
Regenerierung und Sanierung von Brunnen

von

Dr. Georg Houben

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)
Stilleweg 2 · 30655 Hannover

Prof. Dr. Christoph Treskatis

Bieske & Partner Beratende Ingenieure GmbH
Im Pesch 79 · 53797 Lohmar

Oldenbourg Industrieverlag München

Inhalt

Vorwort	11
1 Allgemeines, Übersicht der Normen und Arbeitsblätter	13
1.1 Brunnenbauformen der Wasserversorgungswirtschaft	13
1.2 Regenerierung und Sanierung: Begriffe	15
1.3 Gesetze, Normen und technische Regeln	16
Literatur	19
2 Brunnenbetrieb und Instandhaltung	21
2.1 Brunnenanströmung	21
2.2 Hydraulische Brunnenbemessung	28
2.3 Brunnenbetrieb	31
2.4 Brunneninstandhaltung	34
2.5 Brunnenmonitoring	39
Literatur	51
3 Arten der Brunnenalterung	53
3.1 Allgemeines	53
3.1.1 Historisches	53
3.1.2 Brunnenalterung im Spiegel von Literatur und Patentschriften	53
3.1.3 Arten der Brunnenalterung und ihre relative Bedeutung	54
3.2 Versandung	57
3.3 Korrosion und Abrasion	60
3.3.1 Begriffe	60
3.3.2 Elektrochemische Korrosion	60
3.3.3 Mikrobiell induzierte Korrosion	61
3.3.4 Alterung von nicht-metallischen Werkstoffen	62
3.3.5 Abrasion	63
3.4 Setzungen	64

3.5	Einfluss auf den Betrieb und die Betriebskosten	68
3.5.1	Skineffekte und Eintrittswiderstände	68
3.5.2	Berechnungsverfahren zur Ermittlung von Eintrittswiderständen	72
3.5.3	Auswirkungen auf den Brunnenbetrieb und die Förderkosten	76
3.6	Inkrustationen und die Auswertung hydraulischer Tests	78
	Literatur	79
4	Entstehung von Brunneninkrustationen	83
4.1	Brunnen als Mischreaktoren	83
4.2	Verockerung: Eisen und Mangan	84
4.2.1	Einleitung	84
4.2.2	Oxidation von Eisen(II) und Mangan(II)	85
4.2.3	Auto-Katalyse der Eisen(II)- und Mangan(II)-Oxidation	86
4.2.4	Massenbilanzierung der Verockerung: Beispielrechnungen	88
4.2.5	Mineralbestand und Geochemie der Verockerung	89
4.2.6	Mikrobiologie der Verockerung	91
4.2.7	Alterung von Eisen- und Manganoxiden	94
4.2.8	Wechselwirkungen der Verockerung mit Spurenelementen	97
4.2.9	Struktureller Aufbau der Verockerung	99
4.3	Versinterungen (Karbonate)	100
4.4	Aluminiumhydroxid-Inkrustationen	101
4.5	Sulfide	102
4.6	Verschleimungen	103
4.7	Sondertypen	103
4.8	Passiv inkorporierte Bestandteile von Inkrustationen	104
4.9	Verteilung von Inkrustationen im Brunnen	104
	Literatur	106
5	Identifizierung, Quantifizierung und Bewertung der Brunnenalterung	111
5.1	Identifizierung und Quantifizierung der Brunnenalterung	111
5.1.1	Kamerabefahrungen (Bohrlochfernsehen)	111
5.1.2	Leistungspumpversuche	113
5.1.3	Geophysik	114
5.1.4	Direkte Messung der Inkrustationsneigung von Brunnen	124
5.1.5	Beprobung und Untersuchung von Inkrustationen	124
5.2	Entscheidungsrisiken für Regenerierungs-, Sanierungs- und Rückbaumaßnahmen	126
5.3	Technische Ursachenforschung des Sanierungs- bzw. Regenerierungs- oder Rückbaubedarfes für Brunnen	131

5.4	Kostenbetrachtungen: Regenerierung vs. Neubau des Brunnens	134
5.4.1	Ökonomische Grundlagen und Bewertungsmaßstäbe für Brunnen	134
5.4.2	Finanzmathematische Grundlagen	136
5.4.3	Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen für Brunnen nach der Annuitätsmethode	138
5.4.4	Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen für Brunnen nach der Diskontierungsmethode	141
5.4.5	Beurteilung der Wirtschaftlichkeit von Regenerier- und baulichen Maßnahmen bei Brunnen	143
	Literatur	146
6	Regenerierung und Sanierung und Rückbau	151
6.1	Technische Grundlagen	151
6.2	Sanierungsmethoden	153
6.3	Rückbaumethoden	162
	Literatur	169
7	Mechanische Regenerierverfahren	171
7.1	Grundlagen und Einteilung	171
7.2	Bürsten und Auspumpen	179
7.3	Intensiventnahme	180
7.4	Kolben	183
7.5	Niederdruck-Innenspülung	184
7.6	Hochdruckspülverfahren	185
7.7	Ein- und Mehrkammergeräte	187
7.8	Regenerierung mit tiefkaltem Kohlendioxid (CO ₂)	189
	Literatur	191
8	Impulsverfahren	193
8.1	Impulsverfahren: Anregung und Wirkungsweise	193
8.2	Sprengstoff	193
8.3	Explosion von Gasgemischen	195
8.4	Ausdehnung von komprimierten Fluiden	195
8.5	Ultraschall	196
	Literatur	198
9	Chemische Brunnenregenerierung	201
9.1	Genehmigung	201

