

Christoph Treskatis

gwf^{edition}

Bohrbrunnen

Planung | Ausbau | Betrieb

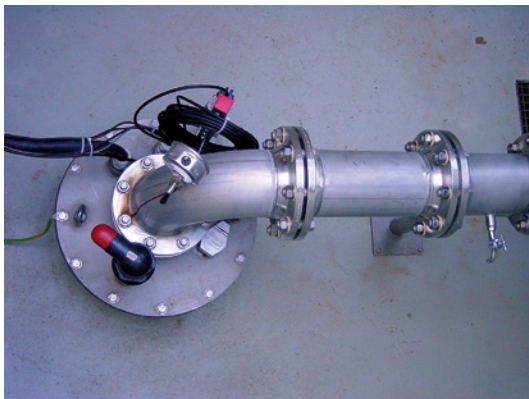
10. Auflage





Ingenieurbüro für Wasserversorgung und Umwelttechnik

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



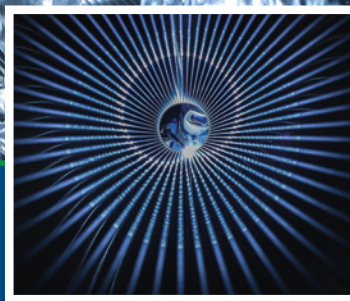
Beratung

Gutachten

Planung

Bauleitung

Wir bewegen Wasser!



GWE
GERMAN WATER
and ENERGY GROUP



**Ihr Kompetenzpartner für
Brunnenbau und Geothermie**

Tel.: +49 5171 2940
info@gwe-gruppe.de
www.gwe-gruppe.de



Prof. Dr. Christoph Treskatis

Bohrbrunnen

Planung | Ausbau | Betrieb

10. Auflage 2022

mit Beiträgen von:

Gunter Baumann

Karsten Baumann

Frank Herrmann

Günther Hettmannsperger

Georg Houben

Kerry F. Paul

Hellfried Petzold

Till Rubbert

Hella Runge

Falk Triller

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.

Bohrbrunnen

Planung | Ausbau | Betrieb

Prof. Dr. Christoph Treskatis

10. Auflage 2022

ISBN: 978-3-8356-7449-3 (Print)

ISBN: 978-3-8356-7450-9 (eBook)

© 2022 Vulkan Verlag GmbH

Friedrich-Ebert-Straße 55, 45127 Essen, Deutschland

Telefon: +49 201 820 02-0, Internet: www.vulkan-verlag.de

Projektmanagement: Nico Hülsdau, Vulkan-Verlag GmbH, Essen

Lektorat: Dr. Hella Runge, Vulkan-Verlag GmbH, Essen

Herstellung und Umschlaggestaltung: Melanie Zöller, Vulkan-Verlag GmbH, Essen

Titelbild: © Prof. Christoph Treskatis

Satz: 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.

Vorwort zur 10. Auflage

92 Jahre nach dem Erscheinen der ersten Auflage des Fachbuches „Bohrbrunnen“ – das damals noch „Rohrbrunnen“ hieß (Bieske 1929) – wird die 10. Auflage vorgelegt. Seit der 9. Auflage aus dem Jahr 2016 wurden einige DIN-Normen und Regelwerksblätter überarbeitet, alle textliche Passagen redigiert, zum Teil aktualisiert und einige Abbildungen ergänzt bzw. ausgetauscht.

Der Stand des Wissens erweitert sich im Brunnenbau eher langsam, so dass kurzfristige revolutionäre Neuerungen nicht zu erwarten sind. Im Gegenteil, der Brunnenbau ist Teil der Daseinsvorsorge und Brunnen sind „kritische Infrastrukturen“. Kritische Infrastrukturen (KRITIS) sind nach der Definition des Bundesamtes für Sicherheit in der Informationstechnik Organisationen oder Einrichtungen mit wichtiger Bedeutung für das staatliche Gemeinwesen, bei deren Ausfall oder Beeinträchtigung nachhaltig wirkende Versorgungsengpässe, erhebliche Störungen der öffentlichen Sicherheit oder andere dramatische Folgen eintreten würden.

Daher müssen Brunnen für die Wasserversorgung der Bevölkerung und Industrie individuell geplant und vor allem auch geschützt und instandgehalten werden. Dazu müssen Entscheidungen getroffen werden, die technische und wirtschaftliche Rahmenbedingungen und nicht zuletzt die Naturkausalitäten am gewählten Brunnenstandort berücksichtigen. Bei der Planung von Brunnen ist immer das Risiko allgegenwärtig, die richtige Entscheidung getroffen zu haben.

Sicherheitsmaßnahmen im Betrieb und Sicherheitszuschläge bei der Planung und Bemessung sind ein Aspekt der Fehlerkultur, auch im Brunnenbau. Der Bildungsforscher Gerd Grigenzer unterscheidet in seinem lesenswerten Buch „Risiko – Wie man die richtigen Entscheidungen trifft“ (2014) zwischen positiven und negativen Fehlerkulturen. Das eine Extrem, die negative Fehlerkultur, ist von Ängsten, Fehler zu machen, geprägt. Damit verbunden sind defensive Entscheidungen, die durch die Psychologie des Systems, in dem die „Entscheider“ stecken, gesteuert wird. Menschen, die von Ängsten betroffen sind, tun alles, um Fehler zu vermeiden – und scheitern meist daran. Diese Art der Fehlerkultur hat nach Ansicht von Gerd Grigenzer kaum Aussicht, aus Fehlern zu lernen und neue Chancen zu entdecken. Am anderen Ende der Fehlerkulturen werden Fehler dagegen transparent gemacht, zu positiven Fehlern ermutigt und aus negativen Fehlern gelernt. Dazu ist aber die Fähigkeit erforderlich, Unwägbarkeiten durch Erfahrungen, Faustregeln und Heuristik, eben auch mit unvollständigen Informationen und wenig Zeit, zu praktikablen Lösungen zu kommen. Leider lehrt hier die Erfahrung den Autor, dass das defensive Entscheiden immer weiter um sich greift und dass ein stupides Regelbefolgen ohne Intuition und Kreativität das Handeln nicht nur in der Politik, sondern auch in Technik und Naturwissenschaft immer umfassender beherrscht. Entscheidungen werden herausgezögert, es werden „mehr Daten“ angefordert, der Mut zu zukunftsweisenden Entscheidungen fehlt. Die Folgen sind für jeden von uns sicht- und spürbar: immer weiter alternde Infrastrukturen wie Brücken,

Straßen, Bahnanlagen aber auch Brunnenbauwerke ... bis dann in Momenten außergewöhnlicher Ereignisse oder Entwicklungen von diesen Anlagen unter „Volllast“ Leistungen und Zuverlässigkeit wie im Neubauzustand erwartet werden.

Nicht zuletzt sei hier an die Folgen des inzwischen nicht mehr als „in weiter Zukunft stattfindendes Ereignis“ zu bezeichnenden Klimawandels erwähnt: Er ist inzwischen auch bei der Wassergewinnung aus Brunnen und vor allem auch bei der Quellwassergewinnung „angekommen“. Quelfassungen fallen temporär trocken, Brunnen sollen diese ersetzen und werden in den länger werdenden Trockenzeiten häufiger im Dauerbetrieb mit maximal möglicher Leistung ohne Rücksicht auf den Aquifer betrieben, die rückläufige Grundwasserneubildung wird für weiter fallende Grundwasserstände und zu (temporären?) Speichervorratsentnahmen sorgen, die förderbedingt sich einstellenden Einzugsgebiete vergrößern sich im Vergleich zu den wasserrechtlich abgegrenzten Bilanzräumen in den Grundwasserkörpern, nach früheren hydrogeologischen Kriterien festgesetzte Schutzgebietsgrenzen werden überschritten ... Klimabedingte Herausforderungen werden auch im Brunnenbau nur gemeistert, wenn heute mutige Entscheidungen zur Sanierung und Neubau von zukunftsfähigen wasserwirtschaftlichen Infrastrukturen getroffen werden und defensives Verzögern mit der Furcht vor juristischen Auseinandersetzungen und Haftung der Vergangenheit angehören.

