

Das Minimierungsgebot bei der chemischen Brunnenregenerierung

Regelwerk ■ Lange Zeit galt für die Zugabe von Regeneriermitteln bei der chemischen Brunnenregenerierung: „Viel hilft viel“. Mit Zunahme des Umweltschutzgedankens wird seit nunmehr zwei Jahrzehnten das „Minimierungsgebot“ auch für die chemische Brunnenregenerierung angestrebt. Das neue DVGW-Arbeitsblatt W 130 „Brunnenregenerierung“ gibt erstmals Werte zur Einhaltung des Minimierungsgebotes für die Anwendung von säurehaltigen Regeneriermitteln an. Dieser Beitrag informiert über die Details.

Für die chemische Brunnenregenerierung wird seit Aufkommen des Umweltschutzgedankens die Einhaltung des „Minimierungsgebotes“ gefordert. Die einen glauben, diese Forderung zu erfüllen, indem sie ausschließlich mechanische Regenerierverfahren anwenden. Die anderen glauben die Forderung zu erfüllen, indem sie angeben, die Regenerierung nach DVGW-Arbeitsblatt W 130 „Brunnenregenerierung“ durchzuführen.

Regenerierung ohne oder mit Regeneriermittel

Datenbankvergleiche mit repräsentativ erhobenen Daten aus Regenerierungen, die mit mechanischen Verfahrenstechniken ausgeführt wurden, zeigen Folgendes: Zumindest bei fortgeschrittener Brunnenalterung (Leistungsrückgang > 10 bis 20 %) und bei Anwendung geeigneter mechanischer und chemischer Regeneriertechniken stellen sich die Anteile entfernter Eisen-Trockenmasse wie folgt dar:

- mit mechanischen Verfahren wurden ca. 20 bis 35 Prozent der insgesamt entfernten Eisen-Trockenmasse entfernt,
- im Anschluss an die mechanische Regenerierung (teilweise mehrstufig ausgeführt) wurden mit der chemischen Regenerierung ca. 65 bis 80 Prozent der insgesamt entfernten Eisen-Trockenmasse entfernt.

Als mechanische Verfahrenstechniken für diese Datenbank-Vergleiche stehen in der Ausführung mit mechanischen Regenerierverfahren bisher folgende Typen zur Verfügung:

- Intensiventnahme, stationär, mit gleichbleibender Förderleistung,
- Intensiventnahme, stationär, mit wechselndem Förderbetrieb (intermittierendes Abpumpen = „Schocken“),
- Intensiventnahme, mit bewegter Kammer,
- Hochdruckspülverfahren – Innenspülung,
- Druckwellen-/Impulsverfahren, Erzeugung durch Wasserhochdruck,
- Druckwellen-/Impulsverfahren, Erzeugung durch Sprengladungen,
- Druckwellen-/Impulsverfahren, Erzeugung durch Ultraschall.

Als chemische Verfahrenstechnik für diese Datenbank-Vergleiche steht die Ausführung mit folgenden Merkmalen zur Verfügung:

- Mehrkammergerät („Kieswäscher“, für den Transport des Regeneriermittels in die Kiesschüttung), in unterschiedlichen Ausführungen,
- zeitlich-periodisch frei wählbare Umkehrströmung (für verbesserte Regenerierleistung an der Phasengrenzfläche, bei einseitigen Alterungserscheinungen und bei Regenerierfortschritt mit bereits freien Zonen),
- Umwälzregulierung (zur Anpassung an die Bohrlochgeometrie und radiale Eindringtiefen),
- Anwendung EP 0376422 (Messung der Ionenkonzentration, Steuerung des Regenerierablaufes mit Lösen – Zwischenabpumpen – bei Bedarf Wiederholung der Lösevorgänge),
- unterschiedliche Regeneriermittel (verschiedene säurehaltige und pH-neutrale Regeneriermittel),

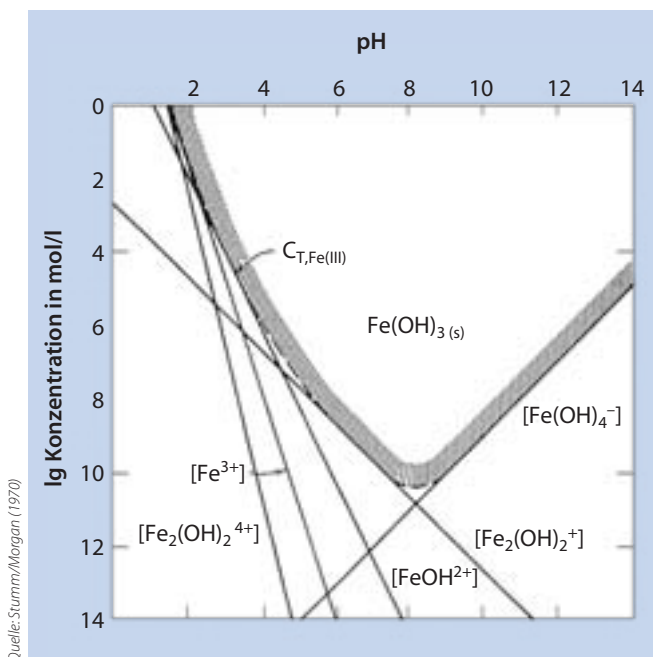


Abb. 1 Gleichgewichtskonzentrationen für Eisen(III)-Verbindungen in Lösung über frisch gefällttem Eisenhydroxid $\text{Fe}(\text{OH})_3$

- unterschiedliche Abdichtungstechniken zur Verhinderung von Regeneriermittel-Verlusten innerhalb des Filterrohres (Abdichtung mit wassergefüllten Packern, mit Gummischeiben weich-hart-mehrfach/gemischt-unterschiedliches Übermaß).

Wird also bei fortgeschrittener Brunnenleistung nach der mechanischen Regenerierung, die durch hohe Austragsmengen und ein gutes Pumpstestergebnis einen Erfolg impliziert, anschließend keine geeignete chemische Regenerierung durchgeführt, so beschleunigen die tatsächlich verbliebenen Alterungsablagerungen die Wiederalterung erheblich. D. h. auch, die Zeit bis zur nächsten notwendigen Regenerierung ist entsprechend kurz. Weiterhin setzen die verbliebenen Alterungsablagerungen ihren Prozess der Hydratwasserabspaltung fort und alle späteren Regeneriermaßnahmen werden technisch und kostenmäßig aufwändiger. Dies zeigt, dass die berühmt(-berühmte) und beliebte (weil nicht genehmigungspflichtig und Ruck-zuck durchführbare) „Regenerierung an einem Tag“ durchaus bedenkliche Folgen hat.

