraftaktivierung nicht erzeugen um alle mobilisierbaren Stoffe aus dem Kiesfilter, der Bohraureole sowie dem nah angrenzenden Gebirge abzuführen.

Eine effektiv erfolgreiche Regenerierung muss, sowohl bei mechanischer wie auch chemischer Regenerierung die technischen Bedingungen des gleichzeitigen Trennen, Mobilisieren, Austragen und Kontrollieren erfüllen.

Das bedeutet, dass das Regeneriersystem im Arbeitsprozess gleichzeitig die Ablagerungen und Inkrustierungen vom Brunnenausbau, dem Filterkies und dem Gebirgen ablöst, die gelösten Stoffe in Bewegung bringt, aus dem Brunnenraum abführt und durch kontinuierliche Austragskontrolle den Regenerierfortschritt messbar macht. Mit kontinuierlicher Austragskontrolle ist aber keineswegs eine intervallartige Probenahme aus dem Vollstrom gemeint, sondern eine ununterbrochene Überwachung der ausgepumpten Regenerierwässer im 50µ oder 63µ Sieb aus dem Voll- oder Teilstrom. So kann der Austragsprozess überwacht und Beendigungs- und Abbruchskriterien eingehalten werden. Die kontinuierliche Austragskontrolle ist der abschnittweisen Probenahme überlegen, wenn es um plötzlich eintretende Veränderungen wie z.B. Kiesförderung geht. Es kann dann sofort reagiert werden. 5 Minuten Kiesförderung können schon erhebliche Schäden am Brunnenbauwerk erzeugen.

Zur näheren Abschätzung der Feinschlammfraktion kann die in Intervallen durchgeführte Eimerprobe ergänzt werden.

Um annähernd gute Massenbilanzen zu erhalten wäre allerdings eine fast vollständige Abtrennung aller gelösten Stoffe aus dem Förderwasser durch Hydrozyklone, Separatoren, Desander und Desilter erforderlich. In diesem Fall wäre die optimale Entsorgung der Austragsstoffe möglich. Das vorgereinigte Regenerierwasser wäre dann einfacher abzuführen oder ggf. sogar als Auflastwasser bei Entsandungsarbeiten mit Seiher oder Kolbenkammer nutzbar. Bei chemischen Belastungen wäre das Wasser optimal vorbereitet um weitergehende Reinigungen z.B. durch Aktivkohlefilter durchzuführen. Es kann auch über eine nachgeschaltete Ausflockung von Schwebstoffen durch biologisch abbaubare Flockungsmittel die Schmutzfracht im Regenerierwasser reduziert werden.

Die Wiederherstellung der optimalen Förderfähigkeit einer Wasserfassungsanlage, z.B. eines vertikalen Brunnens, kann nicht billig sein.

Um eine nachweislich wirkungsvolle und nachhaltige Rückgewinnung der Leistungsfähigkeit durch Regeneriermaßnahmen zu erhalten sind unbedingt die Vorgaben der gültigen Regelwerke sowie der manchmal schon fortgeschrittene Stand der Technik einzuhalten, die Regelwerke hinken der aktuellen technischen Entwicklung meist um Jahre nach.

Was ist zu tun und zu beachten um eine langfristige, werterhaltende Regenerierung durchzuführen:

- *Mechanische Regenerierungen*

*Für den Einsatz von mechanischen Regenerierverfahren muss unbedingt darauf geachtet werden, dass von dem gewählten Verfahren die Kriterien für eine optimale Reinigung der nutzbaren Porenräume eingehalten werden, nämlich: **gleichzeitiges Trennen, Mobilisieren, Austragen und Kontrollieren!***

Zusätzlich muss die Wirksamkeit, die Eindringtiefe sowie die Beeinträchtigung von Brunnenausbau, Filterkiesschüttung und Gebirge durch die Verfahrenstechnik beachtet werden.

Die Einhaltung der Kriterien bedeutet, dass bei jeder Art von Reinigungstechnik gleichzeitig, ausreichend abgepumpt werden muss. Alle Verfahren die diese Mindestbedingungen nicht erfüllen scheiden als Regenerierverfahren aus und können bei nachgewiesener, ausreichender Einwirkung nur als Vorreinigung oder Lösungsaktivierung verwendet werden. Dazu zählen reines Bürsten, Kolben, Ultraschall, Pulsen, Sprengung, Druckspülung, Auskochen, CO² Injektion.

- *Chemische Regenerierungen*

*Die Reinigung der Brunnenrohre, Filterstrecken und Kiesfilter sowie ggf. des angrenzenden Gebirges durch Chemikalien ist immer zeitabhängig, egal mit welchem technischen Verfahren die chemische Regenerierung durchgeführt wird. Die Reaktionszeit der verwendeten Chemikalie hängt ab von der erreichten pH-Wert Absenkung oder Erhöhung im entsprechenden Reinigungsabschnitt, den Ablagerungs- und Inkrustationsstoffen, der verwendeten Regeneriermittel, der eingesetzten Regeneriertechnik, der richtigen Anwendung der Verfahrenstechnik sowie der Strömungsgeschwindigkeit des Grundwassers. Die Zeit ist nicht planbar. Natürlich liegen für viele Regeneriermittel und Regenerierverfahren Erfahrungswerte vor. Da aber der tatsächliche Alterungszustand und Inkrustationsgrad hinter der Brunnenwand unbekannt ist, können alle Zeitangaben nur sehr grobe Schätzwerte für Angebotskalkulationen sein. Ein rein statisches Verbleiben einer Regenerierlösung im Brunnen ist nicht fachmännisch. Wenn einfach nach einer festgelegten Reaktionszeit das Regenerierwasser wieder abgepumpt wird, werden Inkrustationen nur oberflächlich angelöst und nicht ausreichend aus dem Brunnen abtransportiert, zudem besteht noch die Gefahr der Verdriftung von Chemie in das Grundwasser welches unerwünscht und gemäß Wasserhaushaltsgesetz auch verboten ist. Zusätzlich werden die neutral und klar Pumpzeiten drastisch erhöht. Der Grund für die geringe Reinigungsleistung beim statischen Verbleiben ist: a) die unzureichende Durchdringung des Kiesfilterraumes
b) die entstehende Passivierungsschicht am inkrustierten Kieskorn welche eine weitere Ablösung von Inkrustierungen durch unverbrauchte Regenerierlösung erschwert oder verhindert.*

c) das schwerkraftinduzierte Absinken der dichteren Regenerierlösung im Brunnen während des statischen Verbleibens.

