

Georg Houben, Christoph Treskatis

Regenerierung und Sanierung von Brunnen

Technische und naturwissenschaftliche Grundlagen der Brunnenalterung und möglicher Gegenmaßnahmen

3. Auflage





ph-neutral | ph-kontrolliert

1.0-10.0

AIXTRACTOR®

Auflösung von Ablagerungen in Vertikal- und Horizontalfilterbrunnen sowie in wasserführenden Anlagen

Optimizing Water Output

cleanwells®

cleanwells@cleanwells.de

www.cleanwells.de

+49 741 15350

Regenerierung und Sanierung von Brunnen

Georg Houben, Christoph Treskatis

Regenerierung und Sanierung von Brunnen

Technische und naturwissenschaftliche Grundlagen
der Brunnenalterung und möglicher Gegenmaßnahmen

3. Auflage

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über www.dnb.de abrufbar

Regenerierung und Sanierung von Brunnen

*Technische und naturwissenschaftliche Grundlagen
der Brunnenalterung und möglicher Gegenmaßnahmen
Dr. Georg Houben, Prof. Dr. habil. Christoph Treskatis*

3. Ausgabe 2020

ISBN: 978-3-8356-7388-5 (Print)

ISBN: 978-3-8356-7389-2 (eBook)

© 2020 Vulkan Verlag GmbH
Friedrich-Ebert-Straße 55, 45127 Essen, Deutschland
Telefon: +49 201 820 02-0, Internet: www.vulkan-verlag.de

Projektmanagement: Dr. Hella Runge, Nico Hülsdau, Vulkan-Verlag GmbH, Essen
Lektorat: Dr. Hella Runge, Patricia Santos, Sara Gerding, Vulkan-Verlag GmbH, Essen
Herstellung: Nilofar Mokhtarzada, Vulkan-Verlag GmbH, Essen
Umschlaggestaltung: Melanie Zöllner, Vulkan-Verlag GmbH, Essen
Titelbild: © Bieske und Partner GmbH
Satz: Brigitte Schmidt, Schmidt Media Design München
Druck: Scandinavianbook c/o Druckhaus Nord GmbH, Neustadt a. d. Aisch

Das Werk einschließlich aller Abbildungen ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Bearbeitung in elektronischen Systemen. Der Erwerb berechtigt nicht zur Weitergabe des eBooks an Dritte.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Das vorliegende Werk wurde sorgfältig erarbeitet. Dennoch übernehmen Autoren, Herausgeber und Verlag für die Richtigkeit von Angaben, Hinweisen und Ratschlägen sowie für eventuelle Druckfehler keine Haftung.

Inhalt

Vorwort zur 3. Auflage	XV
Vorwort zur 2. Auflage	XVII
Vorwort zur 1. Auflage	XIX
1 Allgemeines, Übersicht der Normen und Arbeitsblätter	1
1.1 Allgemeines	2
1.1.1 Historisches.....	2
1.1.2 Brunnenalterung im Spiegel von Literatur und Patentschriften	3
1.1.3 Arten der Brunnenalterung und ihre relative Bedeutung	8
1.2 Einige Kennzahlen der deutschen Wasserversorgungswirtschaft.....	13
1.3 Brunnen in der Wasserversorgungswirtschaft.....	14
1.4 Regenerierung und Sanierung: Begriffe	19
1.5 Gesetze, Normen und technische Regeln.....	22
2 Brunnenanströmung, Brunnenbetrieb und Instandhaltung	27
2.1 Brunnenbauformen.....	28
2.2 Brunnenanströmung	35
2.2.1 Radialsymmetrische Brunnenanströmung	35
2.2.2 Strömungsregimes am Brunnen.....	38
2.2.3 Druckverluste bei der Brunnenanströmung.....	42
2.2.4 Reale Brunnenanströmung.....	45
2.3 Wasserandrang und Fassungsvermögen	50
2.4 Hydraulische Brunnenbemessung	53
2.5 Brunnenbetrieb.....	59
2.6 Brunneninstandhaltung	62
2.7 Brunnenmonitoring.....	72
2.8 Einfluss der Brunnenalterung auf die Brunnenhydraulik und den Brunnenbetrieb.....	85
3 Chemische Prozesse der Brunnenalterung	89
3.1 Materialalterung.....	90
3.1.1 Begriffe	90
3.1.2 Elektrochemische Korrosion.....	90

3.1.3	Mikrobiell induzierte Korrosion	92
3.1.4	Alterung von nicht-metallischen Werkstoffen	93
3.2	Verockerung: Eisen- und Manganoxide	94
3.2.1	Chemische Prozesse der Verockerung	94
3.2.2	Mischungsprozesse als Auslöser der Verockerung	97
3.2.3	Massenbilanzierung der Verockerung: Beispielrechnungen.....	102
3.2.4	Mineralbestand und Geochemie der Verockerung	103
3.2.5	Alterung von Eisen- und Manganoxiden	106
3.2.6	Struktureller Aufbau der Verockerung	109
3.2.7	Mikrobiologie der Verockerung.....	110
3.2.8	Verockerung und Brunnenhydraulik	119
3.2.9	Verockerungsanfälligkeit	121
3.3	Versinterungen (Karbonate)	121
3.4	Aluminiumhydroxid-Inkrustationen	124
3.5	Sulfide.....	127
3.6	Sulfate (Gips)	129
3.7	Verschleimungen (Bioclogging)	129
3.8	Passiv inkorporierte Bestandteile von Inkrustationen	131
3.9	Verteilung von Inkrustationen im Brunnen.....	131
4	Mechanische Brunnenalterungsprozesse	141
4.1	Partikelinduzierte Alterung.....	142
4.1.1	Mobilisierung und Transport von Partikeln im porösen Medium.....	142
4.1.2	Partikelfiltration im porösen Medium.....	146
4.1.3	Filtrationsprozesse am Brunnen.....	151
4.1.4	Abrasion	158
4.1.5	Versandung.....	160
4.2	Setzungen	165
4.3	Pflanzenwurzeln	175
4.4	Vandalismus	176
5	Sonderformen der Alterung	179
5.1	Alterungsprozesse in Horizontalfilterbrunnen.....	180
5.2	Alterungsprozesse in Injektionsbrunnen	181
5.3	Alterungsprozesse in Festgesteinsbrunnen	187
5.4	Alterungsprozesse in speziellen Wasserfassungen.....	188
5.4.1	Geothermische Brunnen und Anlagen	188
5.4.2	Felddrainagen.....	188
5.4.3	Drainagesysteme von sauren Grubenwässern.....	189
5.4.4	Drainagesysteme von Deponien und Abwassersystemen	189
5.5	Alterungsprozesse von Grundwassermessstellen	189