Eine interessante Beobachtung als Variante der Regeneriermittel-Minimierung wurde bei der Kombination mechanische Regenerierung mit „Druckwellen-Impuls-Verfahren“ und anschließend chemischer Regenerierung mit „Mehrkammergerät und Überwachung der Lösekinetik mit Messung der Ionenkonzentration“ gemacht. In dieser Kombination war die Lösekapazität pro Lösevorgang signifikant gut, d. h. die Ausnutzung des Regeneriermittels entsprechend hoch und es wurden weniger Lösevorgänge benötigt. Als Ursache kann angenommen werden, dass Druckwellen-Impuls-Verfahren die Alterungsablagerungen gut trennen und dabei größere (für die Lösung besser angreifbare) Oberflächen schaffen. Der Austrag der mechanischen Verfahren, auch in Kombination mit abschnittsweiser Intensiventnahme und bewegter Kammer (W 130 – 2007), reichte jedoch nicht aus, um die getrennten Ablagerungen umfassend abzutransportieren. Wohl aber waren die Ablagerungen „gut vorbereitet“ und bei der darauf folgenden chemischen Regenerierung trat der zuvor beschriebene Regeneriermittel einsparende und somit Regeneriermittel minimierende Effekt ein.

	Fe in Lsg/Fe gesamt (60 min)
pH 2	1
pH 1	18
pH 0,5	50
pH 0	75

Tabelle 1 Wertetabelle zu Grafiken zum Reaktionsverhalten für einen bestimmten Alterungsbelag bei Verwendung von Salzsäure und Einstellung verschiedener pH-Werte

Regenerierung mit (säurehaltigen) Regeneriermitteln

Das DVWG-Arbeitsblatt W 130 – 2007 gibt für den überwiegenden Einsatz folgende Regeneriermittel-Typen an (in der Reihenfolge der derzeitigen Häufigkeit der Anwendung):

- anorganische (Säure-) Gemische: Das Wirkprinzip beruht auf einer starken Absenkung des pH-Wertes,
- anorganische Reduktionsmittel: Das Wirkprinzip ist die Reduktion von Eisen (III) und Mangan (IV), pH-Wert neutral,
- organische (Säure-) Gemische: Vorrangiges Wirkprinzip ist die Reduktion von Eisen (III) und Mangan (IV).

Weiterhin werden Kombinationen dieser Typen eingesetzt, um beide Wirkprinzipien zu nutzen. Teilweise werden den Regeneriermitteln außerdem Komplexbildner (Wirkprinzip Bildung löslicher Metallkomplexe), Oxidationsmittel (mikrobiozide Wirkung und teilweise Mineralisierung organischer Beläge; Hinweise im W 130 beachten!), Korrosionsinhibitoren und oberflächenaktive Verbindungen zur Unterstützung des Lösungsvorgangs zugesetzt.

Abbildung 1 zeigt die Lösung von Eisen (III) in Abhängigkeit vom pH-Wert, allerdings nicht für Brunnenalterungsablagerungen, sondern für frisch gefälltes Eisenhydroxid. Danach ist die Eisenlöslichkeit bei „normalem“ pH-Wert extrem niedrig, während sie bei pH-Absenkung (durch Zugabe von Säuren) bzw. pH-Erhöhung (durch Zugabe von Laugen) steigt. Die Regenerierung mit Laugen wird jedoch wegen exothermer Reaktionen abgelehnt. Für frisch gefälltes Eisen ist die tatsächliche Löslichkeit allerdings bei ►

MIT GRUNDFOS GUCKEN SIE NICHT IN DIE RÖHRE! WWW.BRUNNEN-PROFI.DE

Nutzen Sie uns für Ihre eigene, kostenlose Werbung: Steigern Sie Ihre Bekanntheit, erhöhen Sie Ihre Kundenkontakte. Melden Sie sich jetzt an auf unserer Informationsplattform für professionelle Brunnenbauer: www.brunnen-profi.de

Ihre Kontaktdaten erscheinen dann auf der Website www.eigener-brunnen.de, die Grundfos für potentielle Endkunden eingerichtet hat. Dort erfahren Ihre Kunden alles Wissenswerte zum Thema Wasser aus dem eigenen Brunnen und vor allen Dingen Kontaktadressen von Brunnenbauern in der Region.

Also gleich www.brunnen-profi.de anklicken, anmelden und dauerhaft vom Grundfos-Wissen für Brunnenprofis profitieren: Pumpen Know-how, Veranstaltungen, Literatur.



	Fe in Lsg/ Fe gesamt (60 min)		Zugabe Fe gesamt HCl 25%/l		Quotient Fe in Lsg/Zugabe HCl	
pH 2	1	6 %	1 : 650	1,54 ml	0,6494	56 %
pH 1	18	100 %	1 : 65	15,4 ml	1,1688	100 % = pH-opt
pH 0,5	50	278 %	1 : 20	50,0 ml	1,0000	86 %
pH 0	75	417 %	1 : 6,5	154,0 ml	0,4870	42 %

Tabelle 2 Auswertung Tabelle 1: tabellarische Ermittlung des optimalen Prozess-pH-Wertes

Test 1 - zur Einhaltung des Minimierungsgebotes Ermittlung Verdünnungswert bei Zugabe säurehaltiger Regeneriermittel zur Einstellung Arbeits-pH					
Regeneriermittel		schwefelsäurehaltiges Regeneriermittel			
Volumen Vorlage (Wasser) (ml)	Volumen Zugabe Regeneriermittel (ml)	Summe Zugabe Regeneriermittel (ml)	Verdünnungs- wert	angestrebter Arbeits-pH für säurehaltige Regeneriermittel	gemessener pH
1.000 ml					7,03
	10,0 ml	10,0 ml	1 : 100	pH 0,9 ... 1,0	1,48
	10,0 ml	20,0 ml	1 : 50		1,20
	10,0 ml	30,0 ml	1 : 33		1,05
	10,0 ml	40,0 ml	1 : 25		0,94
	10,0 ml	50,0 ml	1 : 20		0,86

Tabelle 3 Beispiel Ermittlung Verdünnungswert zur Einstellung Arbeits-pH nach W 130 (2007) - Anhang E

pH 1 um bis zu 50-fach höher als bei Brunnenalterungsbelägen. Untersuchungen in den letzten Jahren bestätigen die analoge Interpretation von **Abbildung 1** für Brunnenregenerierungen.

Untersuchungen und Darstellungen zur chemischen Lösung von Brunnenalterungsablagerungen sind generell auf den Einzelfall bezogen, da sich die Ablagerungen immer hinsichtlich ihrer Bestandteile (gefällte Wasserinhaltsstoffe + Biomasse + Ton-Schluff-Sand) und des Alterungsgrades der Verockerung unterscheiden.

Die Einhaltung des Minimierungsgebotes für jedes Regeneriermittel bzw. in Abhängigkeit des Regeneriermittel-Typs (unabhängig von seinem Wirkprinzip und den Vor- bzw. Nachteilen) bedeutet: **so viel wie nötig und so wenig wie möglich**. Die Einhaltung des Minimierungsgebotes bei der chemischen Brunnenregenerierung wird nach des Auswahl des geeigneten Regeneriermittels deshalb in zwei Teilaufgaben unterteilt:

1. Vorbereitung: Ermittlung der notwendigen Regeneriermittel-Zugabemenge zur Einstellung optimaler Lösebedingungen im Regenerierbereich
2. Ausführung: Überwachung der Regeneriermittel-Konzentration im Regenerierbereich inklusive notwendiger Nachdosierung; Kontrolle der tatsächlichen Zugabemenge zur Entscheidungsfindung auf Abbruch bei übermäßiger Zugabe