Nur eine bewegte Regenerierlösung welche, am besten im Kreislauf, immer wieder frische Chemie an die behafteten Oberflächen bringt und gelöste Ablagerungen abfördert, garantiert die optimale Ablösung der Anhaftungen wobei eine regelmäßige Umkehrung des Spülkreislaufes Brückenbildungen aufbricht. Der Eintrag von Vibrationen oder leichten Druckwellenimpulsen kann ebenfalls hilfreich sein. Die gleichzeitig kontrollierte Nachführung von Chemielösung zum Reinigungsabschnitt zur Erhaltung der erforderlichen pH-Wert Absenkung oder Erhöhung ist ebenfalls

gewährleisten.

Die regelmäßige Kontrolle des Ablöseprozesses ermöglicht die optimale Steuerung und Kontrolle der Reinigung. Nach Erreichen der Abbruchkriterien wird der gereinigte Abschnitt abgepumpt bis ausreichend Regenerierwasser entfernt ist.

Verfahren zur hydromechanischen Regenerierung welche die Kriterien erfüllen können gehören:

1. *Bürsten mit gleichzeitigem Abpumpen*
Bürsten und Intensiventnahme (partiell Entsanden): Eine sehr gute Regeneriermethode, aber nur bei weichen Ablagerungen. Wirtiefe bis weit in die Kiesschüttung, oft sogar bis zur Bohrlochwand und ins Gebirge
2. *Kolben mit gleichzeitigem Abpumpen*
Kolben und Intensiventnahme (partiell Entsanden): Eine sehr gute Regeneriermethode, aber nur bei weichen Ablagerungen. Wirtiefe bis weit in die Kiesschüttung, oft sogar bis zur Bohrlochwand und ins Gebirge.
3. *Niederdruckspülung mit gleichzeitigem Abpumpen*
Erzeugung des Wasserdruckes mit Spülpumpen (vom Bohren) oder Unterwassermotorpumpen mit aufmontiertem Radialspülkopf bis zum Kärcher, bei Drücken von 10 bar bis etwa 200bar (= Niederdruck). Zwangsrotierende Düsen durch Unterwassermotor oder mit Gestänge und Kraftdrehkopf, durch Wasserkraft rotierende Düsen. Bei gleichzeitiger Förderung von Grundwasser, und zwar eines mehrfachen des eingebrachten Regenerierwassers sind diese durchaus wirksame Methoden, die in der Lage sind weiche bis mittelharte Ablagerungen zu lösen. Die Wirtiefe kann unter günstigen Umständen (z.B. bei Wickeldrahtfiltern und dünner Kiesschüttung) bis zur Bohrlochwand reichen. Regeneriermittel: Trinkwasser
4. *Hochdruckinnenspülung mit gleichzeitigem Abpumpen*
Erzeugung des Wasserdruckes mit Spülpumpen, bei Drücken von 150 bar bis etwa 500bar. Zwangsrotierende Düsen durch Unterwassermotor oder mit Gestänge und Kraftdrehkopf, durch Wasserkraft rotierende Düsen. Bei gleichzeitiger Förderung von Grundwasser, und zwar eines mehrfachen des eingebrachten Regenerierwassers sind diese durchaus wirksame Methoden, die in der Lage sind weiche bis mittelharte Ablagerungen zu lösen. Die Wirtiefe kann unter günstigen Umständen (z.B. bei Wickeldrahtfiltern und dünner Kiesschüttung) bis zur Bohrlochwand reichen. Regeneriermittel: Trinkwasser
5. *Hochdruckinnenspülung mit induziertem Druckwellenimpuls mit Doppelrotationsdüsen*
Die Hochdruckinnenspülung mit Doppelrotationsdüse hat Einwirkungstiefen bis vielleicht 45 cm hinter die Filterohraußenwand bei Spüldrücken bis 500 bar! Dabei ist jedoch zu beachten, dass bei den dazu einzustellenden Drücken von 400 bis zu 500 bar, Umlagerungen so der Kiesel- und Geröllschüttung sowie Zerreibungen der Kieselkörner die Folge sein können! Der hohe Sandaustrag in diesem Fall ist eventuell dann zum Teil dem Abrieb der Kieselkörner geschuldet welches dann als Unterkorn durch die Filterschlitze gesaugt wird. Das gleichzeitig trennen, austragen und kontrollieren bei gleichzeitigem Abpumpen ist gewährleistet. Die Fördermenge kann, in Abhängigkeit des Durchmesser des Brunnen, ein Vielfaches der Spülwassermenge sein. Je größer der Faktor, desto besser die Wirkung. Die Spülwassermenge liegt je nach verwendeter Hochdruckpumpe bei 1,5 bis 3,5 l/s (90 l/min oder 5,4 m³/h bis 210 l/min oder 12,6 m³/h). In kleineren Durchmessern von 4“ bis 5“ Filtern sollte die Pump Rate immer noch mindestens 2x so hoch sein wie die eingebrachte Spülwassermenge. In Abhängigkeit des Gebirges, der Kornfraktion, des kf-Wertes sowie des

Grundwasserstandes und des Wasserandranges kann bei größeren Filterdurchmessern die Fördermenge bis zum 10-fachen gesteigert und bei ausreichender Leistungsfähigkeit des Aquifers auch darüber gesteigert werden.

Zur näheren Erklärung der Wirkungsweise zitiere ich hier Herman Etschel:

„Aufgrund welcher physikalischen Gesetze funktioniert der Hochdruckinnenspülung mit Doppelrotationsdüse ?

Die beiden übereinander (in definiertem Abstand) angeordneten Düsenpaare drehen sich durch die Rückstoßwirkung der Düsen gegenläufig mit sehr hoher Drehzahl. Die Drehzahl hängt vom Rotordurchmesser (etwas geringer als der Filterinnendurchmesser), der Düsenkonfiguration und dem am Düsenaggregat anstehenden Pumpendruck (= Pumpendruck abzüglich Druckverlust im Schlauch) ab. Impulse entstehen beim der Hochdruckinnenspülung mit Doppelrotationsdüse ab etwa 270 bar Pumpendruck und ca. 200m Schlauch. Ab 270 bar kann man somit von einem Druckwellenimpulsverfahren mit Wasserhochdruck gemäß DVGW W 130 sprechen. Unterhalb 270 bar ist die Hochdruckinnenspülung mit Doppelrotationsdüse nichts anders als ein Hoch- oder Niederdruckspülverfahren. Die Drehzahl kann durch Erhöhung von Pumpmenge und -druck bis auf etwa 10.000 U/min gesteigert werden. Unterwassermotoren erreichen diese Drehzahlen nicht. Es entsteht, jenseits der 270 bar-Marke, oberhalb und unterhalb der beiden Düsenpaare eine „Kaltwasserdampfblase“ mit vakuumnahen Unterdruck. Diese versucht sich ständig vom Brunnen her mit Wasser aufzufüllen, was lokal eine enorme Sogwirkung auslöst. *(Es wird eine Konvektionsströmung erzeugt, welche die lösbaren und mobilisierbaren Stoffe aus der Kiesschüttung in den Brunnen transportiert. Dieser Prozess wird von der Brunnenpumpe massiv unterstützt.)*

Gleichzeitig dichten diese Blasen nach oben und unten wie ein absolut dichter Kolben (Packer) ab. Die Strömung, die durch das Regenerierwasser und das gleichzeitige Abpumpen mit der U-Pumpe entsteht, wird gezwungen von unten und oben durch die Filterschlitz und den Filterkies zu fließen. Das Düsenaggregat wird kontinuierlich auf und ab gefahren.