BIESKE UND PARTNER

BERATENDE INGENIEURE GMBH



Ingenieurbüro für Wasserversorgung und Umwelttechnik

- Regenerierung, Sanierung und Neubau von Brunnen, Quellen und Wasserwerken
- Brunnenmanagement
- Wasserbehälter, Rohrleitungen
- Hydrogeologie, Grundwasserschutz
- Wasserrechte, Wasserschutzzonen



Beratung
Gutachten
Planung
Bauleitung



Im Pesch 79
53797 Lohmar

Tel. +49 (0) 22 46 / 92 12 - 0
Fax +49 (0) 22 46 / 92 12 - 99

www.bieske.de
info@bieske.de

BIESKE UND PARTNER SÜD GMBH

SACHVERSTÄNDIGENBÜRO FÜR BRUNNEN UND QUELLEN ZUR WASSERGEWINNUNG



- Beratung
- Planung
- Gutachten
- Bauleitung
- Kamerauntersuchungen

Widukindstraße 7
90574 Roßtal
Tel. +49 (0) 91 27 / 954 37 87
www.bieske-sued.de
info@bieske-sued.de

5.6	Alterungsprozesse von Brunnenpumpen	191
5.6.1	Pumpe und Motor – Grundsätzlicher Aufbau	191
5.6.2	Pumpenbetrieb	192
5.6.3	Erwärmung und Kühlung	194
5.6.4	Verockerung von Pumpen	196
5.6.5	Sandverschleiß	199
5.6.6	Korrosion von Pumpenteilen	201
5.6.7	Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen des Pumpenbetriebs	202
6	Identifizierung und Quantifizierung der Brunnenalterung	205
6.1	Kamerabefahrung	206
6.2	Leistungspumpversuche	211
6.3	Bohrlochgeophysik in Brunnen	220
6.4	Direkte Messung der Inkrustationsneigung von Brunnen	245
6.5	Beprobung und Untersuchung von Inkrustationen	246
6.6	Partikelzählung	249
6.7	Massenbilanzierung des bei Regenerierungen entfernten Materials	249
6.8	Hydrogeochemische Modellierungen	252
6.9	Wann regeneriere ich einen Brunnen?	254
6.10	Regenerierung oder Sanierung bzw. Neubau eines Brunnens?	259
6.11	Ist der Brunnen regenerierfähig?	269
7	Kostenbetrachtungen bei der Regenerierung und Sanierung	273
7.1	Ökonomische Grundlagen und Bewertungsmaßstäbe für Brunnen	274
7.2	Finanzmathematische Grundlagen	278
7.3	Anwendung der Annuitätsmethode bei der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung von Brunnen	281
7.4	Anwendung der Diskontierungsmethode bei der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung von Brunnen	283
7.5	Wirtschaftlichkeit von Regenerierungen und baulichen Maßnahmen	286
7.6	Kostenspannbreiten von Regenerierungen und Sanierungen	289
8	Mechanische Regenerierverfahren	293
8.1	Grundlagen und Funktionsprinzipien	294
8.2	Bürsten und Auspumpen	310
8.3	Hydraulische Methoden	313

8.3.1	Suffosion der gelösten Ablagerungen	313
8.3.2	Kolben	313
8.3.3	Intensiventnahme	316
8.3.4	Mehrkammergeräte	333
8.3.5	Niederdruck-Innenspülung („Jetting“)	337
8.3.6	Hochdruckspülverfahren	339
8.3.7	Außenspülung mit Lanzen	343
8.4	Thermische Verfahren	346
8.4.1	Dampfinjektion („Geysir-Verfahren“)	346
8.4.2	Regenerierung mit tiefkaltem Kohlendioxid (CO ₂)	347
8.4.3	Regenerierung durch hydraulische Stimulation („Fracking“)	350
8.5	Impulsverfahren	351
8.5.1	Anregung und Wirkungsweise	351

BPK Brunnen- und Pumpen Service

Zertifiziertes Fachunternehmen gemäß DVGW W 120-1

Geltungsbereich W 120-1: R1 (R1.1, R1.2, R1.4, R1.5, R1.7, R1.8), R2, S (S 1, S 2, S 4, S 5) RegNr.: 7.01.0437

- **Regenerierung gemäß DVGW Arbeitsblatt W 130**
- **Brunnenentwicklung durch Hochleistungsentsandung**
- **Pumpversuche**
- **Brunnensanierung**
- **Lieferung von Pumpen und Brunnenausrüstung**
- **Zustandsbeurteilung mit Brunnen TV bis 500 m Teufe**
- **Brunnenrückbau**
- **Beratung und Service**