Einhaltung des Minimierungsgebotes – Vorbereitung

Zur Einhaltung des Minimierungsgebotes ist zunächst die Ermittlung bzw. Kenntnis der notwendigen Zugabemenge zur Einstellung optimaler Lösebedingungen im Regenerierbereich notwendig. In sehr frühen Zeiten der chemischen Brunnenregenerierung wurde als Zugabemenge für Salzsäure der Volumeninhalt des Brunnens (von Sohle bis Ruhewasserspiegel, Durchmesser des Bohrloches ohne Berücksichtigung des Verdrängungsvolumens der Kiesschüttung) in 3-facher Menge gewählt. Mit der Entwicklung von Mitteln speziell für die Brunnenregenerierung, ebenfalls säurehaltig, wurden dann als Zugabemenge 8 bis 10 Prozent des Brunnenvolumeninhalt von Filterrohr-Oberkante bis Filterrohr-Unterkante mit Bohrlochdurchmesser ohne Berücksichtigung des Verdrängungsvolumens der Kiesschüttung gewählt und abschnittsweise eingebracht. Erst nach Beendigung der Arbeiten für die gesamte Filterstrecke wurde das Regenerat abgepumpt und neutralisiert. Heute werden bei der Ermittlung der notwendigen Zugabemenge die optimale Konzentration des Regeneriermittels zur Einstellung bester Lösebedingungen und das Volumen im Arbeitsbereich des Regeneriergerätes unter Berücksichtigung des Verdrängungsvolumens der Kiesschüttung berücksichtigt. Bei Bedarf wird zur Einhaltung der Lösebedingungen Regeneriermittel nachdosiert. Gesättigte Lösungen werden sofort abgepumpt. Die Anzahl der notwendigen Lösevorgänge an einem Abschnitt/für den gesamten Brunnen ergibt sich aus der tatsächlich vorhandenen, chemisch lös- und entfernbaren Menge der Alterungsablagerungen.

Vor nunmehr 20 Jahren wurden umfassende Labor- und Praxisversuche für die chemische Regenerierung zur Ermittlung der notwendigen Regeneriermittel-Konzentration durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Versuche wurden bereits in der ersten Fassung des DVGW-Merkblattes W 130 (1992) berücksichtigt. Dabei wurden in Löseversuchen verschiedene Regeneriermittel mit demselben Alterungsbelag (Haupttyp biologische Verockerung mit den Mikroorganismen *Crenothrix polyspora*, *Leptothrix ochracea*, *Gallionella* und *Toxothrix trichogenes* und einer durchschnittlichen Rohwasserqualität 0,23 mg Fe/l, 0,22 mg Mn/l, 89 mg Ca/l und Gesamthärte 15 °dH) getestet. Nachfolgend sind die Ergebnisse mit einem anorganischen, säurehaltigen Säuregemisch und einem reduzierenden organischen Zusatz dargestellt, die in dieser Versuchsreihe und für diesen Belagtyp als wirtschaftlichstes Regeneriermittel ermittelt wurde.

Abbildung 2 zeigt zunächst die Eisenlöslichkeit in Abhängigkeit vom pH-Wert im sauren Bereich und mit 60 Minuten Lösezeit. Aus dem Verlauf der Löslichkeitskurve ist ersichtlich, dass bei Unterschreitung pH 1,2 eine erhöhte Menge an Eisen in Lösung geht und unter pH 0,9 die Aufnahme an Eisen in Lösung geringer steigt als im Bereich pH 1,2 bis 0,9. Aus dem Kurvenverlauf (**Abb. 2**) ist offensichtlich, dass es ein Optimum der Eisenlöslichkeit in Abhängigkeit der Regeneriermittel-Zugabe gibt, das als optimaler „Prozess-pH-Wert“ bezeichnet wurde. In **Abbildung 3** wird als Ergebnis pH 0,9 als optimaler Prozess-pH-Wert „angezeigt“. Für die anderen im Test verglichenen säurehaltigen Regeneriermittel wurde verallgemeinerungsfähig, also auch beim Wechsel der Verockerungsbeläge und unabhängig von der Regeneriermittel spezifischen und Alterungsgrad abhängigen Lösekapazität immer der optimale Prozess-pH-Wert im Bereich 0,9 bis 1,1 ermittelt. Zur Ermittlung der benötigten Zugabemenge zur Einstellung optimaler Lösebedingung im praktischen Einsatz wurde der pH 0,95 gewählt, den es dann bei der Durchführung der Maßnahme durch geeignete pH-Messungen und entsprechende Nachdosierungen einzuhalten gilt. Besonders ungünstig ist, wenn während des Löseprozesses ein pH-Anstieg erfolgt, der in der Praxis entsprechend **Abbildung 2** immer unwiderruflich zu einer Rückfällung bereits gelösten Eisens führt. Aus **Abbildung 2** ist ersichtlich, dass bereits bei einem Anstieg auf pH 1,2 nur noch ca. 1/3 der Eisen-Konzentration im Vergleich zur Eisen-Konzentration bei pH 0,95 in Lösung ist.

Nach der Ermittlung der benötigten Regeneriermittel-Konzentration für optimale, d. h. das Minimierungsgebot erfüllende Lösebedingungen, wurde auch noch die technisch/wirtschaftlich günstigste Lösezeit ermittelt (**Abb. 4**). Die Lösezeit wird in der Praxis häufig mit der Fortschrittskontrolle und Steuerung des Regenerierablaufes durch Messung der Ionenkonzentration oder Trübung (W 130 – 2007) den Realbedingungen bedarfsgerecht angepasst. Diese wiederum sind für Bedingungen unerlässlich, bei denen mehrere Lösevorgänge notwendig sind. **Abbildung 4** gibt eine technisch/wirtschaftliche Lösezeit im Labortest um 60 Minuten an, die sich auch bei allen anderen getesteten Regeneriermitteln im ähnlichen Zeitbereich einstellte und die sich

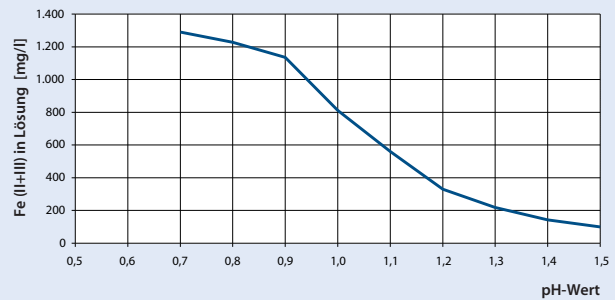


Abb. 2 Eisenlöslichkeit in Abhängigkeit vom pH-Wert unter definierten Bedingungen

Quelle: Berger, Frank, Normann-Schmidt, Paul (1992)

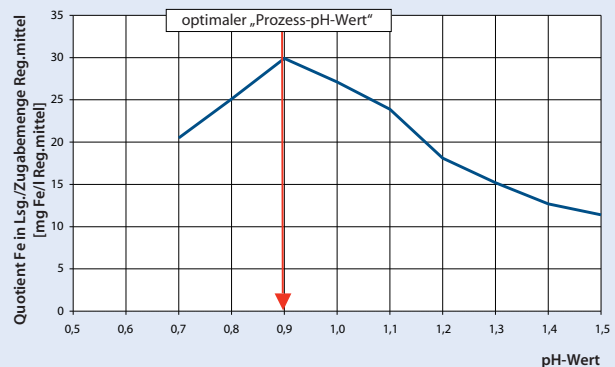


Abb. 3 Ermittlung des optimalen Prozess-pH-Wertes unter definierten Bedingungen

Quelle: Berger, Frank, Normann-Schmidt, Paul (1992)