Die Impulse bringen die Kieskörner und die Rohre zum Schwingen, was zu einer Abtrennung von weichen bis betonharten Verkrustungen führt. Es werden also die, durch die Impulse von Rohr und Kies abgetrennten, Partikel sofort ins Brunneninnere transportiert und von dort, als Schlamm und Feststoff simultan zu Tage gefördert. Sie können, wenn sich die Kieskörner wieder setzen, die Zwickelräume also nicht wieder verfüllen. Zeitliche Intervalle für die Kontrolle (Probenentnahme), also in Minuten, wie sie W 130 vorschlägt, sind beim der Hochdruckinnenspülung mit Doppelrotationsdüse nicht zielführend. In der Praxis – bei hunderten von Brunnenregenerierungen – hat sich die Probenentnahme immer am oberen Wendepunkt beim Aufwärtsfahren als richtig erwiesen. Dies gilt auch dann, wenn nur noch Teilstrecken des Filterstranges bearbeitet werden. Die entnommenen Proben können direkt miteinander verglichen werden. Da die Zeit für einen Abwärts- und einen Aufwärtstrip von Fahrgeschwindigkeit und Brunnentiefe abhängt, sind die Zeitintervalle natürlich von Brunnen zu Brunnen unterschiedlich. Je nach Brunnentiefe sind das meist Intervalle von etwa 5 bis 15 Minuten. Wodurch unterscheidet sich die Hochdruckinnenspülung mit Doppelrotationsdüse nun von anderen, ähnlichen Geräten (Druckspülverfahren)?

Die bei über 250 bar entstehenden Impulse, steuerbar, mit unterschiedlichen Frequenzen, bringen alle Brunneteile in Schwingung. Hat sich die Anbindung der Verkrustungen am Filterkieskorn erst einmal gelöst, geraten die einzelnen Kieskörner lokal, um den Düsenkopf, in erhöhte Bewegung und reiben aneinander. Nun können die Reste der Anhaftungen noch mechanisch „abgeschliffen“ werden. Dabei können

natürlich nichtmonolithische Kieskörner zerbrechen. Sie werden dann als „Unterkorn-Splitter“ einfach mit abgepumpt. Es sind deshalb, bei nichtmonolithischem Filterkies, erhebliche Setzungen der Kiesschüttung zu beobachten.“ Von Hermann Etschel **(Hier ist kritisch folgendes anzumerken: Die Setzungen und Verdichtungen der Kiesschüttung werden wie beschrieben durch die erzeugten Schwingungen und Druckimpulse erzeugt. Dieses führt zu den Setzungen der Kiesschüttung und damit zur Verdichtung, sprich Abnahme der Porosität. Dadurch wird der Durchlässigkeitsbeiwert der Kiesschüttung verringert. Die Folge wird ein geringerer Wasserdurchfluss sein! Auch Glaskugeln werden bei den hohen Spüldrücken von 400 bis 500 bar zerstört. Doppelte oder dreifache Kiesschüttungen werden dabei durchmischt beziehungsweise zerstört. Bezüglich der Nachschüttung von Kies in dem Ringraum sei gesagt, das dieses natürlich nur bei der süddeutsche Bauweise mit Sperrrohr bis zum Filterrohr und ohne Ringraumabdichtung möglich ist.)**

Erklärend sei dazu gesagt, dass das Verfahren durch die Firma Nocon erfunden wurde und durch die Firma Etschel Brunnenservice weiterentwickelt wurde, aber durch den langjährigen Einsatz und Erprobung und eines sehr guten Marketings zur maximalen Leistung und Bekanntheit gebracht wurde. Diese Verfahren wird mittlerweile von vielen Regenerierfirmen angewendet.

Aber, wo Licht ist, ist auch Schatten oder wo viel Spüldruck anliegt wirkt große Zerstörungskraft!

Die Hochdruckinnenspülung mit hohen Spüldrücken und hohen Wassermengen steht aber in der Fachwelt in zunehmender Kritik. Die Effekt der Spülstrahlen in der Kiesschüttung sind:

Umlagerung und Durchmischung der Filterkiesschüttung

Zerreibung der Kieskörner durch Drehbewegungen der Kieskörner und Reibung an benachbarten Körnern bei zu hohen Drücken (aber etwa 240 bar).

Zusätzlich besteht immer die Gefahr der Beschädigung der Ausbauperipherie, insbesondere bei Kunststoff, Holz, Faserzement, beschichtetem Stahl und korrosionsgeschwächten Stahlrohren. Bei der Verwendung von hohen Spüldrücken ab 200 bar. Bei Glasfaser Rohren (GFK) können sogar geringere Spüldrücke ausreichen um das GFK-Rohr zu beschädigen.

6. **Intensiventsandung mit gleichzeitigem Abpumpen**

Die partielle Intensiventsandung soll die Porenraumreinigung des Filterkieses bewirken sowie Verstopfung der Bohraureole beseitigen und eine Entwicklung eines natürlichen Korngerüsts im anstehenden Gebirge durch Aktivierung der Schleppkräfte in einem definierten Bereich der Filterrohrstrecke erreichen. Die Entwicklungstechnik für neu erstellte Brunnen funktioniert natürlich auch bestens bei der Regenerierung von Brunnen. Das Ziel ist dasselbe: Reinigung der nutzbaren Porenräume. Es gibt drei Verfahrensarten.

6.a Intensiventsandungsarbeiten mit dem Entsandungsseiherr

Dieser Textabschnitt stammt von Tholen:

Bei den sog. Intensiventsandungsmaßnahmen nach dem DVGW W 117 heute W 119 kommt in der Regel ein Entsandungsseiherr in Verbindung mit Luftförderung zum Einsatz.