8.5.2	Sprengstoff	354
8.5.3	Gaszündung	357
8.5.4	Druckentspannung komprimierter Gase	358
8.5.5	Ultraschall	359
8.5.6	Roto-Kavitation	362
8.5.7	Funkenentladung	363
8.6	Chancen und Risiken der energiereichen Regenerierverfahren	364
8.7	Methodenvergleich	365
8.8	Mechanische Regenerierung von Horizontalfilterbrunnen	368
9	Chemische Brunnenregenerierung	375
9.1	Genehmigung	376
9.2	Reaktionsmechanismen	376
9.2.1	Grundlagen	376
9.2.2	Auflösen von Eisen- und Manganoxiden	377
9.2.3	Auflösen von Karbonaten (Versinterungen)	383
9.2.4	Auflösen von Aluminiumhydroxiden	384
9.2.5	Auflösen von Sulfiden	384
9.2.6	Auflösen von Sulfaten (Gips)	385
9.2.7	Oxidation/Auflösen von Biomasse (Schleim)	385
9.2.8	Entfernung von Bohrspülungsresten	386
9.2.9	Entfernung von weiteren Inkrustationstypen	387
9.3	Kombination von Chemikalien	388
9.4	Zusatzstoffe und Hilfsmittel	388
9.5	Regenerierchemikalien im Vergleich	390
9.6	Chemische Regenerierung in der Praxis	392
9.6.1	Allgemeines	392
9.6.2	Sicherheit beim Transport und auf der Baustelle	394
9.6.3	Sind chemische Regenerierungen überhaupt notwendig?	397
9.7	Entsorgung der Rückstände	398
9.7.1	Allgemeines	398
9.7.2	Neutralisation von anorganischen Säuren	400
9.7.3	Entsorgung von organischen Säuren	400
9.7.4	Neutralisation von Basen	401
9.7.5	Entsorgung von Reduktionsmitteln	401
9.7.6	9.7.6 Entsorgung von Feststoffen und Schlämmen	401
10	Sanierung und Rückbau	403
10.1	Grundlagen Brunnensanierung	404
10.2	Grundlagen Brunnenrückbau	411
10.3	Sanierung von Brunnen	415

www.brunnenfilter.de



JOHANN STOCKMANN

JOHANN STOCKMANN

Kompetenz verbindet



Individuelle und schnelle Lösungen im
Brunnenbau und in der Kunststofftechnik.
Ihr Team mit Erfahrung und Wissen.

Johann Stockmann Brunnenfilterbau · Bartholomäusstraße 1 · 48231 Warendorf
T +49 2584 - 93 00 0 · F +49 2584 - 93 00 40 · info@brunnenfilter.de

www.brunnen-iq.de

JOHANN STOCKMANN
BRUNNEN-IQ



BRUNNEN-IQ:

Die App für den Brunnenbau

JOHANN STOCKMANN BRUNNEN-IQ
Die praktische mobile Anwendung für alle
Brunnenbauer und Planer.

Mehr Wissen wollen und kostenlos downloaden:



Jetzt Partner werden unter www.brunnen-iq.de

10.3.1	Identifikation und Bewertung von Schäden an Brunnen.....	415
10.3.2	Ausführungsrisiken von Sanierungsarbeiten.....	430
10.3.3	Möglichkeiten und Grenzen der Sanierungsmethoden.....	438
10.3.3.1	Entscheidungskriterien.....	438
10.3.3.2	Einschubverrohrungen und Manschetten.....	440
10.3.3.3	Nachträgliche Ringraumverpressungen.....	446
10.3.3.4	Überbohren, Ausbohren und Überwaschen.....	449
10.4	Sanierung von Horizontalfilterbrunnen.....	465
10.5	Rückbaumethoden.....	467
11	Praktische Durchführung einer Regenerierung.....	483
11.1	Planung.....	484
11.1.1	Problemdefinition.....	484
11.1.2	Leistungsverzeichnis.....	487
11.1.3	Auswahl des Verfahrens.....	489
11.1.4	Auswahl des durchführenden Unternehmens.....	490
11.1.5	Genehmigung durch die Behörden.....	493
11.2	Ausführung.....	494
11.2.1	Baustelleneinrichtung.....	494
11.2.2	Arbeitssicherheit.....	497
11.2.3	Prozessüberwachung.....	501
11.2.4	Entsorgung der Rückstände.....	502
11.3	Nachhaltigkeit von Regeneriermaßnahmen.....	503
11.4	Verkeimung.....	507
11.4.1	Allgemeines.....	507
11.4.2	Verkeimung bei Verwendung organischer Regeneriermittel.....	508
11.4.3	Andere Verkeimungsursachen.....	509
11.4.4	Gegenmaßnahmen.....	509
11.5	Mechanische Schäden bei Brunnenregenerierungen.....	510
11.6	Nach der Regenerierung: Probleme und offene Fragen.....	512
11.6.1	Wann ist die nächste Regenerierung fällig?.....	512
11.6.2	Die Leistungszunahme nach der Regenerierung war gering – was nun?.....	513
12	Prävention.....	515
12.1	Mikrobizide Verfahren.....	516
12.1.1	Einleitung.....	516
12.1.2	Chemische Desinfektion.....	516
12.1.3	Erhitzen („Pasteurisieren“).....	519
12.1.4	Ionisierende Bestrahlung.....	519
12.1.5	Einsatz von Bakteriophagen.....	521

12.2	Chemische und physikalische Verfahren.....	522
12.2.1	Chemische Inhibierung.....	522
12.2.2	Säuerung	523
12.2.3	Elektrochemische Verfahren.....	523
12.2.4	Magnetische Verfahren.....	524
12.3	Planerische, bautechnische und betriebliche Maßnahmen.....	525
12.3.1	Planung, Bohrverfahren, Ausbau und Entwicklung.....	525
12.3.2	Betrieb	528
12.3.3	Saugstromsteuerung	530
12.3.4	Druckbegasung mit Inertgas	533
12.3.5	Unterirdische Enteisung	535
12.3.6	Tiefengestaffelte Entnahme	536
12.3.7	Filterkiesspülungsrohre	537
13	Die zehn Gebote der Brunnenregenerierung	539
14	Literaturverzeichnis.....	541
14.1	Internetquellen:.....	567
	Bilderverzeichnis.....	569
	Tabellenverzeichnis	588
	Stichwortverzeichnis.....	591
	Inserentenverzeichnis.....	599

Vorwort zur 3. Auflage

Mit der Vorlage der 3. Auflage, 16 Jahre nach Erscheinen der Erstaufgabe, freuen wir uns über den Erfolg des Buches in der Fachwelt. Wir fühlen uns durch zahlreiche Gespräche bestätigt und motiviert, dass das Thema „Regenerieren und Sanieren von Brunnen, Bohrungen und Grundwassermessstellen“ einer der Dauerbrenner in der Praxis, der Aus- und Fortbildung im Brunnenbauhandwerk und in den Erfahrungsaustauschen der Wasserfachleute ist und – unserer Meinung nach – auch in Zukunft bleiben wird.