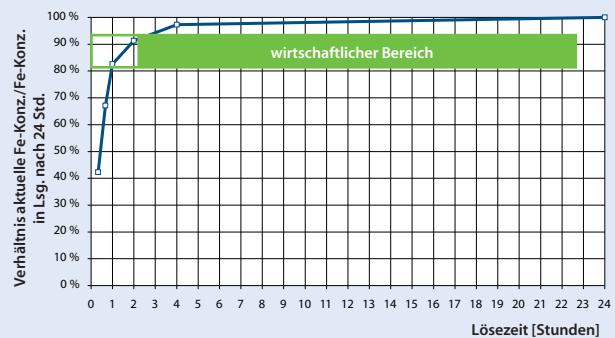


Abb. 4 Ermittlung des wirtschaftlichen Bereiches der Lösezeit unter definierten Bedingungen

Quelle: Berger, Frank, Normann-Schmidt, Paul (1992)

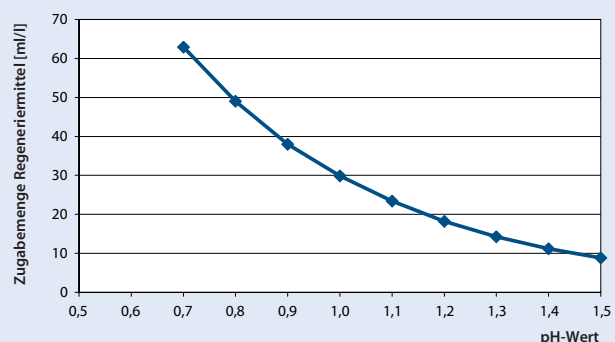


Abb. 5 pH-Wert in Abhängigkeit von Zugabemenge Regeneriermittel für die Abb. 2 und 3

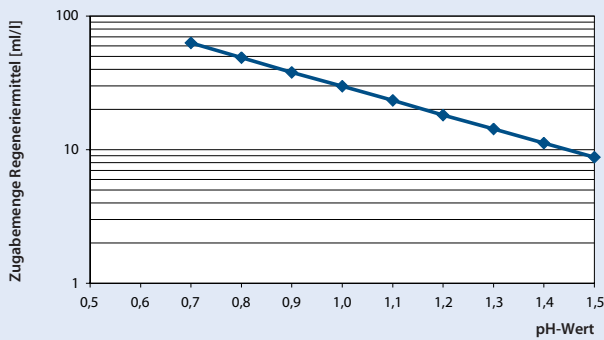


Abb. 6 pH-Wert in Abhängigkeit von Zugabemenge Regeneriermittel – logarithmische Darstellung von Abb. 5

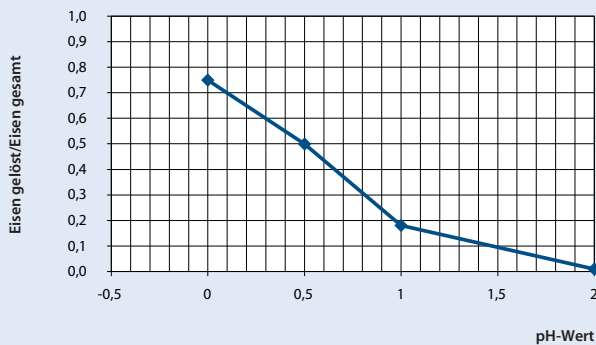


Abb. 7 Auswertung Tabelle 1: Eisenlöslichkeit in Abhängigkeit vom pH-Wert; Reg.mittel HCl

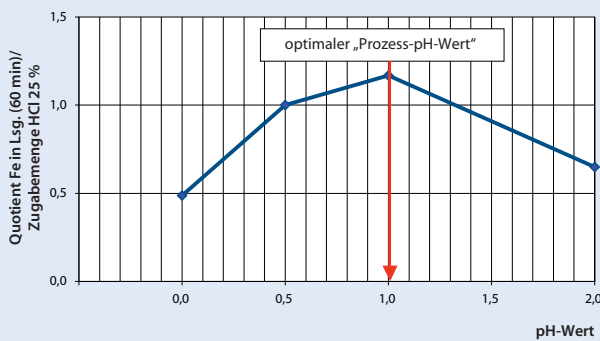


Abb. 8 Auswertung Tabelle 1: grafische Ermittlung des optimalen Prozess-pH-Wertes

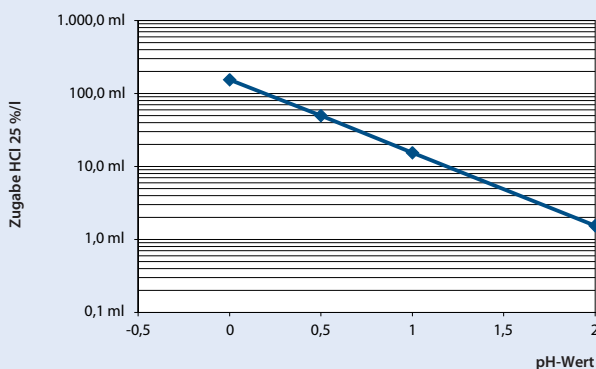


Abb. 9 Auswertung Tabelle 1: pH-Wert in Abhängigkeit von Zugabemenge Regeneriermittel HCl 25 %

bei der genannten Fortschrittskontrolle in der Praxis mit 50 bis 90 Minuten bestätigt.

Abbildung 5 zeigt die Abhängigkeit des pH-Wertes von der Zugabemenge des genannten saurehaltigen Regeneriermittels. Um die Definition des pH-Wertes (der negative dekadische Logarithmus der Wasserstoffionenkonzentration) zu verdeutlichen, wird **Abbildung 5** in der logarithmischen Darstellung der **Abbildung 6** gezeigt. Daraus ist offensichtlich, dass die Senkung um eine pH-Einheit die Zugabe der 10-fachen Menge Regeneriermittel bedingt und kein linearer Zusammenhang zwischen Regeneriermittel-Zugabe und Eisen in Lösung besteht. D. h., dass Aussagen wie „optimal ist der kleinstmögliche pH-Wert, bei dem es zu keiner Schädigung der Brunnenwerkstoffe kommt“ den tatsächlichen Sachverhalt nicht wiedergeben, gegen das Minimierungsgebot verstoßen und auch noch unwirtschaftlich sind.

In der jüngeren (viel beachteten) Literatur zu Laborversuchen zur Untersuchung der Wirksamkeit von Regeneriermitteln werden in grafischen Darstellungen die Ergebnisse der Lösung eines Belages mit Salzsäure wiederholt dargestellt. Die Daten der **Tabelle 1** sind diesen Grafiken zum Lösezeitpunkt 60 Minuten, der sich auch bei diesen Untersuchungen als technisch/wirtschaftlich sinnvoll erwiesen, entnommen. Die Auswertung der **Tabelle 1** mit **Tabelle 2** und den **Abbildungen 7 bis 9** bestätigt die „alten“ Aussagen (**Abb. 3 bis 6**) mit den Angaben zum optimalen Prozess-pH-Wert und zur technisch/wirtschaftlichen Lösezeit. Unterschiede in der Lösekapazität und den daraus abgeleiteten Berechnungen sind „normal“ und ergeben sich aus der Unterschiedlichkeit von Regeneriermitteln bzw. ihrer Konzentration sowie aus der Unterschiedlichkeit der Zusammensetzung von leistungsmindernden Brunnenalterungsablagerungen und ihres aktuellen Alterungsgrades.