Jede Regel ist nur eine Richtschnur, defensives Entscheiden verzögert Verbesserungsprozesse und führt am Ende nur zur „zweitbesten“ Lösung. Im Brunnenbau müssen vielfältige Aspekte in die Planung und in die Ausführung einfließen, die nicht alle mit Daten und vermeintlich allumfassenden Rechenmodellen belegbar sind. Eine Bohrpunktfestlegung oder den Brunnenausbau alleine mit einem numerischen Modell zu planen, ist trotz des oft hohen Mitteleinsatzes extrem risikobehaftet und gehört in das System der negativen Fehlerkultur. Hier helfen nur örtliche Erhebungen der Naturzusammenhänge durch Erkundungsbohrungen und hydrogeologische Messungen gepaart mit einer gesunden Portion Erfahrung und auch Intuition grundsätzlich weiter; sie mindern das Risiko eines Planungs- oder Ausführungsfehlers nachhaltig.

Auch diese Auflage gelang nur, weil ich erneut von meinen Kolleg:Innen freundschaftlich unterstützt wurde, die dies schon bei der vorangegangenen Auflage taten. Neu im Team zur Erstellung der 10. Auflage waren Frank Herrmann (Bieske und Partner Süd GmbH) und Günther Hettmannsperger (vereidigter Sachverständiger für das Brunnenbauerhandwerk), die das Kapitel 7 neu strukturiert und aktualisiert haben. Falk Triller von der Bohrlochmessung Storkow GmbH unterstützte die Aktualisierung der geophysikalischen Fachbeiträge. Allen sei an dieser Stelle wieder ganz herzlich für die Durchsicht und Anpassung ihrer Fachbeiträge gedankt.

Dem Vulkan Verlag, Essen, danke ich für die Unterstützung, das Lektorat und die gelungene und professionelle Umsetzung meines Manuskriptes.

Zum Schluss bleibt mir, wie bei der 9. Auflage, festzustellen:

Nichts und niemand sind perfekt und auch ein Fachbuch in 10. Auflage muss in einigen Aspekten mehr oder weniger große Lücken sowie unabsichtliche oder bewusste Weglassungen aufweisen. Der Autor ist immer für Hinweise und fachlich fundierte Ergänzungen für eine weitere Auflage dankbar.

Jeder Bohrbrunnen ist ein Individualbauwerk und muss individuell geplant und betrieben werden. Eine Verantwortung für Planungsfehler, Unfälle oder Schäden, die sich aus der Anwendung von Methoden oder Techniken, die in dem Buch auch in dieser Auflage beschrieben werden oder ableiten lassen, wird vom Autor grundsätzlich nicht übernommen.

Siegburg im Dezember 2021

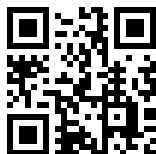
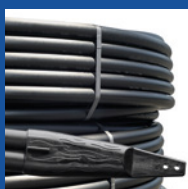
Prof. Dr. habil. Christoph Treskatis



Qualität Made in Germany

Gemeinsam für mehr Wasser!

Seit 135 Jahren begleiten wir weltweit Projekte von der ersten Idee bis zur erfolgreichen Umsetzung.



STÜWA Konrad Stükerjürgen GmbH
Hemmersweg 80 | D-33397 Rietberg
Tel. +49 5244 407-0 | info@stuewa.de
www.stuewa.de



Holen Sie sich die
STÜWApedia FREE APP



Vorwort zur 9. Auflage

Seit dem Erscheinen der 8. Auflage von „Bieske Bohrbrunnen“ im Jahr 1998, die Herr Erich Bieske noch maßgeblich mitgestaltete, sind 18 Jahre vergangen. In dieser Zeit ist die Entwicklung, Gestaltung und Herstellungstechnik im Brunnenbau weiter fortgeschritten; dies trifft insbesondere auf wichtige Teile des Normenwerks des DIN und auf das Regelwerk des Deutschen Vereins des Gas- und Wasserfaches e.V. (DVGW) zu.

Mehr als drei Viertel des Trinkwassers werden in Deutschland aus dem Grundwasser gewonnen. Bohrbrunnen spielen für die Wasserversorgungswirtschaft und Industrie eine bedeutende Rolle. Die Anforderungen an die Planung und den Bau von Brunnen sind hinsichtlich der nachhaltigen Bewirtschaftung des Grundwassers, der hygienischen Anforderungen und den wirtschaftlichen Erwartungen an die Lebenszeit und Energieeffizienz gestiegen.

Da Bohrbrunnen individuell zu planende und von vielfältigen Einflussfaktoren bestimmte Bauwerke sind, müssen die Einflüsse des geologischen Standortes, die Brunnenhydraulik, die brunnenbautechnische Herstellung sowie die Wartung und Instandhaltung ganzheitlich betrachtet werden.

Der Bau von Brunnen erfordert fachlich gut ausgebildete Menschen und verlangt vor allem die Fähigkeit und Nutzung der heute zur Verfügung stehenden technischen Möglichkeiten zum Kompromiss. Zugunsten der Anschaulichkeit und des allgemeinen Verständnisses beuge ich mich als Autor der hier vorliegenden Neuauflage des über lange Jahrzehnte bewährten Fachbuches „Bieske - Bohrbrunnen“ bewusst auf das Glatteis des „sich Festlegens“. Einige Darstellungen und Beschreibungen können bei einer streng wissenschaftlichen Betrachtungsweise Kritik provozieren. Daher ist das Buch nicht als „starres“ Lehrbuch zu werten, sondern als aktuelle Zusammenfassung von Praxiserfahrungen, technischen Möglichkeiten und Forschungsergebnissen. Dabei kam ich, alleine aus Platzgründen, nicht an einer Auswahl der Methoden und Sichtweisen im Brunnenbau herum. In einigen Fällen habe ich Literaturbeiträge oder Informationen Dritter nicht umfänglich in diese Auflage übernommen, da deren Entwicklung und belastbare Ergebnisse zum Redaktionsschluss noch nicht absehbar waren.

Eine Überarbeitung und fachliche Ergänzung eines über lange Jahre etablierten Standardlehrbuches ist in der heutigen Zeit nicht ohne die Unterstützung von Fachkollegen und -kolleginnen möglich. An dieser Stelle sei allen denjenigen gedankt, die zum Gelingen der 9. Auflage und deren kompletten Überarbeitung beigetragen haben.

Für textliche Beiträge konnte ich gewinnen:

- Dr. Gunter Baumann, Storkow (zum Thema Bohrlochgeophysik),
- Dipl. Geol. Karsten Baumann, Storkow (zum Thema Bohrlochgeophysik),
- Dr. Georg Houben, Hannover (zum Thema Brunnenhydraulik),
- Dipl. Ing. Kerry F. Paul, Berlin (zum Themenbereich Schüttkornbestimmung),

- Dr. Helfried Petzold, Potsdam (zum Thema Oberflächengeophysik),
- Dr. Till Rubbert, Lohmar (zum Thema Anforderungen an Wasserrechtsgutachten und Wasserschutzgebiete),
- Dipl. Ing. Wilhelm Rubbert, Lohmar (zum Themenbereich Ingenieurvertrag, VOB und HOAI),
- Dr. Hella Runge, Münster (zum Thema Brunnenbau in Entwicklungsländern, Schwerpunkt Afrika).