Der Entsandungsseiherr kann mittels Druckluft betrieben werden, tief liegende Wsp. bzw. große Absenkungen setzen ihm evtl. Grenzen. Sein Vorteil liegt in der Tatsache, daß nur Luft und kein sandhaltiges Wasser gepumpt wird. Außerdem lässt sich der

Seiher auch in engen Brunnen einsetzen. Erschwert wird durch die Förderung eines Luft-Wasser-Gemisches allerdings die Mengen- und Sandführungsmessungen. Zum Messen der Fördermenge sind also ein Überlaufwehr oder Meßkasten erforderlich, zur Sandmengenerfassung offene Siebkonstruktionen. Bei sehr hoch liegendem Wasserspiegel kann der Seiher auch das Ende der Saugleitung einer Verdrängerpumpe bilden, wobei wieder die Sandförderung zu berücksichtigen ist. Der Erfolg beim Abpumpen kann durch das sogenannte "Schocken" gesteigert werden. Hierunter versteht man das abwechselnde Ein- und Ausschalten der Fördereinrichtung. Nach dem Ausschalten strömt das in der Steigleitung befindliche Wasser in den Brunnen zurück und zerstört die aufgebauten Kornbrücken. Beim erneuten Anschalten kommt es zu einem Anreißen des Wassers mit entsprechend besserer Entsandungswirkung. Die Intervalle beim Ein- und Ausschalten sollten so gewählt werden, daß der maximal mögliche abgesenkte Wasserspiegel (Beharrungszustand) beim Abpumpen annähernd erreicht wird. Die Fördereinrichtung sollte so lange ausgeschaltet bleiben, bis beim Zurückströmen der Ruhewasserspiegel fast erreicht ist. Von Tholen

*6.b Intensiventsandungsarbeiten mit der Entsandungsscheibenpumpe
Wie bei dem Entsandungsseiher wird eine mit Scheibenmanschetten versehene Brunnenpumpe abschnittsweise in der Filterstecke betrieben. Die Pumpe kann intermittierend betrieben werden um zusätzliche Druckschwankungen zu erzeugen. Die Rückschlagklappe ist dabei zu entfernen um bei Abschalten der Pumpe das schnell rückfließende Wasser in den Filterraum zu Leiten um ebenfalls Materialbücken aufzubrechen. Dieses Verfahren kann mit einem zusätzlichen Druckwellenimpulseintrag durch einen Druckwellengenerator unterstützt werden. Die Scheibenkammer kann statisch oder bewegt betrieben werden.*

7. Hochleistungsentsandung

Eine Weiterentwicklung der klassischen Intensiventsandung ist die Hochleistungsentsandung. Diese ursprünglich für die Entwicklung von Brunnen gedachte Methode eignet sich auch für die Regenerierung von Brunnen. Ziel ist die Porenreinigung des Filterkorns im Ringraum zwischen Filterrohr, dem natürlichen Gebirge, sowie der Bohraureole. Die Hochleistungsentsandung wird u.a. mit symmetrischen Kolbenkammern mit Doppelkolbenkammern (SDKK®, DKSK®) oder inzwischen mit Dreifachkolbenkammern (Trikk®) durchgeführt. Diese Kammern können statisch oder bewegt im Brunnen eingesetzt und mit oder ohne Druckstoßwellen durch Impulsgeneratoren verwendet werden. Die Abmessungen der Doppelkolben Kammern werden dem zu bearbeitenden Brunnenausbau angepasst. Um eine gute Abdichtung im Brunnenrohr, insbesondere bei Wickeldrahtfiltern, zu erreichen werden z.B. Schaumstoffkolben verwendet. Die Kombination von den Brunnen angepassten Kammerförderrate sowie der Entnahmetechnik ermöglichen die Erzeugung von ausreichend hohen Strömungsgeschwindigkeiten des geförderten Wassers um dessen Schleppkräfte zu aktivieren und so eine ausreichende Reinigung aller relevanten Porenräume in der äußeren Umgebung des Brunnenfilterrohres zu erreichen. Wichtig ist dabei zu wissen, dass bei der symmetrische Doppelkolbenkammer ca. 80 % des geförderten Wassers aus dem Brunnen kommen und an den Packerkolben vorbei durch die Kiesschüttung gezwungen werden. Durch die hohe Förderrate werden die Schleppkraft des Wassers optimal genutzt um die Kiesschüttung von mobilisierbaren Partikeln zu befreien. Die restlichen 20 % strömen der Entnahmekammer aus dem Aquifer zu. Dadurch ist der hydraulische Effekt

welcher die Mobilisierung von Partikeln auch an der Bohraureole erzeugt zu erklären. Ergänzt wird der Prozess durch Druckwellenimpulseintrag. Alternativ kann die Entnahme Kammer bewegt gefahren werden und mit schockendem Pumpenbetrieb unterstützt werden.

(Hier ist kritisch folgendes anzumerken: Durch die Verwendung von Druckimpulswellen durch Plusgeneratoren wird die Setzungen und Verdichtungen der Kiesschüttung induziert. Dieses führt zu den Setzungen der Kiesschüttung und damit zur Verdichtung, sprich Abnahme der Porosität. Dadurch wird der Durchlässigkeitsbeiwert der Kiesschüttung verringert. Die Folge wird ein geringerer Wasserdurchfluss sein! Bei Glaskugeln als Kiesschüttung soll wegen der thixotropen Eigenschaften von Glaskugeln der Eintrag von Druckwellen durch Druckimpulsenergiegeneratoren nicht angewendet werden.)

Zu näheren Erklärung des Verfahrens zitiere ich hier einen Mitentwickler, Peter Nillert, des HLE Verfahrens:

„Die symmetrische Doppelkolbenkammer ist für die abschnittsweise Förderung in einem Brunnenfilter geeignet. Diese Technologie bringt, im Vergleich mit anderen Techniken der Entnahme, nachgewiesenermaßen bedeutend höhere Strömungsgeschwindigkeiten des Grundwassers im zu entsandenden bzw. zu reinigenden Abschnitt. „Die ohne Überlappung aneinandergrenzenden Arbeitsabschnitte haben die Länge der Kammeröffnung bzw. eines Begrenzungskolbens von jeweils 0,5 Metern. Die Wirkungsweise der symmetrischen Doppelkolbenkammer beruht auf der optimalen Ausnutzung der sich in der Umgebung einer Entnahmekammer einstellenden Brunnenanströmung. Dabei wird die größte Strömungsgeschwindigkeit bzw. Porenreinigung im Filterkorn gegenüber den Begrenzungskolben erzeugt. Die intensivste Reinigung der Bohraureole bis in den angrenzenden Grundwasserleiter wird allerdings gegenüber der zentralen Kammeröffnung erzielt. Im DVGW Merkblatt W 130 „Brunnenregenerierung“ wird auf die entscheidende Bedeutung der gleichzeitigen Trennung des Verbundes zwischen Ablagerungen und Filterkorn und Austrag der abgelösten Partikel hingewiesen. Präzisierend ist hierzu festzustellen, dass die zur Trennung empfohlenen Verfahren des Eintrags von Erschütterungen bzw. Impulsen in das Filterkorngefüge außerdem einen wesentlichen Beitrag zur Bewerkstelligung eines optimalen Austrages leisten, indem sie die hydraulisch wirksamen Porenkanaldurchmesser vergrößern. Die fiktive Aufweitung der Porenkanäle in Form der Vergrößerung des hydraulisch wirksamen Porenkanaldurchmessers und damit der Austragsmöglichkeit von Partikeln wird durch Vergrößerung des Durchgangsfaktors erzielt. Praktisch werden die den Partikelstrom durch die Porenkanäle behindernden Kräfte durch Eintrag von Erschütterungen bzw. Impulsen kurzzeitig reduziert. Hieraus leitet sich auch ab, dass die alleinige Umkehr der Strömungsrichtung beim sogenannten Schocken zwar entstandene Partikelbrücken aufbrechen und diesbezüglich die Porenkanäle immer wieder öffnen, aber eine Reduzierung der Kohäsions- und Adhäsionskräfte eher nicht bewirken kann und deshalb effizienten Verfahren des Impulseintrages unterlegen ist.“ (Nillert, GCI) Somit ist es möglich, alle lös- und austragbaren Feststoffe wie Schluff- und Feinsandkorn sowie Ocker- und Manganpartikel, mit ausreichender Strömungsgeschwindigkeit, also Schleppkraft, durch die nutzbaren Porenkanäle durch den Brunnenfilter in den Brunnen zu transportieren und abzuführen. Der gleichzeitige radiale kontinuierliche Impulseintrag sorgt für die permanente Lockerung des Korngefüges und bricht die sich ständig bildenden Materialbrücken (Verstopfungen) auf. Dies ermöglicht die andauernde Mobilisierung des anstehenden transportfähigen Materials. Die beeindruckende Wirkung der Verfahren von hoch beschleunigt