Neben der Problematik, dass Laborversuche aus den geschilderten Gründen immer unterschiedliche Ergebnisse für die Lösekapazität zeigen, ist ihre Übertragbarkeit auf die tatsächliche Ausführung für einige Regeneriermittel-Typen auf Grund ihrer spezifischen Eigenschaften durch die Gegebenheiten bei Laborversuchen teilweise nur eingeschränkt möglich; so werden Laborversuche zumeist wie folgt durchgeführt:

- bei Raumtemperatur,
- unter Milieuveränderung mit sauerstoffgesättigtem Wasser,
- meist mit gegenüber im Brunnen veränderten Eigenschaften des Belages,
- häufig ohne Nachdosierung des Regeneriermittels zur Einhaltung der notwendigen Konzentration durch Verbrauch infolge Carbonat-Abbau bei saurehaltigen Regeneriermitteln. Auch deshalb wurde der im DVGW-Arbeitsblatt W 130 – 2001 aufwändig beschriebene Regeneriermittel-Test im DVGW-Arbeitsblatt W 130 – 2007 nur noch als Möglichkeit im Bedarfsfall erwähnt und stattdessen für saurehaltige Regeneriermittel der pH-Bereich 0,9 bis 1,0 und die durchschnittliche Lösezeit 60 Minuten für die Ausführung als „bewährt geeignet“ beschrieben.

Einhaltung des Minimierungsgebotes – Ausführung

Die Ausführung zur Einhaltung des Minimierungsgebotes wurde technisch praktikabel und umfassend erst mit Einführung der Kontrolle und Steuerung des Regenerierfortschrittes mittels Messung der Eisen-Ionenkonzentration („On-Line-Regenerierung“) möglich. Dafür wurde eine Kreislaufleitung direkt aus dem Regenerierabschnitt heraus nach oben auf die Baustelle und zurück in den Regenerierabschnitt installiert, um durch Probennahme die Eisen-Messungen vornehmen zu können und um, entsprechend der Steuerungsfunktion der Fortschrittskontrolle, gesättigte Lösungen sofort aus dem Regenerierbereich abzupumpen. Auf Grund dieser Kreislaufleitung und der Probennahmemöglichkeit war es auch erstmals möglich, mit der oberirdischen pH-Messung die Regeneriermittel-Konzentration im Arbeitsabschnitt zu kontrollieren und damit in Folge auch die Forderungen nach Einhaltung des Minimierungsgebotes zu erfüllen.

Bisher war die Einhaltung des Minimierungsgebotes an sehr viel „Experten-Wissen“ gebunden. Mit der Einführung des DVGW-Arbeitsblattes W 130 – 2007 wird aber die Einhaltung des Minimierungsgebotes in der Praxis für alle Anwender problemlos ausführbar. Zur weiteren Vereinfachung der Ausführung stehen die Musterprotokolle aus dem W 130 – 2007 unter www.figawa.de als „aktive Protokolle“ zum Download zur Verfügung. Nach eventueller einfacher Anpassung an die Durchführungs-Gegebenheiten werden in den Download-Protokollen nach Eintragung der Daten Berechnungen durchgeführt, die in den Ergebnisfeldern durch unterschiedliche farbige Hinterlegung und mit Zell-Kommentaren wichtige Hinweise geben. Als „aktive“ Protokolle sind auch Muster für die mechanische Regenerierung und das parameterkontrollierte Endabpumpen im figawa-Download verfügbar.

Für die Einhaltung des Minimierungsgebotes heißt dies, dass bei übermäßiger Regeneriermittel-Dosierung (W 130

– 2007: „Es ist bei der Ausführung zu beachten, dass der berechnete Regeneriermittelbedarf für einen Lösevorgang das 3,5fache nicht überschreitet“) die Maßnahme, gegebenenfalls auch ohne Ursachenklärung, abgebrochen werden muss. Im „aktiven Protokoll“ wird der mittels „aktiver“ Formel-Berechnung angezeigte Zugabe-Faktor rot hinterlegt, wenn bei entsprechender Eintragung der tatsächlichen Zugabemenge der Faktor 3,5 („Summe Zugabe Regeneriermittel über gesamte Lösezeit/Mindestzugabe Regeneriermittel“) überschritten wird.

Die praktische Ausführung zur Einhaltung des Minimierungsgebotes kann in vier Schritte unterteilt werden. **In Schritt 1** werden zunächst die Regeneriermittel-Kenndaten ermittelt. Dazu wird bei säurehaltigen Regeneriermitteln mittels einer Verdünnungsreihe (Becherglas, z. B. 1.000 ml Brunnenwasser als Vorlage, mit Mikroliter-Pipette schrittweise Regeneriermittel-Zugabe mit begleitender pH-Messung bis Einstellung Mittelwert pH 0,95 des gewünschten pH-Arbeitsbereiches 0,9 bis 1,0) das Verdünnungsverhältnis für das gewählte Regeneriermittel bestimmt (Tab. 3). Vorteil dieser Methodik ist, dass Konzentrationsunterschiede zwischen verschiedenen Lieferchargen/unterschiedlichen, säurehaltigen Regeneriermitteln/unterschiedlichen Lieferanten-Liefermöglichkeiten (z. B. HCl 10 % - 16 % - 25 %) durch die Ermittlung des jeweiligen Verdünnungsverhältnisses bei selbem pH-Wert ausgeglichen werden.

Die korrekte pH-Messung ist für die Einhaltung des Minimierungsgebotes entscheidend. Nicht korrekt messende pH-Elektroden führen bei der Verwendung säurehaltiger Regeneriermittel zu falscher Ermittlung des Verdünnungsverhältnisses und damit zu falscher Bedarfsberechnung, zu Unterdosierung (Rückfällung, Erhöhung des Aufwandes durch zu geringe Lösekapazität) oder zu Überdosierung (zu geringe Ausnutzung des Regeneriermittels). Fehlerhafte pH-Messsysteme führen also zu nicht interpretierbaren Messergebnissen, sodass entweder das Minimierungsgebot ►



Brunnenbau • Erdwärmesonden • Geotechnik

**PROFIT FÄNGT BEIM EINKAUF AN !
FRAGEN SIE UNS.**

MGS IHR ETWAS ANDERER LIEFERANT..!