Allen sei an dieser Stelle ganz herzlich für ihre Beiträge und die freundschaftliche Unterstützung des Buchprojektes gedankt.

Der Autor dankt auch allen Personen und Firmen, die dieses Vorhaben mit Rat und Tat sowie mit einer unkomplizierten Überlassung von Fotos, technischen Daten und Informationen zu ihren Produkten und Anlagen unterstützt haben.

Hier sind zu nennen:

- Fa. African Water, Münster (Hinweise und Bilder in Kapitel 10),
- Fa. Aqua Bohr- und Brunnenbaugesellschaft, Bindlach (Fotos von Bohrgeräten),
- Fa. Behringer + Dittmann Bohrgesellschaft, Fürth (Fotos von Bohrgeräten),
- Fa. BHG, Ludwigshafen (Bild 3.48 und Informationen zu Bildern 3.49 und 3.51),
- Fa. Bieske und Partner Beratende Ingenieure, Lohmar (Fotos und technische Informationen zu Brunnenbauprojekten),
- Fa. Marx Bergbau (Herr M. Schellhorn), Dornburg (Bilder und Informationen zu Abdichtungstone)
- Herr Prof. Dr. Wilhelm Coldewey und Herr Dirk Meier, Münster (Bild 1.10),
- Filderwasserversorgung, Neckartailfingen (Bilder und Schemata zum Wasserwerk Neckartailfingen),
- Herr Prof. Yossi Garfinkel, Jerusalem (Bilder 1.14 und 1.15 zu neolithischen Geröllbrunnen),
- Fa. GWE Pumpenboese, Peine (Fotos und technische Informationen),
- Fa. Hauff-Technik, Hermaringen (Fotos und Zeichnungen zu Rohrdurchführungen und Abdichtungen),
- Fa. Huber SE, Berching (Abbildungen zu Schachtleiter und Einstiegsdeckel),
- Herr Rainer Krysch, Kaarst (Informationen zur Trinkwasserdesinfektion und Bild 9.32),
- Fa. Krohne Messtechnik, Duisburg (Informationen zur MID-Messtechnik und Bild 9.21),
- Landschaftsverband Rheinland (LVR), Nideggen (Bild 1.12 des neolithischen Holzkastenbrunnens in Kückhoven, Kreis Heinsberg)
- Fa. Sigmund Linder, Warmensteinach (Bilder und Daten zu Glaskugeln)
- Fa. Ochs Bohrgesellschaft, Nürnberg (Fotos von Bohranlagen und Bohrwerkzeugen),
- OÖ Wasser, Linz (Schemabilder von Schachtbrunnen),
- Fa. Pigadi und Herr Düvelmeyer, Berlin (Bild und Informationen zur Funktionsstrecke zur Brunnenentwicklung und Bild 8.44),

- Herr Sebastian Quante, Warendorf/Recklinghausen (Bilder von Brunnenfilterrohren im Baustelleneinsatz)
- Sächsisches Landesamt für Archäologie (Bilder 1.13 und 1.14),
- Herr Prof. Dr. Ingo Sass, Darmstadt (Bilder zur Bohrlochabweichung),
- Stadtwerke Augsburg Wasser GmbH (Bilder 5.178 und 5.179),
- Fa. Konrad Stückerjürgen, Rietberg (Fotos und technische Informationen),
- Herr David Urban-Werner, Rostrup (Fotos von Bohrgeräten),
- Wasserversorgung Zürich, Herr Alexander Betschart (Informationen zu Horizontalfilterbrunnen und Titelbild)
- Herr Jürgen Weiner, Pulheim (Bilder und Veröffentlichungen zu neolithischen Brunnen)

und alle weiteren hier nicht explizit erwähnten Personen, Firmen, Wasserversorgungsunternehmen und Gemeinden in Deutschland, Österreich, Schweiz und Luxemburg, die meine Arbeiten mit Material von Projekten und dem Öffnen ihrer Brunnenanlagen für meine Untersuchungen und Forschungen unterstützt haben.

In der 9. Auflage wurden nicht nur alle Kapitel der 8. Auflage komplett überarbeitet und neu strukturiert, sondern auch ein umfangreiches Literatur- und Schlagwortverzeichnis angelegt, um interessierten Leserinnen und Lesern Hinweise zu weiterführenden und vertiefenden Recherchen zu geben. Ebenso wurden zahlreiche neue Fotos, Abbildungen und Grafiken in die Neuauflage integriert.

Die neu aufgenommenen Bilder von technischen Daten, Zeitreihen und deren graphische Aufarbeitung wurden von Frau Dipl. Geol. Christiane Nienhaus (Bieske und Partner GmbH) konzipiert und umgesetzt. Frau Nienhaus unterstützte mich dankenswerterweise mit großem Einsatz auch beim Korrekturlesen und gab wertvolle Hinweise zur stilistischen Gestaltung des Textes und der Tabellen.

Die Modernisierung und Neugestaltung der zeichnerischen Abbildungen aus der 8. Auflage sowie der zahlreichen neuen Bilder übernahm Frau Cornelia Reuter (Bieske und Partner GmbH). Beiden Kolleginnen möchte ich ganz herzlich für ihr persönliches Engagement und ihre wertvolle Unterstützung danken. Ohne aussagekräftige Abbildung ist ein Fachbuch heutzutage nicht „lesbar“.

In diesem Zusammenhang danke ich auch meinem Arbeitgeber, der Fa. Bieske und Partner Beratende Ingenieure GmbH, Lohmar, für die Unterstützung und das Vertrauen in meine Arbeiten.

Dem DIV Deutschen Industrieverlag, München und Vulkan Verlag, Essen danke ich für die Unterstützung, das Lektorat und die gelungene und professionelle Umsetzung meines Manuskriptes.

Zum Schluss bleibt mir noch festzustellen:

Nichts und niemand ist perfekt und auch ein Fachbuch in 9. Auflage weist in einigen Aspekten mehr oder weniger große Lücken sowie unabsichtliche oder bewusste Weglassungen auf. Der Autor ist daher für Hinweise und fachlich fundierte Ergänzungen für eine weitere Auflage dankbar.

Jeder Bohrbrunnen ist ein Individualbauwerk und muss individuell geplant und betrieben werden. Eine Verantwortung für Planungsfehler, Unfälle oder Schäden, die sich aus der Anwendung von Methoden oder Techniken, die in dem Buch beschrieben werden, ableiten lassen, wird vom Autor nicht übernommen.