gefördertem Wasser durch die symmetrische Doppelkolbenkammer und kontinuierlicher Druckstoßwellen in simultanem Einsatz beruht auf den vergleichbaren räumlichen Reichweiten beider Verfahren, die sich im Zusammenspiel effizient ergänzen. Im anstehenden Gebirge des zu entsandenden Brunnen werden ebenfalls feststellbare Wirkungen erzielt. Die Vergrößerung der Filtergeschwindigkeit im hochleistungsentsandeten Brunnen ist nicht nur in der Filterschüttung sondern auch im Übergangsbereich Gebirge / Filterschüttung erreichbar. Mit den bisher verwendeten Manschettenkammern (Seihern) sind vergleichbare Einwirkungen und Sandaustragsmengen nicht zu erzielen. Konzipiert ist das Verfahren für Brunnen mit einem stabilen Stützkornfilter. Die eingebaute Kiesschüttung ist entsprechend dimensioniert um in die dichteste Lagerung gebracht zu werden und trotzdem den erforderlichen Porenraum und Durchlässigkeit aufzuweisen. Dann kann die Kiesschüttung bei Anwendung eines Druckwellenimpulsgenerators gefahrlos verwendet werden, da sich die Kiesschüttung nicht mehr nennenswert setzen kann. Diese Variante wird durch das aktuelle DVGW Regelwerk noch nicht berücksichtigt. Dieses Konzept ist bis jetzt in der Welt der Gelehrten sehr umstritten. Als Filterkornmaterial können Kies, Sand oder Glaskugeln im Brunnen eingebaut sein. Die für jeden Filtertyp und Durchmesser angepassten und speziell konfektionierten Dichtungselemente der Doppelkolbenkammer, garantieren die Vermeidung von Strömungsverlusten zwischen Kammerkolben und Filterrohr. Allerdings ist bei der Verwendung von Druckstoßwellen bei Brunnen im Bestand ohne Kiesschüttung mit stabilem Stützkornfilter, also bei fast 99 %, zu beachten, dass die Filterschüttung verdichtet werden kann. Vor allem bei Brunnen mit nicht ausreichend konsolidierter Filterschüttung kann es zu Setzungen kommen. Hier ist eine geophysikalische Voruntersuchung des Kiesfilters und der Tonsperre erforderlich.“ Von P. Nillert

8. Hochdruckentsandung

Die Hochdruckentsandung wird in am Markt in zwei Versionen angeboten.

Die einfache Version ist eine einfache Hochdruckkinnenspülung mit hohen Spüldrücken von 400 bis 500 bar, bei Verwendung von entweder einfachen Rotationsdüsen oder Doppelrotationsdüsen unter gleichzeitigem Abpumpen mit hoher Förderrate. Dabei wird der Kies natürlich durchmischt, verdichtet und viel Unterkorn ausgetragen. Doppelte Kiesschüttungen können dabei aber schon verändert bis zerstört werden.

Die effektivere Version ist die DWI ADKK Hochdruckentsandungskammer. Diese Technologie ist entwickelt worden um Neubaubrunnen ohne künstliche Filterschüttung entwickeln zu können und eine natürliche filterstabile Stützkorngerüst aufzubauen. Wenn die Geologie dafür geeignet ist, ist diese Version eine hervorragende Möglichkeit hoch durchlässige und langlebige Brunnen zu erstellen. Allerdings ist auch hier zu beachten die Spüldrücke unterhalb von Zerstörungskräften anzulegen um das Kieskorn nicht zu zerreiben und zu verdichten.

Je nach Konstruktion werden entweder Einfachrotationsdüsen oder Doppelrotationsdüsen einer Entnahmekammer vorgeschaltet, wobei die Entnahmekammern unterschiedlich ausgestaltet sein können. Bei der Anwendung müssen hohe Spüldrücke angelegt werden. Zweck der Konstruktion ist eine gezielte Durchmischung des Filterkieses und eine zwangsgeführte Strömung des Wassers durch die Filterschüttung, an dem unteren Packer vorbei in die Entnahmekammer. Dabei wird viel Unterkorn ausgetragen und auch Effekte bis in die Bohraureole

erreicht. Dabei wird der Kies natürlich durchmischt. Doppelte Kiesschüttungen können dabei aber schon verändert bis zerstört werden.

Zu näheren Erklärung des Verfahrens zitiere ich hier einen Mitentwickler, Peter Nillert, des DWI-ADKK-Verfahrens:

„Die DWI-ADKK-Technik ist die Anwendung von gegenläufigen Doppelrotationsdüsen zur Erzeugung eines hoch dynamischen Wirbel-Korn-Betts mit Fokussierung der Druckwellen vor der Entnahmekammer zur optimalen Porenraumstimulation in deren direktem Zufluss Bereich durch schräg angestellte Düsen. Die Erhöhung der Zufluss Raten bzw. Transportkräfte im radialen Zufluss Bereich vor der Entnahmekammer erfolgt durch eine asymmetrische Doppelkolbenkammer. Der Austrag grober Sedimentkörper infolge von Druckgradienten zwischen Wirbel-Korn-Bett der Hochdruckstrahlblase und dem umgebendem Grundwasser erfolgt auf kürzestem Fließweg ins Filterrohr mit nur geringem Wasserstrom, der in das Filterrohr entlastet. Sedimentkörner sinken dabei in den Brunnenumpf. Das Wasser tritt durch das Filterrohr wieder in den Aquifer aus. Der Austrag feiner Sedimentkörner infolge des Förderstromes erfolgt durch die Entnahmekammer. Die Korngrößen und die Reichweite sind von der Kammerförderrate abhängig. Große bis sehr große Reichweiten sind möglich. Die erforderliche Porenraumstimulation zur Aufrechterhaltung des Partikelstroms bzw. die Wiederholten Beseitigungen von entstehenden Kornbrücken leisten die Hochdruckstrahlen der Rotationsdüsen durch die Erzeugung von Impulsen mit hoher Frequenz (Druckwellen).“ Nillert

Soll bei der Brunnenregenerierung und Brunnenentwicklung Druckwellen erzeugende Pulsgeneratoren eingesetzt werden?