Europe GmbH
Brüsseler Allee 21 c
41812 Erkelenz

Tel.: +49 (0) 2431 94 57 62
Fax: +49 (0) 2431 94 57 73
@: info@mgs-europe.de
www.mgs-europe.de














Test 3 - Dichte Regenerierungsmittel	1.250 kg/l	0,800 l/kg
---	------------	------------

Tabelle 4 Beispiel Ermittlung Dichte Regeneriermittel zur Datenübernahme in „aktives“ Protokoll für Ausführung der Regenerierung

Quelle: W 130 (2007) Anhang E – Ermittlung von Kenndaten für die chem. Regenerierung/Ausschnitt Test 3

Daten aus Test	
im Test gemessene Dichte Regeneriermittel	1,250 kg/l
angestrebter pH-Arbeitsbereich	0,9 bis 1,0
im Test gemessener pH	0,94
Verdünnungsverhältnis zur Einstellung pH	1 : 25,0
Regeneriergerät & Brunnen	
Höhe Arbeitsabschnitt inkl. Überlappung	2,40 m
Filterrohr-Durchmesser	300 mm
Bohr-Durchmesser	850 mm
angenommener Kiesschüttungs-Lückengrad	0,35
Brutto-Volumen im Arbeitsbereich	1.361,9 l
Netto-Volumen im Arbeitsbereich	586,9 l
Vor-Rücklauf-Leitung	
Durchmesser	25 mm
Gesamt-Länge	125 m
Füll-Volumen	61 l
Regeneriermittel	
Mindestzugabe zur Einstellung Arbeits-pH	25,9 Liter
	32,4 kg

Tabelle 5 Beispiel für Berechnung Regeneriermittel-Mindestzugabe zur Einstellung Regeneriermittel-Konzentration im Regenerierbereich; angepasste Darstellung durch Abänderung Musterprotokoll aus W 130 (2007) – Anhang C

Zeit (min)	pH	Zugabe Reg.mittel (kg)	
0	7,03		
5	1,45	35,0	
10	0,98		
15	1,02		
20	1,07	18,0	
25	0,88		
30	0,91		
35	0,96		
40	1,04	13,0	
45	0,91		
50	0,95		
55	1,01	8,0	
60	0,94		Ende Lösen
Summe Zugabe Regeneriermittel		74,0 kg/ 59,2 Liter	
Zugabe-Faktor „Summe Zugabe Regeneriermittel über gesamte Lösezeit/Mindestzugabe Regeneriermittel“		2,3	Einhaltung des Minimierungsgebotes

Tabelle 6 Eintragung der pH-Messwerte und Zugabemenge in „aktives“ Protokoll; Beobachtung der farbig hinterlegten Wert-Angabe für den Zugabe-Faktor zur Interpretation auf Einhaltung des Minimierungsgebotes; angepasste Darstellung durch Abänderung Musterprotokoll aus W 130 (2007) – Anhang C

nicht eingehalten werden kann oder die Aussage über eine Einhaltung falsch ist. Zur Qualitätssicherung bei Brunnenregenerierungen sollten deshalb folgende Bedingungen für pH-Messungen beachtet werden:

- nur geeignete Elektroden für Daueranwendung im pH-Bereich 0,5 bis 1,5 inkl. Temperaturkompensation verwenden,
- Messsystem zweifach vorhalten (für Kontroll-Messung und als Ersatz),
- zum Abgleich der pH-Elektroden (auch „Kalibrierung“ oder „Eichung“ genannt) für Nullpunktanpassung Pufferlösung mit pH 7,00 und für Steilheitsanpassung Pufferlösung mit pH zwischen 1,00 und 2,00 verwenden,
- Proben aus der Kreislaufleitung nehmen und den auf der Baustelle gemessenen pH-Wert im Labor mit dem dort vorhandenen Messsystem überprüfen. Die Proben können auch aufbewahrt werden, denn es hat sich wiederholt gezeigt, dass lange Zeit nach der Regenerierung eine Fragestellung aufgetreten ist, die dann mit der/den noch vorhandenen Probe(n) und entsprechenden Messungen beantwortet werden konnte.

Um Berechnungen mit dem Regeneriermittel sowohl in Volumen- als auch Gewichts-Dimensionierung durchführen zu können, wird außerdem noch die Dichte des Regeneriermittels bestimmt (Tab. 4). Die anderen, mit einfachem Test ermittelten Kenndaten haben auf die Betrachtungen zur Einhaltung des Minimierungsgebotes keinen Einfluss. Die „Ermittlung der Regeneriermittel-Kenndaten“ erfolgt direkt auf der Baustelle. Der zeitliche Aufwand ist gering, der Geräteaufwand und die Anforderungen an das ausführende Personal ebenfalls.

In **Schritt 2** erfolgt die Eintragung der ermittelten Kenndaten in das „aktive“ Protokoll der chemischen Brunnenregenerierung. Mit weiterer Dateneingabe der Abmessungen des Regeneriergerätes, des Brunnens und der Kreislaufleitung wird die mindestens notwendige Zugabemenge in den Arbeitsbereich zur Einstellung der optimalen Regeneriermittel-Konzentration berechnet (Tab. 5). Der zeitliche Aufwand für Schritt 2 ist < 5 Minuten.

In **Schritt 3** erfolgt die Durchführung der chemischen Brunnenregenerierung. Dazu wird die in **Schritt 2** berechnete Regeneriermittel-Menge zuzüglich eines kleinen Überschusses und eventueller Zugabe eines Regeneriermittel-Zusatzes (Hersteller-abhängig; für Zugabe Regeneriermittel-Zusatz Wasserstoffperoxid die Hinweise im W 130 beachten) über die Kreislaufleitung in den Regenerierbereich zugegeben. Durch pH-Messungen wird die Konzentration im Regenerierbereich überwacht und nach Bedarf zur Einhaltung der notwendigen Konzentration im Regenerierbereich Regeneriermittel nachdosiert. Die gemessenen pH-Werte und die zugegebene Regeneriermittel-Menge werden in das „aktive“ Protokoll eingetragen (Tab. 6).

Einstellung und Konstanthaltung der optimalen Regeneriermittelkonzentration im Regenerierbereich veranschaulicht **Abbildung 10**.

In **Schritt 4** wird der Zugabe-Faktor (Summe Zugabe Regeneriermittel über gesamte Lösezeit/Mindestzugabe Regeneriermittel) mit Eingabe in das „aktive“ Protokoll berechnet und das Ergebnis zur Einhaltung des Minimierungsgebotes im Werte-Feld „Zugabe-Faktor“ durch die farbliche Hinterlegung „grün-orange-rot“ gemäß **Tabelle 7** interpretiert.

Alle Maßnahmen zur Einhaltung des Minimierungsgebotes erzeugen in den **Schritten 3 und 4** keine Kosten. Alle anfallenden Messungen müssen aus technisch/wirtschaftlichen Gründen zwingend notwendig ebenfalls ausgeführt werden und deren Messergebnisse werden in der Überprüfung zur Einhaltung des Minimierungsgebotes verwendet. Kosten zur Einhaltung des Minimierungsgebotes entstehen bei Konstruktion, Herstellung bzw. Anschaffung der Hardware, speziell beim Mehrkammergerät sowie im Verdienstaussfall.

Ursachen der Nicht-Einhaltung des Minimierungsgebotes

Hauptursachen der Nicht-Einhaltung des Minimierungsgebotes sind:

- die mangelhafte Ausführung der Abdichtung des Mehrkammergerätes im Filterrohr,
- Grundwasserhydraulik ohne Förderbetrieb,
- zu hohe Umwälzleistung des Mehrkammergerätes,
- ungeeignete Messtechnik bzw. fehlerhafte Messungen.