Siegburg, den 31.08.2016

Prof. Dr. Christoph Treskatis

*„Wir sind nicht nur verantwortlich für das, was wir tun,
sondern auch für das, was wir nicht tun“*

Molière

Inhalt

1	Historische Entwicklung der Wassergewinnung	1
1.1	Wie entstand eine Wasserversorgung?	1
1.2	Das Fassen von Quellen	4
1.3	Entwicklung des Brunnenbaus	7
1.4	Brunnen als Grundstein einer modernen Wasserversorgung	17
2	Einige Kennzahlen zur Wasserversorgung in Deutschland	25
2.1	Hydrologische und wasserwirtschaftliche Voraussetzungen für die Brunnenplanung	25
2.2	Wasserbedarf als Grundlage der Brunnenplanung	29
3	Grundwasserfassungen	37
3.1	Allgemeine Hinweise	37
3.2	Schachtbrunnen	37
3.2.1	Entwicklung und heutige Nutzungsmöglichkeiten	37
3.2.2	Konstruktive Eigenschaften von Schachtbrunnen	41
3.2.3	Schwachstellen eines Schachtbrunnens	46
3.2.4	Anforderungen an den Bau von Schachtbrunnen	48
3.3	Bohrbrunnen	50
3.3.1	Allgemeines	50
3.3.2	Entwicklungen in der Gestaltung des Bohrbrunnens	54
3.3.3	Heutige Anforderungsprofile an Bohrbrunnen	57
3.4	Sickerrohrleitungen	61
3.4.1	Sickerrohrleitungen im Lockergestein	61
3.4.2	Sickerrohrleitungen im Festgestein	65
3.5	Horizontalfilterbrunnen	67
3.5.1	Allgemeines	67
3.5.2	Herstellungsverfahren für die Stränge	70
3.5.3	Bemessungsgrundsätze	77
3.5.4	Einfluss der Strangposition auf die Ergiebigkeit	81
3.6	HDD-Brunnen („verlaufsgesteuert hergestellter“ Horizontalbrunnen)	86
4	Verwendungsgebiete des Bohrbrunnens	95
4.1	Allgemeines	95
4.2	Bohrbrunnen für die Wassergewinnung	96
4.3	Bohrbrunnen für die Grundwasserabsenkung	100
4.4	Bohrbrunnen zur Grundwasseranreicherung und Uferfiltratgewinnung	103
4.4.1	Allgemeines	103
4.4.2	Betriebstechnische Problemstellung bei der Grundwasseranreicherung	107

Dinkelmeier + Herrmann GmbH

Sachverständigenbüro für Brunnen und Quellen zur Wassergewinnung

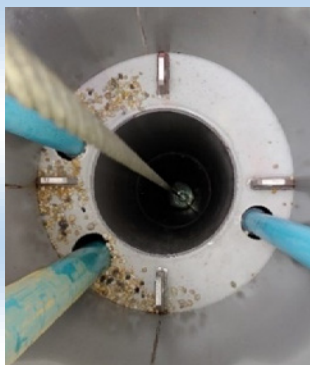
Widukindstr. 7 • 90574 Roßtal • T: 09127/9543787 • E: info@brunnenplanung.de • www.brunnenplanung.de

Fundierte Fachwissen aus der Praxis für die Planung von Bohrungen, Brunnenbauarbeiten, Abschlussbauwerken und technischer Ausrüstung. Von der ersten Studie bis zur Inbetriebnahme – alles aus einer Hand.

Gutachten für Gerichte und Versicherungen, Schieds- und Wertgutachten
Wir prüfen auf Grundlage der allgemein anerkannten Regeln der Technik als ö.b.u.v. SV für Brunnenbau und Private Sachverständige der Wasserwirtschaft die mängelfreie Ausführung von Planungs- und Brunnenbauarbeiten.

Machbarkeitsstudien - nach dem Prinzip wirtschaftlich durch Qualität
Bedarfsanalysen, Sanierung, Neuerschließung, Grundlagenermittlung

Kompetente Planung mit Erfahrung - für ein langes Brunnenleben
Mit innovativen Lösungen für neue Sperrrohrkonzepte ohne alternde Ringraumschüttung, Abschlussbauwerke mit effizienter technischer Ausrüstung mit dauerhaft garantierter konzentrischer Lage der Steigrohre zum Brunnenrohr – für den Schutz von Brunnen- und Steigrohr. Optimierte Schüttgutbestimmung für Kies und Glaskugeln – auch bei schwierigen Böden.



Vergabeunterlagen für Bohr- und Brunnenbauarbeiten mit Bauleitung
Detaillierte und präzise Vergabeunterlagen vermeiden Mängel bei der handwerklichen Bauausführung. Baustellenkontrollen, wenn es darauf ankommt.

Beratung gemäß DVGW-AB W 125 und W 130 für Brunnenbetreiber
Brunnenmanagement für einen effizienten und nachhaltigen Brunnenbetrieb. Zustandsbewertung und Auswahl bedarfsgerechter Regenerierungen.

Planung von Sanierungs- und Rückbauarbeiten nach DVGW-AB W 135
Überbohrungs- und Rückbautechniken mit bewährten und neuen Verfahren. Erstellen konzeptioneller Risikobewertungen von Ausführungsvarianten. Wiederherstellung der Systemdichtheit von Brunnenbauwerk und Trennschicht mit Beschreibung der erforderlichen Nachweisverfahren.

Dinkelmeier + Herrmann GmbH • Für ein langes Brunnenleben

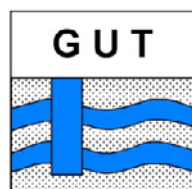
4.4.3	Einflussgrößen auf die Infiltrationsleistung von Schluckbrunnen	111
4.4.4	Bemessungshinweise für Schluckbrunnen	118
5.	Ausbildung des Bohrbrunnens.....	125
5.1	Bestimmungsfaktoren für die Bauform	125
5.2	Bauformen des Bohrbrunnens	125
5.2.1	Filterlose Bohrbrunnen	125
5.2.2	Kiesschüttungsbrunnen bei verrohrter Bohrung	131
5.2.3	Kiesschüttungsbrunnen bei unverrohrter Bohrung	133
5.2.4	Kiesschüttungsbrunnen bei Anwendung von Spülbohrverfahren	134
5.2.5	Kiesschüttungsbrunnen mit erweitertem Schüttgutraum	137
5.2.6	Kiesschüttungsbrunnen im Festgestein	138
5.2.7	Kiesbelagfilterbrunnen	139
5.2.8	Gewebefilterbrunnen	140
5.2.9	Bohrtechnisch vertiefter Schachtbrunnen.....	141
5.2.10	Rammbrunnen	143
5.2.11	Spülfilterbrunnen.....	143
5.2.12	Flachspiegel-, Tiefspiegel- und Überlaufbrunnen	144
5.3	Grundlagen zur Bemessung eines Bohrbrunnens	146
5.3.1	Allgemeines zur Brunnenbemessung	146
5.3.2	Einflussfaktoren auf die Brunnenbemessung.....	152
5.3.3	Grundlagen der hydraulischen Brunnenbemessung	155
5.3.4	Grundlagen der statischen Brunnenbemessung	157
5.3.5	Brunnenhauptabmessungen	163
5.3.5.1	Ausbaudurchmesser	163
5.3.5.2	Bohrenddurchmesser	165
5.3.5.3	Filterrohrlänge	168
5.3.5.4	Brunnentiefe (Bohrteufe).....	171
5.3.5.5	Einfluss der Wasserspiegellage auf die Bemessung	174
5.4	Brunnenfilterrohre und Brunnenrohre.....	174
5.4.1	Allgemeines.....	174
5.4.2	Anforderungen an Brunnenfilterrohre	176
5.4.2.1	Einfluss auf Sandführung und Trübungen im Brunnenwasser.....	176
5.4.2.2	Einfluss auf den Filtereintrittswiderstand.....	178
5.4.2.3	Einfluss auf die Beständigkeit gegenüber Korrosion	188
5.4.2.4	Einfluss der mechanischen Festigkeit	195
5.4.2.5	Einfluss der hygienischen Beschaffenheit des verwendeten Werkstoffes	204
5.4.2.6	Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit.....	204
5.4.2.7	Einfluss auf die Betriebssicherheit	205
5.5	Entwicklung der Brunnenfilterrohre	206
5.5.1	Geschichtlicher Rückblick	206
5.5.2	Gewebefilter	208