In der Brunnenregenerierung und Brunnenentwicklung werden verschiedene Arten von Druckwellen erzeugenden Pulsgeneratoren eingesetzt.

Gaspulsgenerator mit elektrischer Ventilsteuerung (Lufkanone oder Airgun)

Gaspulsgenerator mit Überdruck Ventilsteuerung (Wellburst)

Gaspulsgenerator mit Gegendruck Ventilsteuerung (Airburst®, Hydropuls®)

Gaspulsgenerator mit Knallgas

Wasserpulsgenerator mit elektrischer Ventilsteuerung (Wasserkonone oder Watergun)

Wasserpulsgenerator mit Gegendruck Ventilsteuerung (WELLSCREEN-hypop®)

Diese Technologie wurde in der Seismik und der Ölindustrie entwickelt. In der Seismik werden die Druckstöße der Generatoren als akustische Quelle genutzt um Wellen zu erzeugen welche mit Geophonen aufgenommen werden. In der Ölindustrie werden Pulsgeneratoren schon lange zur Stimulierung von Ölquellen verwendet. Luftkanonen werden auch in vielen anderen industriellen Bereichen zur Reinigung und zum Lösen von Materialien in z.B. Siloanlagen verwendet.

Deshalb ist die Patentierung von Systemen für den Brunnenbereich meiner Ansicht nach kritisch zu sehen, da alle Technologien schon lange vor den Patentierungen entwickelt waren und im Bohrlochbereich zur Entwicklung und Reaktivierung (Regenerierung) zum Einsatz kamen.

Die grundlegende Funktion eines Druckwellen Generators ist die schlagartige Erzeugung einer Druckwelle. Diese sollen im Idealfall in regelmäßigen Abständen möglichst Frequenz gesteuert ausgelöst werden. Die Druckwelle soll sich radial um den Generator ausbreiten.

Die erzeugte Druckwelle breitet sich im Wasser aus und wirkt auf den Brunnenausbau, die Kiesschüttung und das anstehende Gebirge ein.

An der Ausbauverrohrungen werden dadurch Erschütterungen erzeugt, welche Ablagerungen lösen können. Bei empfindlichen Verrohrungen (OBO, korrodierte Rohre) können dadurch Beschädigungen entstehen.

In der Kiesschüttung erzeugt die Druckwelle einen Bewegung und minimale Anhebung und somit kurzfristige Porenraumzunahme der Kieskörner. Zusätzlich wird bei unkonsolidierten Kiesschüttungen auch eine Zunahme der Lagerungsdichte der durch den Einrütteloeffekt erzeugt.

Brunnen die mit einer geeigneten Kiesschüttung dimensioniert sind (dichteste Lagerung der Kiesschüttung) sind für diese Entwicklungs- und Regenerierungstechniken mit Druckwellenimpulseintrag durch Impulsgeneratoren geeignet. Allerdings neigen diese Brunnen zur Kolmation und müssen häufiger mit einem durch Druckwellenimpulseintrag unterstützten Regeneriersystem gereinigt werden.

Und hier fängt der Streit der Gelehrten, Sachverständigen, Sachkundigen, Fachleute und Experten an und hat schon etwas von einem Glaubenskrieg.

Wie beschrieben verdichten Druckwellenstöße oder Druckwellenimpulse die Kiesschüttung und rütteln bei ausreichend langem Betrieb eine Kiesfraktion in seine dichteste Lagerung. Diese Technologie wird z.B. bei Beton zur Verdichtung sehr effektiv angewendet.

Dieser Fakt wird von einigen Sachverständigen intensiv beschrieben und vorgeführt. Die Verwendung von Druckwellengeneratoren wird von ihnen nicht empfohlen. Der Grund ist die Verdichtung der Kiesschüttung mit einer Abnahme des Porenraumes und eine zukünftige möglichen Kolmation der Kiesschüttung welche nicht mehr entfernt werden kann. Für Brunnenentwicklungen und auch Regenerierungen werden bewegte Kolbenkammern mit gleichzeitiger Abförderung vorgeschlagen. Die Bewegung der Kammer soll für Druckschwankungen sorgen welches Materialbrücken aufbrechen soll und sich ständig veränderte Strömungsrichtungen erzeugt um ein ausreichendes Auswaschen des Filterkieses zu ermöglichen.

Der Effekt des angehobenen Filterkorns bei Eintrag des Druckwellenstoßes, welcher für eine kurzfristige Porenraumzunahme und somit auch kurzfristig für einen besserer Materialdurchlässigkeit sorgt wir allerdings nicht bestritten.

Gemäß DWGW sollen Kiesschüttungen z.B. durch Kolben beim Einbau verdichtet werden um Setzungen im Brunnenbetrieb zu vermeiden. Dabei geht der Filterkies aber nicht in seine dichteste Lagerung.

Druckwellengeneratoren können dabei helfen, die Kiesschüttung effektiv zu konsolidieren, dabei ist allerdings zu beachten, dass die Kiesschüttung für die dichteste Lagerung dimensioniert wird um einen ausreichenden verbleibenden Porenraum zu erhalten. Die aktuelle DVGW Richtlinie W113 ist hier nicht ausreichend. Hilfe bieten die von Nillert in bbr 11-2014 veröffentlichten Nomogramme zur Dimensionierung eines stabilen Stützkornfilters. Aber auch in diesem Fall herrscht wieder der Glaubenskrieg zwischen den „Gelehrten“!

Ist die Kiesschüttung entsprechend dimensioniert, kann ein neu gebauter Brunnen perfekt mit Hochleistungsentsandung und Druckwellenimpuls entwickelt und auch immer dadurch regeneriert werden.

Bei Glaskugelschüttungen muss wegen ihres thixotropen Verhaltens auf den Einsatz von Druckwellengeneratoren verzichtet werden, es besteht die Gefahr der Umlagerung der Filterschüttung und auch das Einwandern der Glaskugeln in das Gebirge.

Bei Brunnen im Bestand, welche in der Regel nicht für einen stabilen Stützkornfilter dimensioniert sind, ist der Einsatz von Druckwellengeneratoren mit äußerster Vorsicht anzuwenden.