Längst ist der Klimawandel auch in der Wasserversorgung eines der bestimmenden Themen, seien es CO₂-Einsparungen durch energieeffiziente Pumpen und widerstandsarme Brunnenausbauten oder der Umgang mit häufigeren und intensiveren Starkregen, Überflutungen in Fassungskbereichen und Trinkwasserschutz-zonen und längerer Trockenzeiten mit erhöhtem Wasserbedarf. Bisher wurden Brunnen und andere Bauwerke der Wasserversorgungswirtschaft nach dem Prinzip der „ausfallsorientierten“ Instandhaltung betrieben und sind bei den meisten Wasserversorgungen oft mehrere Jahrzehnte alt. Vorbeugende Instandhaltung und Sanierung dieser Bauwerke werden vor dem Hintergrund des Klimawandels und den Anforderungen für „kritische Infrastrukturen“ und an die Daseinsvorsorge, zu denen die Wasserversorgung mit der Energieversorgung mit höchster Priorität zählt, in Zukunft noch größere Bedeutung erlangen als bisher.

Uns fasziniert im Brunnenbauhandwerk schon immer die Frage *„Warum funktioniert diese Methode, jenes Verfahren bei einem Brunnen und nicht bei einem anderen?“* und das damit verbundene *„Alles bisher Bewährte damit in Frage stellen...“*. Wir vergessen in unserer technisierten und bis auf den letzten Stempel einer Zertifizierungs- oder Akkreditierungsorganisation durchorganisierten Lebenswelt, dass jedes Produkt, jedes Bauwerk, jede App oder Steuerung einer Anlage, jede Routine in den Arbeitsabläufen der Menschen sich entwickelt hat und ggf. auch ganz anders hätte aussehen oder funktionieren können. Das hohe Maß der Individualität eines Brunnenbauwerkes verleitet Menschen als Individuen dazu, Methoden und Verfahren als Innovationen mit Allgemeinanspruch einzuführen, wobei sich diese Neuerungen in ihren Wirkmechanismen eigentlich kaum von zuvor Bewährtem unterscheiden, aber an wiederum von Menschen individuell ausgewählten Bauwerken *„bisher nicht erreichte“* Erfolge erbracht haben sollen.

Der Erfolg einer Brunnenregenerierung oder -sanierung hängt vor allem von einer treffenden, vom Menschen nach möglichst objektiven Kriterien zu bewerkstelligen Einschätzung des Bauwerkszustands und der Wirkzusammenhänge ab.

Das ist nicht immer leicht, denn das „Design“ und die ausgeführte handwerkliche Leistung im Brunnenbau war und ist nichts anderes als das Lösen von komplexen Problemen, das Erkennen von Systemzusammenhängen und deren Einordnung in einen Kompromiss unter meist hohem wirtschaftlichem Druck, unter Berücksichtigung der betrieblichen Anforderungen, Materialien, Herstellkosten, Umweltverträglichkeit und vielem mehr. Erfahrungen und Einstellungen zu Bewährtem, zur Werterhaltung und Investitionen in zukunftssichere Brunnen für die sich wandelnden Werte in der Wasserversorgung spielen dabei ebenso eine große Rolle. Die Freiräume für „freie“ Entscheidungen sind aber bei bisher nicht erprobten Zukunftsentwürfen minimal.

Inzwischen wurden einige den Brunnenbau und damit auch die Brunnenregenerierung und -sanierung betreffende Normen und DVGW-Arbeitsblätter geändert und müssen auf den sich entwickelnden europäischen Normenstandard angepasst werden. Zusammen mit neueren Praxiserfahrungen und Publikationen zu diesem Themenbereich fanden diese Eingang in die dritte Auflage.

An dieser Stelle danken wir unseren Kollegen und Kolleginnen, die bei der Durchsicht der Kapitel, bei der Bearbeitung der Grafiken und durch die Zurverfügungstellung von Daten und Untersuchungsergebnissen geholfen haben.

In diesem Zusammenhang möchten wir den Kollegen Henning Jobmann (Bieske und Partner GmbH, Lohmar), Frank Herrmann, Ralf Dinkelmeyer (Bieske und Partner Süd GmbH, Roßdorf) und Dr. Thomas Daffner (Umweltbüro Vogtland) für ihre neuen Textbeiträge bzw. Bilder für die 3. Auflage gesondert danken. Weiterhin danken wir Christian Menz, Kompetenzzentrum Wasser (Berlin), Morris Reich, RWE Power AG (Bergheim), Jürgen Sander, OOWV (Brake) und Manuel Popiol, blue biolabs (Berlin). Christiane Nienhaus von Bieske und Partner Beratende Ingenieure (Lohmar) danken wir für ihre beharrliche Durchsicht und Korrektur der Druckfahne.

Hannover/Siegburg im November 2019

Dr. Georg Houben und Prof. Dr. habil. Christoph Treskatis

Vorwort zur 2. Auflage

Neun Jahre nach dem Erscheinen der ersten Auflage dieses Fachbuches über die Regenerierung und Sanierung von Brunnen erscheint es nunmehr in einer zweiten Auflage. Seit 2003 entwickelte sich das Wissen um die Regenerierung, Sanierung und den Rückbau von Brunnen weiter. Das technische Regelwerk des DVGW wurde aktualisiert und in der Fachpresse wurden Erfahrungen und Neuentwicklungen vorgestellt. Daher wurden eine vollständige Überarbeitung und eine Ergänzung der Inhalte unseres Buches erforderlich. Neben der Einarbeitung der angelsächsischen Literatur und der vielfältigen Praxiserfahrungen wurde ein neues Kapitel über Sonderformen der Brunnenalterung bei Infiltrationsbrunnen, Horizontalbrunnen und bei Brunnenpumpen ergänzt (Kapitel 5). Auf dem Gebiet der mechanischen Brunnenregenerierung und der Sanierung von Brunnen wurden Technologien weiter entwickelt und modelltechnische Erkenntnisse zur Strömung am Brunnen in die Regenerierpraxis übertragen. Ebenso flossen neuere Forschungsergebnisse zur chemischen und mikrobiologischen Brunnenalterung in die Überarbeitung und Ergänzungen ein.