5.5.3	Kies- und Kiesbelagfilter.....	209
5.5.4	Filterrohrwerkstoffe.....	212
5.5.5	Verschiedene ältere Filterrohrkonstruktionen.....	214
5.5.6	Brunnenrohrmaterialien für Bohrbrunnen	217
5.5.6.1	Normen für die Brunnenrohre.....	217
5.5.6.2	Stahlfilterrohre für kleine Bohr- und Rammbrunnen	217
5.5.6.3	Stahlfilterrohre für größere Bohrbrunnen.....	219
5.5.6.4	Filterrohre in Wickeldrahttechnik.....	231
5.5.6.5	PVC-Filter- und Vollwandrohre für Bohrbrunnen	238
5.5.6.6	Zusammenfassende Übersicht über die Brunnenausbaurohre.....	247
5.5.6.7	Drahtgewebe im Brunnenbau.....	253
5.6	Ringraumschüttungen im Filterbereich	254
5.6.1	Filtersande und Filterkiese nach DIN 4924	254
5.6.2	Glaskugeln	263
5.6.3	Schüttgutbemessung	271
5.6.3.1	Grundlagen	271
5.6.3.2	Modelltheorien zur Bestimmung der Schüttkorngröße.....	274
5.6.3.3	Entwicklung der Schüttgutbemessung von Bohrbrunnen.....	288

GeoUmweltTeam GmbH

Wiesenstr. 18
87616 Marktoberdorf
Tel.: 08342 - 96390
Fax: 08342 - 963939

office@geoumweltteam.de
www.geoumweltteam.de



Grundwasser

- Erkundungsbohrungen
- Quelfassungen
- Brunnen
- Pumpversuche
- Wasseranalytik
- Grundwassermonitoring

Umweltschäden

- Probenahme
- Analytik



Erdwärmenutzung

- Voruntersuchungen
- Wärmepumpenbrunnen
- Erdsonden
- Sonderlösungen

Öffentlichkeitsarbeit

- Vorträge
- Geodesign
- Lehrpfade
- Exkursionen

Beratung • Planung • Gelände- und Laborarbeiten • Gutachten

5.6.3.4	Aufgabe der Ringraumschüttung in Festgesteinsbrunnen	295
5.6.4	Schüttkornbestimmung nach DVGW W 113 (1983 bis 2001).....	297
5.6.4.1	Entwicklung der Bestimmungsmethoden	297
5.6.4.2	Schüttkornbestimmung und Kennwerte aus Siebanalysen nach dem bisherigen DVGW W 113 (2001).....	307
5.6.4.3	Modifizierte Schüttkornbestimmung nach DVGW EW 113 (2020)	308
5.6.4.4	Probenqualität für die Schüttkornbestimmung	311
5.6.4.5	Nutzung einer Aufschlussbohrung nach der Schüttgutbestimmung	319
5.6.4.6	Sedimentuntersuchungen im Labor	321
5.6.4.7	Brunnenausbauplanung – erster Schritt: Kompromissfindung.....	350
5.6.4.8	„Hydraulische Kette“ – die Vervollständigung des Durchlässigkeits- kontrastes	355
5.6.5	Durchlässigkeit von Glaskugel- und Kornfilterschüttgütern nach DIN 4924	358
5.6.6	Schüttungstechniken	361
5.7	Materialien zur Abdichtung von Bohrbrunnen	362
5.7.1	Was bedeutet „dicht“ im Brunnenbau?	362
5.7.2	Abdichtung durch Sperrrohre	369
5.7.3	Abdichtungsmedien im Brunnenbau.....	379
5.7.3.1	Geschüttete Abdichtungsmedien.....	379
5.7.3.2	Verfüllbaustoffe	388
5.8	Brunnenabschlussbauwerke	403
5.8.1	Allgemeines.....	403
5.8.2	Gestaltung des Brunnenvorschachtes	410
5.8.2.1	Aufgaben des Abschlussbauwerkes	410
5.8.2.2	Einfluss der Fördertechnik auf die Bauwerksgestaltung.....	419
5.8.2.3	Bauliche Grundsätze	421
5.8.2.4	Bohrbrunnen-Abschlussköpfe.....	427
5.8.2.5	Schutzrohre für Peilrohre	432
5.8.2.6	Schachtwanddurchführungen	435
5.8.2.7	Be- und Entlüftungseinrichtungen.....	438
5.8.2.8	Schachtabdeckungen.....	443
5.8.2.9	Schachtleitern	446
5.8.2.10	Entnahmeverrichtungen für Wasserproben	448
5.8.2.11	Brunnenwasserzähler	449
5.8.2.12	Wasserspiegelmessung und Trockenlaufschutz	451
5.8.2.13	Anstricharbeiten.....	454
5.8.2.14	Bauformen oberirdischer Abschlussbauwerke	459
5.8.2.15	Sonderausführungen von Abschlussschächten	461
5.8.3	Elektrische Ausrüstung der Brunnenvorschächte.....	462
5.9	Anforderungen an artesische Brunnen.....	466
5.9.1	Allgemeine Hinweise.....	466
5.9.2	Abteufen artesischer Brunnen	468

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



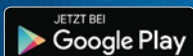
BRUNNEN-IQ:

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

5.9.3	Ausbau eines artesischen Brunnens	470
5.9.4	Betrieb artesischer Brunnen	473
6	Planungsgrundsätze für Bohrbrunnen	475
6.1	Grundbegriffe zur Planung einer Wassergewinnungsanlage	475
6.1.1	Allgemeines	475
6.1.2	Begriffe und Definitionen rund um das Grundwasser	478
6.1.3	Gewinnung von Uferfiltrat	485
6.1.4	Künstliche Grundwasseranreicherung	489
6.1.5	Typologie von Grundwasserleitern – Gewinnung von Grundwasser	496
6.1.6	Darcysches Filtergesetz	502
6.2	Hydraulik von Brunnen	505
6.2.1	Strömungsregime um Vertikalfilterbrunnen und ihre mathematische Beschreibung	505
6.2.2	Beiträge der Brunnenkomponenten zur Gesamtabsenkung	510
6.2.3	Instationäre Zuströmung zum Brunnen	514
6.2.4	Zusammenfassung der hydraulischen Bemessungskriterien für Bohrbrunnen	514
6.2.5	Einfluss der Brunnengeometrie	518
6.2.6	Abweichungen von der idealen Geometrie	521
6.2.7	Numerische Modellierung der Brunnenanströmung	526
6.2.8	Vereinfachte Bestimmung der günstigsten Brunnenleistung	527
6.2.9	Mehrbrunnengleichungen	537
6.2.10	Mehrbrunnengleichung von Paavel	537
6.3	Auswahl des Standortes	539
6.3.1	Erste Erhebungen	539
6.3.2	Beurteilung der Situation	540
6.3.3	Vorauswahl des Fassungsgebietes	541
6.4	Hydrogeologische Arbeiten und Erkundungsbedarf	541
6.4.1	Aufgabenstellung	541
6.4.2	Oberflächengeophysik bei der Erkundung	543
6.4.3	Bohrtechnische Untersuchungen	547
6.4.3.1	Bestimmung von Bohransatzpunkten	547
6.4.3.2	Aufschlussbohrungen	549
6.4.3.3	Versuchsbohrung	557
6.4.3.4	Ausbau zur Grundwassermessstelle	557
6.4.3.5	Versuchsbrunnen	560
6.4.3.6	Hydrogeologische Vorarbeiten im Festgestein	562
6.4.4	Hydraulische Tests	563
6.4.4.1	Allgemeines	563
6.4.4.2	Kurzpumpversuch zur Wasserprobenentnahme	564
6.4.4.3	Kurzpumpversuch zur Ermittlung der spezifischen Ergiebigkeit	566
6.4.4.4	Grundwasserleitertest	567