Der Ausbauzustand des Brunnens sollte durch Grundlagenermittlung und Geophysik überprüft werden. Die Lage der Tonsperren und Kiesschüttungen ist zu Überprüfen. Die Historie des Brunnenbetriebes ist auch wichtig.

Wurden Bestandsbrunnen mit intermittierendem Betrieb gefahren, sind die Schaltheufigkeit und die Betriebsdauer zu überprüfen. In diesem Fall muss überlegt werden, ob der Schock Effekt beim Einschalten der Pumpe nicht den ähnlichen Effekt hat wie der Betrieb eines Druckwellengenerators.

Wenn ein Brunnen z.B. 15 Jahre im Betrieb war und 10 Schaltwechsel pro Tag hatte, entspricht dies 54750 Schockungen. Dieses Betriebsschocken wird unvermeidlich zu einer Setzung in der Kiesschüttung und damit auch Verdichtung geführt haben.

Wenn ein Druckwellengenerator mit 3 Herz, also 3 Pulsen pro Sekunde, betrieben würde, dann müsste der Pulser 5,07 Stunden kontinuierlich betrieben werden um die gleiche Anzahl an Schockungen zu erreichen.

Dazu ist noch zu beachten wie der Brunnen in der Vergangenheit ggf. regeneriert wurde. Auch Regenerierverfahren können einen verdichtenden Effekt auf die Kiesschüttung haben.

Um die Frage der Überschrift zu beantworten, müssen also wie beschrieben sorgfältige Überlegungen angestellt werden und eine fundierte Grundlagenermittlung erfolgen um eine Druckwellenerzeugung durch einen Impuls Generator in Einsatz zu bringen.

Durchführung der Regenerierung

Nach dem nun alle Verfahren beschrieben worden sind um eine Regenerierung durchzuführen kommen wir nun zur Durchführung.

Vor der Regenerierung sollte bei Altbrunnen ohne gute Bestandsdaten Voruntersuchungen erfolgen wie:

- *Auswertung der Bestandsunterlagen*
- *Voruntersuchung des Brunnens durch Kamerabefahrung*
- *Nachweis der Tonsperre durch Gamma und Dichtemessung*
- *Kontrolle der Kiesschüttung durch Dichte- und Porositätsmessung*
- *Flowmeter 0/1 Untersuchung zur Ermittlung der Zutrittsbereiche*
- *Scheibenflowmeter zur Ermittlung der Durchlässigkeit der Filterstrecken*
- *Kalibermessung zur Registrierung von Querschnittsveränderungen und Verformungen*
- *Neigungsmessung zur Überprüfung der Vertikalität*

Arbeitsablauf einer optimalen Regenerierung:

1. *Kurzpumpversuch zur IST-Leitungsermittlung*
2. *Voruntersuchung des Brunnens durch Kamerabefahrung zur Ermittlung des Alterungsgrades*
3. *Aussaugen des Brunnens zur Freilegung von verlandeten Filterstrecken.*
4. *Vorreinigung durch mindestens Bürsten, besser Nieder- oder Hochdruckspülung*
5. *Spülung der Peilfilter*
6. *Zwischenuntersuchung des Brunnens durch Kamerabefahrung zur Kontrolle auf mechanische Beschädigung*
7. *Bei alten, ausgehärteten Inkrustationen chemische Vorregenerierung*
8. *Hauptreinigung durch Hochdruckinnenspülung, Intensiv- oder Hochleistungsentsandung*
9. *Aussaugen des Brunnenbodens*
10. *Klarpumpen*
11. *Abnahmeuntersuchung durch Kamerabefahrung*
12. *Pumpversuch zur Ermittlung der Leistung nach der Regenerierung*

Zu a) Kurzpumpversuch zur IST-Leitungsermittlung

Dieser Brunnentest ist dann notwendig, wenn das Brunnenmonitoring des Brunnenbetreibers nicht kontinuierlich sind und Registrierung der Betriebswasserspiegel nicht ausreichen, um die IST-Leistung des Brunnens mit dem Pumpversuchen aus der Vergangenheit des Brunnens vergleichen zu können. Eine Beharrung muss dabei nicht erreicht werden da die Leistung in der Regel stark reduziert ist. Der Pumpversuch muss aber direkt nach Beendigung des normalen Brunnenbetriebes mit der Betriebspumpe durchgeführt werden, wenn möglich über die Mengenerfassung des Brunnenbetreibers. Ist dieser direkte Pumpversuch nicht möglich ist eine Durchführung nach Ausbau der Betriebspumpe und Einbau einer neuen Pumpeinrichtung nicht sinnvoll. Grund ist die Erholung des Aquifers durch Auffüllen des Absenkrichters.

Zu b) Voruntersuchung des Brunnens durch Kamerabefahrung zur Ermittlung des Alterungsgrades

Sie dient nur der Feststellung und Dokumentation des Alterungsgrades des Brunnens sowie des optischen Zustandes vor der Regenerierung. Zu diesem Zeitpunkt fällt auch die Entscheidung ob der Brunnen noch regenerierfähig ist und oder aufgrund von erheblichen

Beschädigungen noch sanierfähig ist. Bei der Kamerabefahrung soll gleichzeitig gepumpt werden. Dies ist der Sichtverbesserung förderlich. Gleichzeitig können ggf. Sandführungen erkannt werden. Auch undichte Rohrverbindungen überhalb des Betriebswasserspiegels können so erkannt werden.

*Zu c) Aussaugen des Brunnens zur Freilegung von verlandeten Filterstrecken
Dieser Punkt kommt nur zum Tragen, wenn Sumpf und Filterstrecken bereits zu stark verlandet sind.*

*Zu d) Vorreinigung durch mindestens Bürsten, besser Nieder- oder Hochdruckspülung
Zur Reinigung der Brunnenrohre und Öffnung der Filterschlitz ist die Hochdruckspülung am besten geeignet. Es ist jedoch mit moderaten Spüldrücken (160 bis 200 bar) und reduzierten Düsenstöcken sowie geeigneten Düsengeometrien zu arbeiten. Bei empfindlichen Brunnenrohren sind am besten Flachstrahldüsen zu verwenden. Die Bearbeitung erfolgt langsam von oben nach unten bei kontinuierlicher Austragskontrolle um Kieseinbrüche durch kollabierende Brunnenrohre rechtzeitig zu bemerken. So kann ein Festfahren der Rotationsdüse vermieden und eine zu große Beschädigung des Brunnens verhindert werden.*

*Zu e) Spülung der Peilfilter
Auch die Peilrohre altern wie der Brunnen und müssen mitgereinigt werden um funktionstüchtig zu bleiben. Verbleibende Verockerungen in Peilfiltern können die Alterung des Brunnens nach einer Regenerierung beschleunigen.*