Brunnen sind auch im 21. Jahrhundert immer noch individuell geplante und von vielfältigen Einflussfaktoren bestimmte Bauwerke. Die Einflüsse des geologischen Standortes, des Ausbaus und des Betriebes sowie der Wartung und Instandhaltung fördern oder mindern die Brunnenalterung in unterschiedlichem Ausmaß, verstärken sich gegenseitig und können eine Regenerierung immer nur so effizient wirken lassen, wie sie einen Zugang zu den Alterungserscheinungen zulassen. Umfassende Kenntnisse zur Brunnenanströmung (Kapitel 2) und zu den chemisch-mikrobiologischen Prozessen der Brunnenalterung (Kapitel 3) sind ebenso unabdingbare Voraussetzung für die Planung und Ausführung von Regenerierungen, wie die Frage, ob sich ein solcher Aufwand wirtschaftlich überhaupt noch lohnt (Kapitel 7) oder ob eine Sanierung des Bauwerkes (Kapitel 10) mit einem Neubau eher zukunftsfähig ist. Der Rückbau nicht mehr benötigter Brunnen ist nicht nur eine gesetzliche Forderung aus dem Wasserhaushaltsgesetz, sondern ein wichtiger und unverzichtbarer Beitrag zum vorbeugenden Grundwasserschutz. Offene Bohrungen sind in vielen Wasserschutzgebieten Eintragungspunkte für Grundwasserbelastungen und bedürfen einer fachgerechten Versiegelung und Überwachung (Kapitel 10.5).

In die Neuauflage sind Ergebnisse aus neueren Forschungsprojekten eingeflossen, deren Bearbeiter wir für einige Teilkapitel als Co-Autoren gewinnen konnten.

In die Teilkapitel 4.1.3 und 12.3.2 sind Ergebnisse aus Forschungsprojekten eingeflossen, die in den letzten Jahren am KWR Watercycle Research Institute

(Niederlande) durchgeführt wurden und zu den Dissertationen von Bert-Rikde Zwart und Kees van Beek führten.

KWR Watercycle Research Institute Groningenhaven 7
Postbus 1072
3430 BB Nieuwegein, Niederlande

Teilkapitel 3.2.7 über die Mikrobiologie der Verockerung wurde mit Ergebnissen von Dipl.-Biol. Oliver Thronicker und Prof. Dr. Ulrich Szewzyk aus dem BMBF-Verbundprojekt „Mikrobielle Verockerung in technischen Systemen“ an der Technischen Universität Berlin vervollständigt.

Technische Universität Berlin
Fachgebiet Umweltmikrobiologie
Ernst-Reuter-Platz 1
10587 Berlin

Dipl.-Ing. Sebastian Wulff und Prof. Dr. Paul Uwe Thamsen von der Technischen Universität Berlin steuerten die Teilkapitel 5.5.1 bis 5.5.6 über Pumpenalterung zu. Die zugrundeliegenden Forschungen wurden im Rahmen des Projektes WELL-MA („well management“) durchgeführt, das vom Kompetenzzentrum Wasser Berlin mit finanzieller Unterstützung durch die Berliner Wasserbetriebe und Veolia Eau gemeinsam mit Wissenschaftlern der Freien Universität Berlin und der Technischen Universität Berlin sowie der Firma pigadi durchgeführt wird.

Technische Universität Berlin
Fluidsystemdynamik – Strömungstechnik in Maschinen und Anlagen,
Straße des 17. Juni 135
10623 Berlin

Vorwort zur 1. Auflage

Die Wasserwirtschaft in der Bundesrepublik Deutschland ist in den letzten Jahren in ein Stadium eingetreten, in dem immer weniger neue Wassergewinnungsanlagen gebaut werden, dafür aber Unterhalt und Sanierung bestehender Anlagen immer wichtiger werden. Das in diesem Zusammenhang zunehmende Interesse am Themenbereich „Regenerierung und Sanierung von Brunnen“ kann man unschwer an der seit den 90er Jahren deutlich steigenden Anzahl an Patentanmeldungen, Fortbildungsveranstaltungen und Artikeln in Fachzeitschriften ablesen. Das vorliegende Buch fasst den derzeitigen Stand der rechtlichen, technischen und naturwissenschaftlichen Grundlagen der Alterung von Brunnen sowie ihrer Bekämpfung, d. h. der Regenerierungs- und Sanierungsmaßnahmen, zusammen. Darin eingeschlossen sind die Ergebnisse mehrjähriger eigener Arbeiten der Autoren in Praxis und Forschung.

Brunnen sind beinahe so etwas wie individuelle Wesen. Ihre technischen Eigenschaften und ihre Alterung werden von einer Vielzahl von Parametern beeinflusst, die durch das Bauverfahren, die technische Ausstattung und nicht zuletzt durch die hydraulischen und hydrochemischen Eigenschaften des sie umgebenden Gesteins und Grundwassers bestimmt werden. Patentrezepte bezüglich ihrer Regenerierung und Sanierung gibt es daher nicht und werden in diesem Buch nicht präsentiert. Alle uns bekannten Methoden werden vorurteilsfrei mitsamt ihrer Möglichkeiten und Grenzen präsentiert. Das Verständnis ihrer technischen und naturwissenschaftlichen Grundlagen erleichtert jedoch ihre Auswahl in der Praxis.

Die Autoren weisen darauf hin, dass einige der im Text erwähnten Geräte, Verfahren und Chemikalien durch Patente oder Gebrauchsmuster geschützt sein können. Markenrechtlich geschützte Produktbezeichnungen wurden soweit möglich vermieden.

Nichts ist vollkommen, auch nicht dieses Buch. Für etwaige Fehler in diesem Buch und daraus resultierende Probleme übernehmen die Autoren keine Haftung.

Neue Methoden werden entwickelt, alte verbessert, die Forschung schreitet voran. Die Autoren sind für Korrekturen und weiterführende Hinweise dankbar, die in späteren Auflagen ihren Eingang finden können. Besonderes Interesse besteht an Berichten aus der Praxis über die Erfolge und Misserfolge einzelner Maßnahmen.