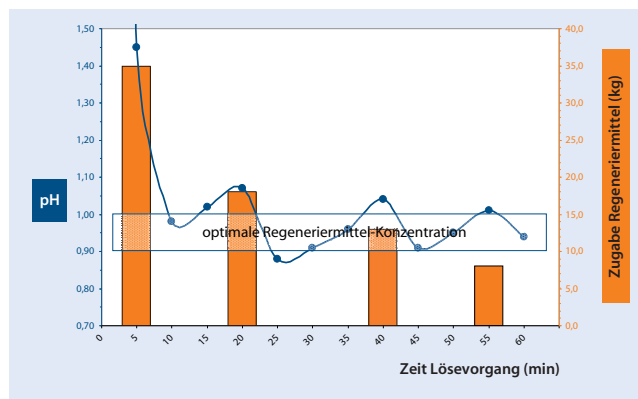


Abb. 10 Grafische Darstellung zur Einstellung und Einhaltung der Regeneriermittel-Konzentration im Arbeitsbereich

Eine nicht vollständig „funktionierende“ Abdichtung konkurriert mit dem Transport des Regeneriermittels in die Kiesschüttung, der infolge der Druckdifferenz zwischen mindestens zwei abgeschlossenen, voneinander getrennten Kammern („Mehrkammergerät“) als Strömung durch die am Arbeitsbereich anstehende Kiesschüttung zustande kommt. Sind die nach oben/unten abschließenden Abdichtungen „undicht“, so wird ein Anteil des Regeneriermittels anstatt durch die Filterschlitz in die Kiesschüttung an den undichten Abdichtungen vorbei in den Bereich oberhalb und unterhalb des Mehrkammergerätes „weggedrückt“, oh- ▶

Geothermie Produkte
- Die bewährte Technik -
- Für Profis -

STÜWA
BRUNNENFILTER
BOHRBEDARF

Haspeln, etc.
Mietpark, Beratung

Verpresspumpen

Verpressmaterialien

Tiefengeothermie

Verteilerschächte

Zubehör

Erdwärmesondensystem
Gerotherm®

Wir stellen aus:
geofora in Hof vom 12.-14. September 2007

STÜWA Konrad Stükerjürgen GmbH
Hemmersweg 80 • D-33397 Rietberg (Varensell)
Tel.: 05244 / 407-0 • Fax: 05244 / 1670
Internet: www.stuewa.de
E-Mail: info@stuewa.de

compactonit®

Wahre Größe kommt von innen.

compactonit®-Pellets haben ein hervorragendes Quellvermögen – ein schlagendes Argument für Dichtungsprodukte im Brunnenbau. Erzielen Sie qualitativ hochwertige Ergebnisse und lassen Sie sich von den Vorteilen überzeugen:

- wasserundurchlässig
- chemische Beständigkeit
- hohe Sinkgeschwindigkeit
- hohe Strukturstabilität
- stark verzögerter Quellbeginn

stephan schmidt
gruppe

Bahnhofstraße 92 | 65599 Dornburg | Tel. +49(0)6436/609-0 | Fax +49(0)6436/609-49 | marketing@schmidt-tone.de | www.schmidt-tone.de

Säurehaltige Regeneriermittel Zugabe-Faktor „Summe Zugabe Regeneriermittel über gesamte Lösezeit/Mindestzugabe Regeneriermittel“	Zugabe-Menge für Beispiel Tabelle 6				
	< 2,5	GRÜN	Minimierungsgebot eingehalten	≤ 81 kg	≤ 65 Liter
	> 2,5 < 3,5	ORANGE	Minimierungsgebot gerade noch akzeptabel eingehalten	> 81 kg ≤ 113 kg	> 65 kg ≤ 91 kg
> 3,5	ROT	Minimierungsgebot nicht eingehalten/Abbruchnotwendigkeit prüfen	>113 kg	91 Liter	

Tabelle 7 Interpretation des Zugabe-Faktors für Einhaltung des Minimierungsgebotes; Zuordnung für Tabelle 6

ne am Lösevorgang teilzunehmen. Der Anteil dieser Art des Verlustes wird umso größer, je mehr weiter weg gelegene Bereiche der Kiesschüttung (vor allem bei Mehrfach-Kiesschüttungen) durch die variable Einstellung der Umwälzgeschwindigkeit zur Anpassung an die Brunnengeometrie und radiale Eindringtiefe erreicht werden sollen. Wird dann das Regeneriermittel an den undichten Abdichtungen vorbei weggedrückt, so wird entsprechend der Überwachung und Einhaltung der Regeneriermittel-Konzentration im Arbeitsbereich nachdosiert, der „Regeneriermittel-Zugabe-Faktor“ steigt an und kann Werte erreichen, die den Abbruch der Maßnahme notwendig werden lassen.

Auch der Abtransport des Regeneriermittels durch eine Grundwasserströmung, z. B. bei Verbindung zweier wasserführender Schichten mit unterschiedlichem Druckpotenzial oder im Festgestein durch Beeinflussung auch weit entfernt gelegener Entnahmestellen, führt zur Nicht-Einhaltung des Minimierungsgebotes und damit zur Notwendigkeit des Abbruchs der Maßnahme, da bei jeder Verringerung der notwendigen Konzentration Regeneriermittel nachdosiert wird. Eine zu hohe Umwälzleistung und fehlerbehaftete Messungen lassen sich meistens noch während der Ausführung der Maßnahme beheben und führen damit nicht zum notwendigen Abbruch der Maßnahme. Der parallel stattfindende, zum „Verlust“ konkurrierende „Verbrauch“, z. B. bei säurehaltigen Regeneriermitteln infolge

Carbonatabbau, ist bereits in Werte-Festlegung der Gruppen „grün-orange-rot“ berücksichtigt.

pH-neutrale Regeneriermittel

Selbstverständlich unterliegen auch die in letzter Zeit häufiger eingesetzten pH-neutralen Regeneriermittel dem Minimierungsgebot. Ihr zahlenmäßiger Anteil an den durchgeführten Regenerierungen ist noch gering. In Laborversuchen werden pH-neutrale Regeneriermittel immer wieder sehr vorteilhaft hinsichtlich Lösekapazität und Lösegeschwindigkeit, besonders bei stark mineralisierten Ablagerungen, getestet. Die Übertragbarkeit, insbesondere einer überragenden Lösekapazität, ist aber bei der praktischen Anwendung nur teilweise nachvollziehbar. Dies kann seine Ursache im realen Biomasse-Anteil, im noch nicht fortgeschrittenen Mineralisierungsgrad, am realen Carbonat-Anteil (der eine pH-abhängige Lösung benötigt) und/oder in den veränderten Bedingungen zwischen Test und Brunnen haben.