*Zu f) Zwischenuntersuchung des Brunnens durch Kamerabefahrung zur Kontrolle auf mechanische Beschädigung
Sie dient der Feststellung des optischen Zustandes vor der Regenerierung. Zu diesem Zeitpunkt fällt auch die Entscheidung ob der Brunnen chemisch vorbehandelt werden muss oder die hydromechanische Regenerierung weitergeführt wird.*

*Zu g) Bei alten, ausgehärteten Inkrustationen chemische Vorregenerierung
Ausgehärtete Ablagerungen aus Eisenoxid, Manganoxid, Calcit lassen sich nur noch mit chemischen Methoden lösen und beseitigen.*

*Zu h) Hauptreinigung durch Hochdruckinnenspülung, Intensiv- oder Hochleistungsentsandung
Hochdruckinnenspülung*

Hierbei wird bevorzugt zuerst von oben nach unten gereinigt, und zwar jetzt mit voller Kraft. Als Beendigungskriterien wird die Entwicklung der im Spitzglas gemessenen 10-Liter-Rückstände verwendet. Es wird dabei unterschieden zwischen Schlammanteil und Feststoffanteil (körnigem Anteil). Diese beiden Anteile verschieben sich im Laufe der Behandlung erheblich.

Anfangs wird immer der ganze Filterstrang behandelt, später konzentriert die Abschnitte, die noch über dem unter b.) festgelegten Betrag liegen.

Wann wird die Regenerierung beendet?

a.) wenn die Summe Schlamm- und Feststoffanteil sich nicht mehr ändert. Sonst könnte man ja bis in alle Ewigkeit reinigen.

b.) wenn die Summe Schlamm- und Feststoffanteil einen bestimmten, vorher festgelegten Betrag (z.B. 0,3 cm³/10 ltr), in mindestens drei aufeinander folgenden Messungen erreicht hat. Wann wird gemessen? Hierfür gibt es keine feste Regel. Angemessen scheint – auf jeden Fall

jeweils zum gleichen Zeitpunkt – nämlich dann, wenn der obere Umkehrpunkt des Düsenaggregates erreicht ist. Von Herman Etschel
Empfehlenswert ist eine kontinuierliche Austragskontrolle.

Intensiv und Hochleistungsentsandung

Wichtig ist die Anlegung einer ausreichenden Kammerförderrate um die Schleppkraftaktivierung des Wassers zu erreichen. Einsatz von gut abdichtenden Manschetten und oder Packern. Kontinuierliche Austragskontrolle aus dem Teilstrom und ergänzende Kontrolle mit 10 l Eimer aus dem Vollstrom zur Erfassung der Schlammfraktionen gemäß DWGW.

Zu i) Aussaugen des Brunnenbodens

Nach der Regenerierung muss der Brunnenboden ausgesaugt werden um möglichst alle Ablagerungen zu entfernen. So werden zukünftige Verkeimungen, welche sich in der Zone des toten Wassers im Sumpf bilden können, vermieden.

Zu j) Klarpumpen

Für eine optimale Inaugenscheinnahme des Brunnens durch die Brunnenkamera sind optimale Sichtverhältnisse unerlässlich. Dafür wird der Brunnen klargepumpt um vor allem die sichtverschlechternden Feinanteil aus dem Wasser herauszuholen. Dieser Prozess kann aber viel Zeit in Anspruch neben da bei den Regeneriermaßnahmen viele Schwebstoffe im Brunnenumfeld aktiviert werden und es Zeit benötigt bis sich ein Gleichgewicht eingestellt hat.

Zu k) Abnahmeuntersuch durch Kamerabefahrung

Bei der Kamerabefahrung soll mit großer Pumpleistung gleichzeitig gepumpt werden. Dies ist der Sichtverbesserung förderlich. Gleichzeitig können ggf. Sandführungen erkannt werden. Auch undichte Rohrverbindungen über halb des Betriebswasserspiegels können so erkannt werden. Wichtig ist die Beobachtung auf Beschädigungen. Diese können dann ggf. noch Nachsaniert werden. Natürlich soll auch der optische Eindruck und die erfolgreiche Reinigung des Brunnenrohres nachgewiesen werden.

Zu l) Pumpversuch zur Ermittlung der Leistung nach der Regenerierung

Zur Ermittlung der tatsächlichen Leistungsfähigkeit des Brunnens nach der Regenerierung und Beurteilung des Regeneriererfolges sowie zum Vergleich mit älteren Pumpversuchen ist ein Pumpversuch mit 3 Leistungsstufen unerlässlich.

Nach der Regenerierung sollte bei Altbrunnen eine zusätzlich geophysikalische Untersuchung erfolgen um den Erfolg der Regenerierung zu protokollieren und Veränderungen an der Kiesschüttung und Tonsperre zu überprüfen.

- *Lageüberprüfung der Tonsperre durch Gamma und Dichtemessung*
- *Überprüfung der Kiesschüttung auf Verdichtungen oder Hohlräumbildung durch Setzungen mithilfe von Dichte- und Porositätsmessung*

- *Flowmeter 0/1 Untersuchung zur Ermittlung ggf. veränderter Zutrittsbereiche nach der Regenerierung*
- *Scheibenflowmeter zur Ermittlung der veränderten Durchlässigkeit der Filterstrecken nach der Regenerierung*

*Flowmeter 0/1 Untersuchung zur Ermittlung der Zutrittsbereiche
Sinnvoll ist die Ermittlung der Ist-Anströmung im Brunnen vor der Regenerierung um später Veränderungen nach der Regenerierung besser beurteilen zu können.*

*Scheibenflowmeter zur Ermittlung der Durchlässigkeit der Filterstrecken
Mit dem Scheibenflowmeter kann der Verstopfungsgrad der Filterstrecke ermittelt werden.*

Flowmeter 0/1 Untersuchung zur Ermittlung der Zutrittsbereiche nach der Regenerierung

Scheibenflowmeter zur Ermittlung der Durchlässigkeit der Filterstrecken nach der Regenerierung

Diese Niederschrift wurde auf der Grundlage von verschiedenen Publikationen von Hermann Etschel, Kerry Paul, Peter Nillert, Christoph Treskatis, Micheal Tholen, Uwe Schmitz-Habben und meinen gesammelten Erfahrungen erzeugt.

Die Beschreibung der Wirkmechanismen entstammt größtenteils den Verfahrensentwicklern. Da die Regenerierverfahren von vielen Beteiligten in der Branche kontrovers diskutiert werden und es immer um Eigeninteressen, Wettbewerbssituationen und ggf. auch persönlichen Befindlichkeiten geht, ist es leider dem Leser überlassen einen golden Mittelweg in dem „Verfahrensdschungel“ zu finden und sich durch technische Beschreibungen überzeugen zu lassen.