Hannover/Siegburg im März 2003

1 Allgemeines, Übersicht der Normen und Arbeitsblätter

1.1 Allgemeines

1.1.1 Historisches

In den Schöpfungsmythen vieler Kulturen wird Wasser als Urelement des Lebens angesehen. Es gilt als Ursprung des Seins, als Symbol der Weisheit und der Seele, Metapher für das Lebendige und Fließende (Voigt 2004). Brunnen spielen in diesen Mythen eine besondere Rolle, einerseits als „Zugang“ zum unterirdischen Reich mythischer Sagen- und Fabelwesen (z. B. in den Märchen von Frau Holle oder dem Froschkönig), andererseits als Zugang zu einem essentiellen Lebensmittel von natürlicher Reinheit. In vielen Kulturen ist der Brunnen Mittelpunkt des Lebens und zentrale Versorgungsstelle für Mensch und Tier (**Bild 1.1**). Viele wurden daher auch künstlerisch gestaltet, wie z. B. der Karlsbrunnen in Aachen oder der Gerechtigkeitsbrunnen in Frankfurt a. M. Auch in Sprichwörtern hat die Nutzung der Brunnen Eingang gehalten („Der Krug geht solange zum Brunnen bis er bricht“, „Das Kind ist in den Brunnen gefallen“).



Bild 1.1: Brunnen als Lebensmittelpunkt – Beispiel aus dem Ovamboland in Nordnamibia (Foto: Treskatis).

In vielen Städten wurden Wartung und Unterhalt von Brunnen von den Nachbarn selbst organisiert, wozu ein Brunnenmeister bestellt wurde, der auch das Brunnenbuch führen musste.

Die Alterung von Brunnen und die damit verbundenen Einschränkungen in der Wasserbeschaffenheit und schöpfbaren Wassermenge beschäftigen die Menschen daher bereits seit langem, da sie den Zugang zu dem wichtigsten Lebensmittel für die Daseinsvorsorge gefährden.

Bereits vor über 2.300 Jahren beschrieb Aristoteles Beläge von Schwefelbakterien aus Brunnen (→ 3.5). Über die Verhältnisse in Duderstadt berichtet Porath (in: Veh & Rapsch 1998), wo ein Herr Barckefeldt im Jahr 1683 beklagte, dass „... Brunnen und Wasserrennen allenthalben mit Einschütten des Kehriges, Knutten und anderen Unflats verunreinigt werden...“. Zur Abhilfe wurden seit 1518 im Abstand von zwei bis drei Jahren Brunnensäuberungen mit anschließendem „Brunnensaubere“ durchgeführt. Letztere wurden ab 1724 untersagt, da das dabei ausgeschenkte Freibier (fünf Fass!) „...dann einerstheils zu vieller Ausgelassenheit, Schlägerey und sonderlich zu Profanierung der hl. Tage Anlaß gibt, anderen Theils aber zum Ruin deren Bürgern und Nachbahren...“.

Auch die Verockerung ist kein neues Problem. Bereits 1545 beschwerte sich ein Spitalmeister aus Nürnberg über einen „...sunderlichen rotten schleym..., welcher aygentlich ungesund zu trinken ist.“ (Wetzel 1969). Beim Ausbau der Wasserversorgung in Mitteleuropa in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts, bei dem Grundwasser eine besonders wichtige Rolle zukam, traf man bereits die noch heute auftretenden Probleme an: Verockerung, Versinterung, Verstopfung durch Partikel und Korrosion. In den frühen Lehrbüchern von Lueger & Weyrauch (1914) und Prinz (1919) sind der Brunnenalterung eigene Kapitel gewidmet, die auch eindruckliche Bilder enthalten.

Das modern anmutende Regenerierintervall und die schöne Tradition der Brunnensaubere sind leider untergegangen, nur manche Wasserversorger beklagen den anstehenden Ruin aufgrund der hohen Kosten für Instandhaltung und Sanierung ihrer Brunnen...

1.1.2 Brunnenalterung im Spiegel von Literatur und Patentschriften

Mit der Industrialisierung und dem Aufkommen der Bohrbrunnen konnten gegenüber den bis Mitte des 19. Jahrhunderts dominierenden Schachtbrunnen immer größere Tiefen erreicht werden (Bieske et al. 1998, Treskatis 2017). Damit stieg aber auch die Wahrscheinlichkeit reduziertes, d. h. eisen- und manganhaltiges Grundwasser anzutreffen. Allerdings verfügten die ersten Vertikalfilterbrunnen

noch über keine Filterkiesschüttung. Sand und Silt des Umgebungsgesteines wurden durch Umwicklung mit metallischem Filtergewebe zurückgehalten, da die Schlitzlöcher bei Guss- und Schmiedeeisen technisch bedingt recht grob ausfielen (Houben 2019). Die Filtergaze verstopfte und korrodierte jedoch häufig schnell. Die Standzeiten betragen daher oft nur wenige Jahre (Bieske 1984). Oft wurde dann der ganze Brunnen gezogen, z. B. mithilfe einer Fangbirne (Prinz 1919). Bei manchen Brunnen wurde in der Bodenkappe gleich eine Öse angebracht, mit deren Hilfe der ganze Brunnen am Stück gezogen werden konnte. Da die Brunnen noch nicht so tief waren und aus Guss- bzw. Schmiedeeisen bestanden, war dies ohne Weiteres möglich.

Bei den zunehmenden Tiefen wurde das Ziehen der Brunnen immer schwieriger und es mussten Techniken zur Regenerierung in situ entwickelt werden. Erste Patentschriften zur Brunnenregenerierung wurden in Deutschland bereits in der Kaiserzeit eingereicht (Böttcher 1905).

Im Buch von Prinz (1919) werden bereits verschiedene Methoden der Regenerierung vorgestellt, darunter das Kolben, das Ausbürsten, die Hochdruckspülung, Stoßverfahren (d. h. eine große Wassermenge wird aus einem Speicherbehälter über ein Ventil sehr schnell in den Brunnen geleitet, sodass ein Druckstoß entsteht) und das Einleiten von Dampf. Auch die Anwendung verdünnter Salzsäure wird erwähnt.