9.2	Reaktionsmechanismen	201
9.2.1	Auflösen von Eisen- und Manganoxiden	201
9.2.2	Auflösen von Karbonaten (Versinterungen)	206
9.2.3	Auflösen von Aluminiumhydroxiden	206
9.2.4	Auflösen von Sulfiden	207
9.2.5	Oxidation/Auflösen von Biomasse	207
9.2.6	Entfernung von Bohrspülungsresten	208
9.3	Kombination von Chemikalien	209
9.4	Zusatzstoffe und Hilfsmittel	209
9.5	Regenerierchemikalien im Vergleich	210
9.6	Chemische Regenerierung in der Praxis	212
9.6.1	Allgemeines	212
9.6.2	Sicherheit beim Transport und auf der Baustelle	213
9.6.3	Sind chemische Regenerierungen überhaupt notwendig?	215
9.7	Entsorgung der Rückstände	215
9.7.1	Allgemeines	215
9.7.2	Neutralisation von anorganischen Säuren	216
9.7.2	Entsorgung von organischen Säuren	216
9.7.3	Neutralisation von Basen	217
9.7.4	Entsorgung von Reduktionsmitteln	217
9.7.5	Entsorgung von Schlämmen	217
	Literatur	218
10	Erfolgskontrolle und Nachhaltigkeit von Regenerierungen	221
10.1	Erfolgskontrolle	221
10.1.1	Kamerabefahrungen	221
10.1.2	Leistungspumpversuche	221
10.1.3	Massenbilanzierung der ausgetragenen Stoffe	223
10.1.4	Geophysik	224
10.2	Veränderungen der Rohwasserbeschaffenheit	225
10.3	Verkeimung	225
10.3.1	Allgemeines	225
10.3.2	Verkeimung bei Verwendung organischer Regeneriermittel	226
10.3.3	Andere Verkeimungsursachen	226
10.3.4	Gegenmaßnahmen	227
10.4	Nachhaltigkeit	227
	Literatur	230
11	Prävention	231
11.1	Mikrobizide Verfahren	231
11.1.1	Einleitung	231

11.1.2	Chemische Desinfektion	231
11.1.3	Erhitzen (»Pasteurisieren«)	232
11.1.4	Ionisierende Bestrahlung	233
11.2.	Chemische und physikalische Verfahren	234
11.2.1	Komplexierung	234
11.2.2	Säuerung	234
11.2.3	Elektrochemische Verfahren	235
11.2.4	Magnetische Verfahren	236
11.3	Planerische, bautechnische und betriebliche Maßnahmen	237
11.3.1	Ausbaumaterialien und Betrieb	237
11.3.2	Saugstromsteuerung	238
11.3.3	Druckbegasung mit Inertgas	239
11.3.4	Unterirdische Enteisung	240
	Literatur	240
12	Praktische Durchführung einer Regenerierung	243
12.1	Planung	243
12.1.1	Problemdefinition	243
12.1.2	Leistungsverzeichnis	245
12.1.3	Auswahl des Verfahrens	249
12.1.4	Auswahl des durchführenden Unternehmens	249
12.1.5	Genehmigung durch die Behörden	250
12.2	Durchführung	252
12.2.1	Praktische Hinweise	252
12.2.2	Entsorgung der Rückstände	252
12.2.3	Erfolgskontrolle	252
12.3	Nach der Regenerierung: Probleme und offene Fragen	254
12.3.1	Wann ist die nächste Regenerierung fällig?	254
12.3.2	Veränderungen der Rohwasserbeschaffenheit nach einer Regenerierung	255
12.3.3	Der Brunnen ist nach der Regenerierung verkeimt – was nun?	255
12.3.4	Die Leistungszunahme nach der Regenerierung war nur gering – was nun?	255
	Inserentenverzeichnis	260
	Anhang	261
	Muster eines Leistungsverzeichnisses für eine Regenerierung (auch auf CD)	
	Musterbrief Beantragung einer chemischen Regenerierung (auch auf CD)	
	✓ Gesamtverzeichnis der im Buch verwendeten Literatur (auf CD)	

Glossar Deutsch-Englisch/Englisch-Deutsch der
wichtigsten Begriffe zu Bau, Sanierung und Regenerierung
von Brunnen (auf CD)
Wichtige Internet-Quellen zu Regenerierung und Sanierung
von Brunnen (auf CD)