6.4.4.5	Auswertung von Pumpversuchen	571
6.4.4.6	Weitere Methoden zur Ermittlung des Durchlässigkeitsbeiwertes	581
6.4.4.7	Entnahmegrenze und Reichweite.....	584
6.4.4.8	Absenkung und Wasserentnahme	587
6.4.4.9	Absenkung und Mächtigkeit des Grundwasserleiters	588
6.4.4.10	Brunnendurchmesser und Wasserandrang	588
6.4.4.11	Markierungsversuche	589
6.4.5	Bohrlochgeophysik im Bohraufschluss.....	594
6.4.5.1	Einführung.....	594
6.4.5.2	Messungen in offenen Bohrungen zur Erkundung und Erschließung von Grundwasser.....	597
6.4.5.3	Vermessung von Aufschlussbohrungen im Lockergestein	598
6.4.5.4	Vermessung von Aufschlussbohrungen im Festgestein	599
6.4.6	Hinweise zu Messungen und Aufschreibungen bei hydrogeologischen Vorarbeiten.....	602
6.5	Auswertung der Messergebnisse und hydrogeologisches Gutachten..	605
6.6	Qualitative Anforderungen an das Grundwasser	609

Bohr- und Energietechnik



*Bau-
Ausbildung
ist Zukunft*



BILDUNGS- UND
TAGUNGSZENTREN
DER BAUWIRTSCHAFT



**BAU
ABC**
ROSTRUP

**Akademie
Nord**

Bildungsangebote HDD, Geothermie, Brunnenbau und Spezialtiefbau

Lehrgänge mit Anerkennung zur Zertifizierung nach
DVGW-Arbeitsblatt W 120-1+2 / GW 329 / GW 301 / GW 302

- Ausbildung zum Brunnenbauer oder Spezialtiefbauer
- Vorarbeiter Brunnenbau oder Spezialtiefbau
- Werkpolier Brunnenbau oder Spezialtiefbau
- Brunnenbauermeister
- Fachkräfte nach DIN EN ISO 22475 und Folgelehrgänge
- Qualitätssicherung bei der geotechnischen Erkundung für Bohr- und Fachaufsichten nach DIN EN ISO 22475
- Fachkraft Geothermie und Folgelehrgänge
- Fachlehrgänge Brunnenbau, Spezialtiefbau, Geothermie
- HDD-Fachkräfteschulung nach GW 329 und Weiterbildung
- Maschinenteknik für Bohrgerätebediener
- Geprüfter Fahrer von Drehbohrgeräten und Rammen
- Hydraulikseilbagger - Anbaugeräteschulung mit Freireiter-Fahrerschulung
- GW 129 - Sicherheit bei Arbeiten in Leitungsnähe

BAU-Akademie-Nord
Virchowstraße 5
26160 Bad Zwischenahn
Telefon 0 44 03 - 97 95 - 15

Bau-ABC Rostrup
Virchowstraße 5
26160 Bad Zwischenahn
e-mail: info@bau-abc-rostrup.de

BAU>INDUSTRIE
Niedersachsen-Bremen

www.bauakademie-nord.de

6.6.1	Allgemeine Hinweise.....	609
6.6.2	Entnahme von Wasserproben	614
6.6.3	Indikatoren für chemische und mikrobiologische Gefährdungspotenziale.....	615
6.7	Die Planung von Wassergewinnungsanlagen – Leistungsinhalte und Honorarermittlung	626
6.7.1	Einführung.....	626
6.7.1.1	Allgemeines.....	626
6.7.1.2	Grundlagen der Planungsarbeit.....	627
6.7.1.3	Hauptabschnitte der Planungsarbeit.....	629
6.7.1.4	Kriterien zur erfolgreichen Auswahl des Fachplaners.....	630
6.7.2	Fachliche Vorarbeiten	630
6.7.3	Anwendung der HOAI für das „Objekt“ Wasserfassungsanlage	632
6.7.3.1	Allgemeines.....	632
6.7.3.2	Gliederung der HOAI nach Honorarzonen	632
6.7.3.3	Leistungsbild der Ingenieurarbeiten	634
6.7.3.4	Ingenieurhonorar.....	634
6.7.3.5	Beispiel für Honorarberechnung über Honorartafeln	636
6.7.3.6	Beispielhafte Ermittlung des Honorars für „Besondere Leistungen“	637
6.7.3.7	Grundlagenermittlung	637
6.7.3.8	Vorplanung.....	642
6.7.3.9	Entwurfsplanung.....	644
6.7.3.10	Genehmigungsplanung	647
6.7.3.11	Ausführungsplanung und Vorbereitung der Vergabe	648
6.7.3.12	Mitwirkung bei der Vergabe.....	650
6.7.3.13	Bauoberleitung und örtliche Bauüberwachung	650
6.7.3.14	Objektbetreuung und Dokumentation.....	651
6.8	Beratung durch sachverständige Personen.....	651
6.9	Wasserrechtliche Voraussetzungen.....	652
6.10	Ökologische Restriktionen für die Wasserentnahme aus Bohrbrunnen	658
6.11	Anforderungen an das Wasserschutzgebiet	663
7	Aufstellen der Vergabeunterlagen, Ausschreibung und Auftragsvergabe.....	669
7.1	Einführung.....	669
7.2	Hinweise zur Vergabe und Vertragsordnung (VOB) für Brunnenbauleistungen.....	672
7.3	VOB, Teil A – Allgemeine Bestimmungen für die Vergabe von Bauleistungen, DIN 1960	675
7.3.1	Allgemeine Informationen zur Anwendung der VOB Teil A.....	675
7.3.2	Leistungsbeschreibung und -verzeichnis gemäß VOB Teil A für Brunnenbauleistungen.....	675

7.3.3	Leistungsbeschreibung und -verzeichnis gemäß VOB Teil A für Brunnenbauarbeiten	677
7.4	VOB, Teil B – Allgemeine Vertragsbedingungen für die Ausführung von Bauleistungen, DIN 1961	679
7.5	VOB Teil C „Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen“ (ATV)	682
7.5.1	Einleitung	682
7.5.2	DIN 18299 – Allgemeine Regelungen für Bauarbeiten jeder Art	684
7.5.3	DIN 18300 „Erdarbeiten“	685
7.5.4	DIN 18301 „Bohrarbeiten“	685
7.5.5	DIN 18302 „Arbeiten zum Ausbau von Bohrungen“	688
7.6	Zustandekommen eines Bauvertrages	690
7.6.1	Allgemeine Hinweise	690
7.6.2	Aufstellen des Leistungsverzeichnisses	691
7.6.3	Besondere Vertragsbedingungen (BVB)	694
7.6.4	Zusätzliche Vertragsbedingungen (ZVB)	694
7.6.5	Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen (ZTVB)	694
7.6.6	Angebot	695
7.6.7	Auftragsschreiben und Auftragsbestätigung	695



Wasser ist unser ELEMENT

 Versuchsbohrungen
 Brunnenbau
 Brunnensanierung
 Brunnenrückbau

 Geothermie
 Grundwassermessstellen
 Kern-/Aufschlussbohrungen
 Brunnenregenerierung