Nach einer Recherche von Paul (2000) wurden in Deutschland (inkl. DDR) von 1900–1999 insgesamt 84 Patente zum Themenbereich „Brunnenalterung“ (zumeist der Klasse E 03 B 3/15 zugeordnet) angemeldet, wobei über die Hälfte aus der Zeit nach 1980 stammt. Eine aktuelle Recherche beim Deutschen Patentamt (www.depatistnet.dpma.de) zu den Bereichen

- Brunnenbetrieb,
- Brunnenalterung,
- Brunnenreinigung,
- Brunnenregenerierung und
- Brunnensanierung

ergab für den Zeitraum 1999 bis Juni 2017 insgesamt 43 anhängige oder erteilte Patente (**Tabelle 1.1**).

Bild 1.2 zeigt, dass die meisten seit 1951 bis Mitte 2017 registrierten Patente in Deutschland in den letzten 35 Jahren verliehen wurden. Schwerpunkt der Anmeldungen und Erteilungen war das Jahrzehnt 1991 bis 2000. In einer Literaturstudie zählt Grossmann (2000) allein 68 überwiegend deutschsprachige Literaturstellen

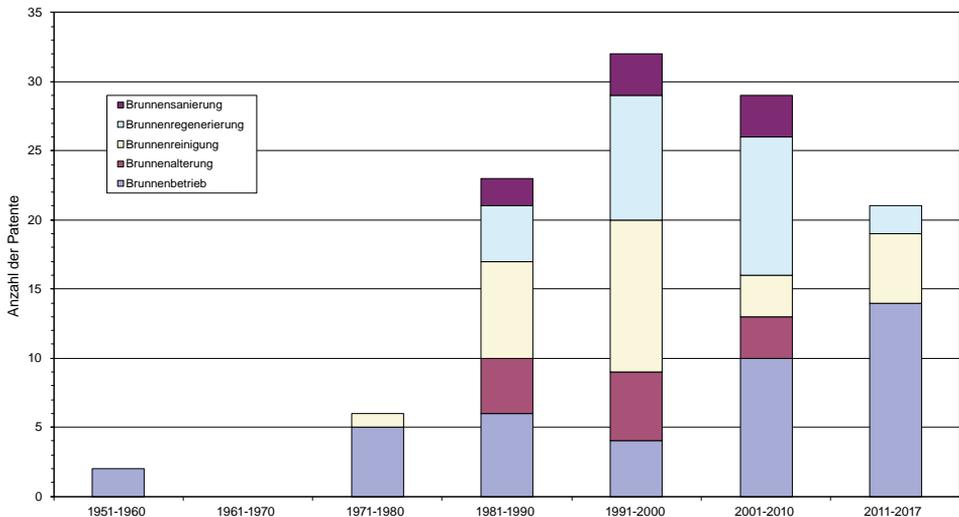


Bild 1.2: Zeitliche Entwicklung der aktuell am Deutschen Patentamt registrierten Patenterteilungen für die Themenbereiche Brunnenbetrieb, Brunnenalterung, Brunnenreinigung, Brunnenregenerierung und Brunnenanierung seit 1951 (Recherche im Februar 2012 unter www.depatis.dpma.de).

Tabelle 1.1: Patente und Gebrauchsmuster rund um den Brunnen (seit 1999). Nach einer Recherche unter <https://register.dpma.de/DPMAregister>.

Aktenzeichen	Schutzrechtsart	Bezeichnung
199 32 593.6	Patent	Verfahren und Vorrichtung zur pulsweisen Generierung von Druckwellen bei der Brunnenregenerierung
601 06 634.0	Patent	Verfahren und Bohrlochwerkzeug zum Herstellen einer Kiespackung in einem Brunnen unter Verwendung niedrig-viskoser Flüssigkeiten
102 24 677.7	Patent	Verfahren zur kombinierten mechanisch/chemischen Brunnenregenerierung
103 01 338.5	Patent	Verfahren und Vorrichtung zur Intensivierung der Durchlässigkeit von bohrungsnahen Bodenschichten sowie von Filterkörpern und Filterschichten in Brunnen und anderen Förderbohrungen
603 30 682.9	Patent	Brunnen
603 41 782.5	Patent	Brunnen und Winddetektor

6 Allgemeines, Übersicht der Normen und Arbeitsblätter

Aktenzeichen	Schutzrechtsart	Bezeichnung
103 61 983.6	Patent	Verfahren und Vorrichtung zur Intensivierung der Durchlässigkeit von bohrungsnahen Bodenschichten sowie von Filterkörpern und Filterschichten in Brunnen und anderen Förderbohrungen
50 2004 007 849.4	Patent	Brunnen
60 2004 014 398.7	Patent	Mit Fluidmaterial fließender Brunnen
60 2007 053 835.1	Patent	Vorrichtung und Verfahren zur Verarbeitung von Flüssigkeiten aus einem Brunnen
07 86 4482.0	Patent	Vorrichtung und Verfahren zur Verarbeitung von Flüssigkeiten aus einem Brunnen
20 2008 002 445.5	Gebrauchsmuster	Brunnen mit einem Brunnenschacht, Messvorrichtung zum Ermitteln eines Flüssigkeitsstandes in einem Brunnenschacht und Aufsatzvorrichtung für einen Brunnen
20 2008 012 444.1	Gebrauchsmuster	Vorrichtung zur Förderung von Wasser, Zisterne, Brunnen oder Teich
50 2008 012 085.8	Patent	Brunnen zur Gewinnung von Energie
10 2008 050 913.2	Patent	Apparat zur Desinfektion von Stadt-, Brunnen- und Rohwasser aus Reservoirs zur Aufbereitung und weiteren Nutzung als Trinkwasser
50 2008 013 878.1	Patent	Vorrichtung und Verfahren zum Aktivieren oder Reinigen von Brunnen
20 2008 014 113.3	Gebrauchsmuster	Vorrichtung zur Aktivierung oder Reinigung von Brunnen
10 2008 055 623.8	Patent	Vorrichtung und Verfahren zum Aktivieren oder Reinigen von Brunnen
08 86 2680.9	Patent	Detektion zugesetzter Brunnen mittels Filter- und Festphasenextraktionsplatte
09 70 4393.9	Patent	Brunnen für Flüssigkeit
20 2009 004 975.2	Gebrauchsmuster	Brunnen-Filterrohr
20 2009 015 183.2	Gebrauchsmuster	Chemische Reinigungs-/Regenerierungsmittel zum Entfernen von reduktionsfähigen Ablagerungen in Brunnen, Wassergewinnungs-, Wasseraufbereitungsanlagen, Rohrleitungen u. dgl.
50 2011 006 368.7	Patent	Um Scharniere schwenkbare oder scharnierlos abhebbare Brunnen- und Schachtdeckung aus faserverstärktem Kunststoff
20 2011 109 950.8	Gebrauchsmuster	Vorrichtung zur Aufnahme aufschwimmender MKW-Phase zur Sanierung von MKW-Schäden in Brunnen, Behältern oder Gewässern