Auch pH-neutrale Regeneriermittel müssen hinsichtlich ihrer optimalen Einsatz-Konzentration getestet werden. Da diese Mittel sich durch Reduktion „selbst verbrauchen“, sind hier für die Ausführung der Regenerierung besondere Anforderungen an die Kontrolle der aktuellen Einsatz-Konzentration zur Überwachung von Verbrauch und Verlust auf die Nachdosierungs-Notwendigkeit gestellt. Dies erfordert „ge-

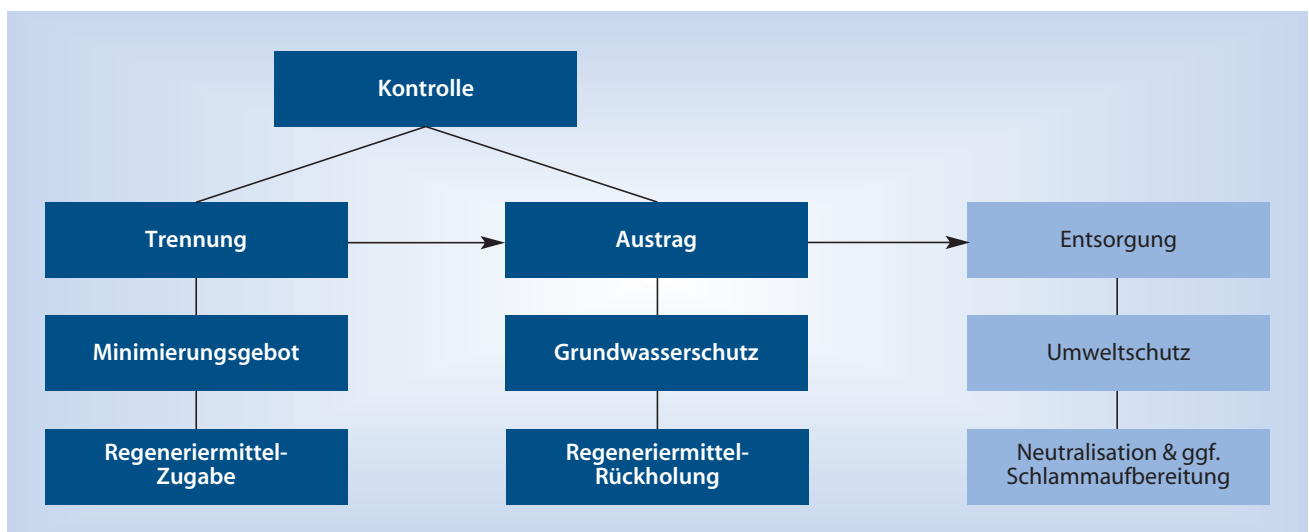


Abb. 11 Zuordnung „Minimierungsgebot“ und „Grundwasserschutz“ in die Begriffsdefinition „Trennung – Austrag – Kontrolle“ des W 130 - 2001 & 2007

eignete Kenngrößen“ (W 130 – 2007). Die eine Kenngröße charakterisiert den Verbrauch und die andere Kenngröße, selbst nicht an der Reaktion beteiligt, charakterisiert den Verlust. Über die nicht an der Reaktion beteiligte Kenngröße wird die Einhaltung des Minimierungsgebotes mit angepassten Protokollen kontrolliert und in gleicher Art wie bei der Anwendung säurehaltiger Regeneriermittel beurteilt. Die Ausführungsanforderungen an die Konzentrations- und Fortschrittskontrolle sowie die Mehrkammertechnik sind bei Anwendung pH-neutraler Regeneriermittel besonders hoch/erforderlich, um die in den Laborversuchen getesteten Eigenschaften technisch/wirtschaftlich real auch umsetzen zu können. Auch pH-neutrale Regeneriermittel bedürfen der Kontrolle der Rückholung. Bei ihrer Anwendung ist ebenfalls anschließend ein parameterkontrolliertes Endabpumpen erforderlich und die anfallenden Neutralisationsschlämme müssen eventuell zusätzlich aufbereitet werden, bevor sie, ebenso wie die anderen Schlämme aus der mechanischen und chemischen Regenerierung mit säurehaltigen Regeneriermitteln, ordnungsgemäß entsorgt werden.

Chemische Brunnenregenerierung – Grundwasserschutz durch Regeneriermittel-Rückholung

Die Vorgaben des Grundwasserschutzes durch die Kontrolle der Regeneriermittel-Rückholung sind seit nunmehr fast zwei Jahrzehnten bekannt. Diese Kontrollen werden aber (noch) zu wenig durchgeführt. „Früher“ wurde dazu bei Salzsäure-haltigen Regeneriermitteln die Chlorid-Konzentration gemessen und dann in gleicher Art wie die Messungen zur entfernten Eisen-Trockenmasse-Bestimmung die entfernte Chlorid-Menge berechnet und der zugegebenen Chlorid-Menge gegenübergestellt. Das DVGW-Arbeitsblatt W 130 – 2007 gibt jetzt erstmals technische Hinweise zur Ausführung mittels Berechnung der notwendigen Menge Neutralisationsmittel und der Gegenüberstellung der tatsächlich verbrauchten Menge Neutralisationsmittel. Die „aktiven“ Protokolle berechnen analog der Systematik zur Einhaltung des Minimierungsgebotes die Warnung zum Abbruch der Maßnahme. Eine detaillierte Beschreibung des Grundwasserschutzes durch Regeneriermittel-Rückholung ist für diesen Beitrag zu umfangreich und gibt Anlass für einen weiteren bbr-Beitrag.

Zusammenfassung

Der gegenwärtige Stand des Wissens und die Anwendung geeigneter mechanischer und chemischer Verfahrenstechniken für die Brunnenregenerierung erfüllt bereits heute die Forderung nach einer erfolgreichen Maßnahme unter Einhaltung des Minimierungsgebotes beim Einsatz von Regeneriermitteln. Dabei erzeugt die Einhaltung des Minimierungsgebotes selbst keine Kosten, sondern fördert geradezu die Wirtschaftlichkeit der Maßnahme. Die zukünftigen Entwicklungen sollen helfen, die Details zur Brunnenalterung und ihrer Zusammenhänge mit dem Brunnenbau besser zu erkennen und zu begreifen. Die Verbesserungen der Regeneriermittel sowie der mechanischen und chemischen Verfahrenstechniken werden in erster Linie die Effizienz und damit die Wirtschaftlichkeit der Maßnahme positiv beeinflussen.

Die Literaturliste steht auf www.bbr-online.de zum Download zur Verfügung.

Autor:

Dipl.-Ing. Kerry F. Paul
 IBB Ingenieur- und Beratungsbüro für Brunnenbetriebstechnik
 und -instandhaltung GmbH
 Am Pichelssee 12
 13595 Berlin-Spandau
 Tel.: 030 362863-50
 Fax: 0121 202510-48
 E-Mail: kfp@ibb-berlin.de



AQUAPLUS®

Die Zukunft der Brunnenregenerierung

Jeder Brunnen ist
anders.
Deshalb benötigen
Brunnen eine
individuelle Reinigung
entsprechend der
Ablagerungen und
des Ausbaumaterials.

WellPuls®

Pat. Druckwellen/Impuls-
verfahren mit
komprimiertem Gas.

WellJet®

Patentierter Perfektion
in der kontrollierten,
mechanischen Reinigung
mit Wasserhochdruck-
technik.

WellReg®

Optimierte und
patentierter
Verfahrenstechnik
zur chemischen
Regenerierung
Ihrer Brunnen.

AQUAPLUS®
 Brunnensanierung
 H. Munding GmbH & Co. KG
 96317 Kronach, Fischbach 29
 Telefon 09261 / 6251- 0
 Telefax 09261 / 6251- 62
info@brunnenservice.de
www.brunnenservice.de