WEIKERT

Brunnenbau · Bohrungen
GmbH & Co. KG

Bamberger Straße 20 · 96172 Mühlhausen
Tel. 09548 98296-0 Fax. 09548 98296-222

info@weikert-brunnenbau.de
www.weikert-brunnenbau.de



7.7	Gewährleistungsfragen bei Bohrbrunnen.....	696
7.7.1	Allgemeine Grundsätze und Gewährleistungsdauer.....	696
7.7.2	Abnahme von Bohrbrunnen	696
7.7.3	Garantie für die Erschließung von Wasser?	697
7.7.4	Einzelheiten der Gewährleistung	698
8	Bau und Bauüberwachung	709
8.1	Allgemeines.....	709
8.2	Bohrverfahren für Bohrbrunnen.....	711
8.2.1	Einteilung der Bohrverfahren im Brunnenbau	711
8.2.2	Bohren mit Verrohrung.....	712
8.2.3	Bohren ohne Verrohrung.....	716
8.2.3.1	Spülungsarten zur Bohrlochstabilisierung.....	716
8.2.3.2	Direktspülbohren.....	722
8.2.3.3	Saugbohren und Lufthebebohren (Indirektspülbohrverfahren).....	725
8.2.3.4	Drehbohren mit Kerngewinnung.....	730
8.2.3.5	Imlochhammerbohrung	730
8.3	Niederbringen der Bohrung.....	732
8.4	Einbauskizze und Einbauanweisung	734
8.5	Einbau der Filter- und Vollwandrohre	735
8.6	Einbringen der Filterschüttung	738
8.6.1	Überprüfung des Schüttgutes vor dem Einbau	738
8.6.2	Einbringungstechniken	743
8.7	Entwickeln und Pumpversuch.....	745
8.7.1	Zielstellungen	745
8.7.2	Entwicklungsfähigkeit	746
8.7.3	Entwickeln eines Bohrbrunnens	748
8.7.4	Chancen und Risiken bei der Entwicklung.....	754
8.7.5	Pumpversuch.....	759
8.8	Bauüberwachung.....	764
8.8.1	Zielstellungen einer Baubegleitung im Brunnenbau	764
8.8.2	Örtliche Bauaufsicht	766
8.8.3	Gesteinsprobenentnahme	779
8.8.4	Kontrolle der Sandfreiheit des geförderten Wassers	783
8.8.5	Wasserprobenentnahme	791
8.8.6	Baustellenberichte	791
8.8.7	Brunnenabschlüsse	793
8.8.8	Arbeitshilfen für Kontrollen und Abnahmen	795
8.8.9	Bohrlochgeophysik bei der Abnahme von Brunnen	799
8.8.9.1	Randbedingungen und Verfahren.....	799
8.8.9.2	Baubegleitende Messungen mit besonderen Aufgabenstellungen	805

9	Betrieb und Betriebsüberwachung.....	809
9.1	Allgemeine Betriebsüberwachung.....	809
9.1.1	Grundsätze und Anforderungen	809
9.1.2	Messungen	810
9.1.3	Betriebsprogramm.....	812
9.2	Betriebsüberwachung eigenbewirtschafteter Brunnen	814
9.3	Betriebsüberwachung von Heberbrunnen	818
9.4	Messvorrichtungen an Bohrbrunnen.....	820
9.4.1	Allgemeines.....	820
9.4.2	Wasserspiegelmesser	820
9.4.3	Erfassung von Wassermengen	823
9.4.4	Wasserdruckmesser	828
9.4.5	Wassertemperaturmesser	829
9.4.6	Messung zeitlich veränderlicher Qualitätsdaten	829
9.5	Optische Kontrolle des Brunnenzustandes.....	834
9.6	Wartungsplan.....	836
9.7	Kontrolle des Fassungsereichs	839
9.8	Maßnahmen zur Hygiene bei Arbeiten am Brunnen	848
10	Brunnenbau in Entwicklungsländern	855
10.1	Einleitung	855
10.2	Planung	857
10.2.1	Standortsuche und Reisevorbereitung.....	857
10.2.2	Mobilisierung, Preiskalkulation und Technische Dokumentation.....	858
10.2.3	Baustelleneinrichtung	864
10.2.4	Herausforderungen beim Brunnenbau.....	866
10.2.5	Wasserprobenahme und Transportlogistik.....	867
10.2.6	Projektdokumentation, Übergabe und Capacity building.....	869
10.3	Gesetzliche Rahmenbedingungen	869
10.3.1	Firmengründung	869



BOHRLOCHMESSUNG - STORKOW GmbH

Schützenstraße 33 • D - 15859 Storkow
 Tel./Fax: 033678-436 30 / 436 31
www.blm-storkow.de • info@blm-storkow.de
 Geophysikalische Untersuchungen und TV-Befahrungen
 von Bohrungen, Brunnen und Grundwassermessstellen



10.3.2 Zusammenarbeit mit lokalen Behörden 870

10.3.3 Arbeitserlaubnis, Bohrgenehmigung 870

10.3.4 Haftungsrisiken für lokale Angestellte 870

10.3.5 Zollbestimmungen, Zahlungsverkehr und Importverbote..... 871

10.3.6 Gewässerschutz 872

10.4 Logistische Herausforderungen 872

Abkürzungen875

Literaturverzeichnis879

Bildverzeichnis..... 920

Tabellenverzeichnis 962

Stichwortverzeichnis..... 969

Inserentenverzeichnis 984

1 Historische Entwicklung der Wassergewinnung

1

1.1 Wie entstand eine Wasserversorgung?

Wasser bestimmt und prägt seit vielen Jahrtausenden die kulturelle und wirtschaftliche Entwicklung der Erdbevölkerung. Die Nutzungen von Wasser und Feuer waren die grundlegenden Innovationen, die die Entwicklung einer komplexen Gesellschaft, wie wir sie heute kennen, erst ermöglichten (Eichmann & Klimscha 2012, Klimscha 2012). Die Geschichte der Trinkwasserversorgung und der Aufstieg von Gewerbe und Handwerk sind eng an das Vorkommen, den Zugang und die Nutzung von Wasser als natürliche und stetig erneuerbare Ressource gebunden. Eine gesicherte Wasserversorgung war für die Kulturgeschichte des Menschen von herausragender Bedeutung. Die menschliche Wassernutzung durch Brunnen setzte, genauso wie beim schon sehr früh praktizierten Dammbau in Vorderasien, ein Verständnis der hydrologischen Zusammenhänge und Naturkausalitäten voraus (Eichmann & Klimscha 2012). Ebenso waren bauliche Innovationen erforderlich, um mit den natürlichen Standortverhältnissen besser interagieren zu können und um sich davon unabhängig zu machen (Tabelle 1.1).

Das Entstehen einer zentralen Wasserversorgung war seit der Jungsteinzeit eng verknüpft mit der Veränderung der Lebensweise des frühen Menschen. Aus Jägern und Sammlern wurden sesshafte Ackerbauern und Viehzüchter. Die Bevölkerungszahlen stiegen aufgrund der allmählichen Entkoppelung des Menschen von den natürlichen Standortrandbedingungen signifikant an. Der Mensch formte die Natur nach seinen Ansprüchen, so dass damit der Weg geebnet wurde für seine Ausbreitung in nur kurzzeitig oder zuvor nicht bewohnbare Gegenden und für eine erhöhte Mobilität trotz Sesshaftigkeit (Eichmann & Klimscha 2012). Dieser bedeutende Umbruch in der Geschichte der Menschheit wird als „Neolithische Revolution“ bezeichnet. Vor ca. 10.000 Jahren begannen die Menschen der Jungsteinzeit im Vorderen Orient (in Europa vor ca. 6.000 Jahren) mit den ersten weitreichenden „Umwelteingriffen“, die die Gestalt der Landschaft bis heute spürbar veränderten. Für den sesshaften Menschen wurden Klima- und Standortfaktoren wichtig, die vor Ort eine gesicherte Wasserversorgung unabdingbar machten:

- Anlage dauerhafter Ackerflächen,
- Anlage von siedlungsnahen Weideflächen,
- Schaffung von Siedlungs- und Nutzflächen durch flächige Rodungen,
- Trockenlegung von Sumpfbereichen zur Gewinnung von landwirtschaftlichen Flächen,
- Anlage von wasserintensiven Reisfeldern (in China ca. 10.000 Jahre vor heute erstmals angelegt),
- Anlage von Anbauterrassen in Bergregionen und zur Steuerung der lokalen Wasserverfügbarkeit (Bewässerung, Hochwasserschutz),
- Einführung einer großräumigen Wasserbewirtschaftung (Aufbau umfangreicher Bewässerungssysteme mit der Anlage von Trinkwasserspeichern für Trockenzeiten oder mit der Zuleitung von Wasser über Aquädukte und Leitungen aus benachbarten Einzugsgebieten zu landwirtschaftlichen Flächen und öffentlichen Brunnen in Siedlungen und befestigten Plätzen, Bild 1.1).