Aktenzeichen	Schutzrechtsart	Bezeichnung
60 2013 006 619.1	Patent	Entwicklung und Regenerierung von Bohrlöchern, Brunnen und Quellen durch eine Drehdüsenvorrichtung mit winkelverstellbaren Düsen
10 2013 102 810.1	Patent	Verfahren zur Erfassung und/oder Überwachung des Feststoffgehalts bei der Rohwasserförderung aus Brunnen
10 2013 017 720.0	Patent	Vorrichtung und Verfahren zum Lösen und Mobilisieren von Partikeln bei der Brunnen- und Drainageentsandung
10 2014 007 812.4	Patent	Vorrichtung zum Aktivieren oder Reinigen von Brunnen
10 2015 000 373.9	Patent	Verfahren zur Reduzierung des Energieverbrauchs einer Förderpumpe, die Wasser aus einem Brunnen in ein Leitungsnetz fördert, sowie Anlage zum Fördern von Wasser aus mindestens einem Brunnen in ein Leitungsnetz
10 2015 001 021.2	Patent	Inspektionsgerät für Kanäle, Brunnen oder dgl.
10 2015 002 476.0	Patent	Vorrichtung und Verfahren zum Aktivieren oder Reinigen von Brunnen
20 2015 002 482.3	Gebrauchsmuster	Vorrichtung zum Aktivieren oder Reinigen von Brunnen
10 2015 006 093.7	Patent	Vorrichtung und Verfahren zum Fördern von Wasser aus einem Brunnen
15 00 1621.0	Patent	Vorrichtung zum Aktivieren oder Reinigen von Brunnen
10 2015 011 487.5	Patent	Verfahren zur Reduzierung des Energieverbrauchs einer Förderpumpe, die Wasser aus einem Brunnen in ein Leitungsnetz fördert, sowie Anlage zum Fördern von Wasser aus mindestens einem Brunnen in ein Leitungsnetz
16 00 0438.8	Patent	Vorrichtung und Verfahren zum Aktivieren oder Reinigen von Brunnen
16 00 0501.3	Patent	Vorrichtung und Verfahren zum Fördern von Wasser aus einem Brunnen
16 17 0073.7	Patent	Verfahren zur Abdichtung von Brunnen durch Injektion eines Dichtungsmittels
10 2016 111 601.7	Patent	Wasser-Transportsystem aus Brunnen
16 30 6686.3	Patent	Verfahren zur Produktion von Kohlenwasserstoffen, das einen Produktivitätsindex der Brunnen unter Wärmeeffekt umfasst
20 2017 103 923.4	Gebrauchsmuster	Brunnen-Kerzenlicht

zum Thema „Brunnenregenerierung“ aus der Zeit nach 1945 auf. Die in Deutschland wohl am häufigsten zitierten Arbeiten sind die Artikel von Hässelbarth & Lüdemann (1967) und Krems (1972). Nach einer eigenen Zählung sind in der Zeitschrift „bbr Wasser, Kanal- & Rohrleitungsbau“ von 1950 bis 2017 mehr als 120 Artikel zum Themenkomplex Brunnenalterung und -regenerierung sowie Brunnensanierung erschienen, wobei die Anzahl der Artikel seit Beginn der 1990er Jahre deutlich zugenommen hat. Dies verdeutlicht die große aktuelle Bedeutung des Themenkomplexes.

Brunnenalterung ist durchaus kein auf Deutschland beschränktes Problem, wie zahlreiche auch außereuropäische Publikationen, z. T. in Buchform, beweisen (van Beek & Kooper 1980; van Beek 1989, 1995; Howsam 1990a,b,c; Paul 1990; Henke et al. 1991; McLaughlan et al. 1993; Tuhela et al. 1993; Howsam et al. 1995; Smith 1995; Walter 1997; Mansuy 1998; Cullimore 1999; Hitchon 2000; van Beek 2002; McLaughlan 2002; Houben & Treskatis 2004, 2007; Smith & Comeskey 2009, Chung et al. 2015, Abramova et al. 2014, 2017). Das Phänomen war auch das Thema verschiedener Dissertationen (Jäkel 1958; Moser 1978; de Zwart 2007; van Beek 2010; Menz 2016).

1.1.3 Arten der Brunnenalterung und ihre relative Bedeutung

Alterungsbedingte Leistungsrückgänge an Brunnenbauwerken werden durch verschiedene physikalische und chemische Prozesse im unmittelbaren Nahbereich der Fassung ausgelöst. Das Arbeitsblatt DVGW W 130 nennt in der Version von 2007 folgende Ursachen, die an Brunnen einzeln oder in Kombination Alterungsprozesse verursachen:

- Versandung (äußere und innere Kolmation der Ringraumschüttung durch förderinduzierte Mobilisierung der Feinpartikel oder Sandeinträge aus dem Grundwasserleiter bzw. durch Unterkorn aus der Filterkiesschüttung)
- Verockerung (chemische und biologische Verockerung, Inkrustationen aus Eisen- und Manganhydroxiden)
- Korrosion (als Ausdruck der Reaktion von metallischen Werkstoffen mit dem Grundwasser)
- Versinterung (Ablagerungen von Calcium- und Magnesium-Karbonaten)
- Verschleimung (Ablagerungen durch Biomassebildung infolge heterotropher Stoffwechselprozesse, Biofouling)
- Aluminiumausfällungen

Bisher nicht in das Arbeitsblatt W 130 aufgenommen wurde die Alterung von Brunnen durch mechanische Verstopfung der Filterkiespackung (→ 4.1), durch