Tabelle 1.1: Schematische Entwicklung hydraulischer Systeme in der Urgeschichte.
Nach Eichmann & Klimscha (2012).

	Prinzip	Fortschritte	Konsequenzen
Bindung	Lerneffekt: Zwang zur Bindung des Lebensraums an das Wasser	Siedlung an Flüssen; Nutzung des Nahrungsangebotes an Fließgewässern Fortbewegung auf Fließgewässern	Verbesserung der durch die Naturkausalitäten erzwungenen Fortschritte
Nutzung	Gezielte Wassernutzung und Intensivierung der Nutzung	Herstellung und Nutzung spezialisierter Geräte, Waffen, Boote, Paddel, Wasserlöcher	Verbesserung der erzwungenen Fortschritte; konservative Ernährungsbasis in Regionen mit reichhaltigem Angebot Erhöhung der Mobilität; Verbesserung der Wasserqualität
Umgestaltung	Eingriff in die Natur; Wassernutzung und Bindung des kulturellen und sozialen Fortschritts an das Wasser	Brunnen Dämme Erste Gräben zur Bewässerung oder Regulierung des Wasserstandes	Vordringen der neolithischen Lebensweise und deren Verbesserung; Dauerhafte Besiedlung von Gebieten ohne direkten, oberirdischen Wasserzugang; Mobilitätssteigerung; weitere Verbesserung der Wasserqualität
Kombinierte Nutzung	Großflächige Gestaltung des Naturraums und kombinierte Anwendung von Elementen für wasserwirtschaftliche Systeme	Zisternen Kanäle künstliche Bewässerung	Signifikante Erhöhung der Siedlungsgröße Erschließung arider Gebiete
Beherrschung	Beherrschung von Naturräumen durch Ausnutzung und Vorhaltung von Wasserressourcen für den technischen Fortschritt	Hebewerke schiffbare Kanäle Wassergräben Oasenwirtschaft	Erhebliche Erhöhung und Verlagerung des Wasserdangebotes zur Versorgung von Städten; Wasser wird zum machtpolitischen Faktor



Bild 1.1: Öffentlicher Brunnen an der Stadtmauer von Pisa, der mit Quellwasser aus den Pisaner Bergen gespeist wurde (siehe auch Bild 1.20) (Foto: C. Treskatis)

Der gezielte Anbau von Pflanzen, die Selektion geeigneter Sorten aus wild wachsenden Arten und die damit verbundene Befreiung der Menschen von der Unsicherheit der Jagd und des Sammelns führten zu einer grundlegenden Änderung der Lebensweise, die sonst bei keiner Spezies in der Biosphäre entwickelt war. Der Mensch konnte somit erstmals gezielte Veränderungen in seiner Umwelt herbeiführen und die Eigenschaften des Bodens, von Fauna und Flora, des Wassers und des Klimas für sich nutzbar machen. Damit begann die allmähliche und heute nahezu vollständige Entkoppelung des Menschen und seines Handelns von den naturräumlichen Standortfaktoren. Mit der Sesshaftigkeit gingen auch der Anbau von Feldfrüchten und die Domestizierung von Wildtieren einher. Die natürlichen morphologischen und hydrographischen Gegebenheiten, ebenso wie Landschaftsstrukturen mit den sie prägenden Lebensformen inklusive der Pflanzen und Tierwelt, wurden durch diesen einschneidenden Entwicklungsprozess in der Menschheitsgeschichte bis in die heutige Zeit verändert.

Mit der Sesshaftwerdung wurde der Mensch das erste Mal unmittelbar abhängig von den jahreszeitlichen Einflüssen auf die Wasserverfügbarkeit an seinem Siedlungsstandort. Die Produktion von Nahrungsmitteln und handwerklichen Produkten war zu dieser Zeit einem Zyklus unterworfen, der nicht mehr vom Menschen allein gesteuert werden konnte. Der Wasserbedarf für die Feldbewässerung und die Viehzucht stieg mit der Anzahl der Menschen, die sich von immer mehr selbst erzeugten Nahrungsmitteln ernähren mussten. Mit diesen Entwicklungen wurden gleichzeitig standörtliche Strukturmerkmale wichtig, die die Funktion einer Wasserversorgung vor Ort bedeutend beeinflussten. Dazu gehören bis heute:

- Variation der räumlichen und zeitlichen Verfügbarkeit der Wasserressource (Wechsel von Trocken- und Regenzeiten),
- Variation und Entwicklung des Wasserbedarfs (Veränderungen durch die Bedürfnisse des Menschen und vor allem der Nahrungsmittelproduktion).

Hinzu kommen die inzwischen auch im Grundwasserraum spürbaren Folgen des Klimawandels. Der Mensch musste schnell erkennen, dass die standorttypischen Möglichkeiten und verteilungstechnischen Erfordernisse nicht an allen Stellen des Naturraums gleich gut waren. Das rasante Bevölkerungswachstum reduziert bis heute die vielerorts nicht mehr erneuerbaren Ressourcen (z.B. in Nordafrika, Naher Osten, Kalifornien). Daraus entstehen aktuelle und zukünftige Herausforderungen an die Wasserversorgung, die intensive Planungsprozesse für die Wassergewinnung und Wasserverteilung notwendig machen:

- zunehmende Diskrepanzen zwischen der langfristigen Erneuerbarkeit der lokalen Wasserressourcen und dem örtlichen Wasserbedarf z.B. durch den Klimawandel und die Bevölkerungsentwicklung (Folgen: Wassermangel, Überforderung von Trinkwasserressourcen durch zu hohe Entnahmen in Relation zum nutzbaren Dargebot, Ausbruch von Krankheiten durch mangelnde Hygiene und Verbreitung von oft tödlichen Keimen über kontaminierte und schlecht geschützte Wasserversorgungsanlagen),
- Technische und industrielle Entwicklungen greifen mannigfaltig in die Ressourcen und deren qualitative und quantitative Beschaffenheit ein (Folgen: Überweidung, hoher Wasserbedarf für die Tierzucht und Fleischproduktion, Übernutzung der Wasserressourcen, Kontamination der Trinkwasserressourcen mit Gülle, Düngemitteln, Pflanzenschutzmitteln und anderen organischen Spurenstoffen, deren Wirkung auf die menschliche Gesundheit heute noch nicht abschließend abgeschätzt werden kann).

1.2 Das Fassen von Quellen

Wenn Menschen sich feste Ansiedlungen schufen, suchten sie den Standort dort, wo das Wasser zum Leben zuverlässig verfügbar war. So entstanden die ersten Hochkulturen an Flüssen und Quellen, die ganzjährig Wasser führen, und deren Wasser auch zur landwirtschaftlichen Bewässerung und Viehtränkung (Bild 1.2) genutzt werden konnte. Wasserstellen mit dauerhafter Verfügbarkeit des kostbaren Gutes waren und sind Anlaufpunkte für Jäger, Sammler und, besonders in wasserarmen, ariden Gebieten, für Karawanen und Reisende gewesen (Oppenheim 1899). Erste menschliche Siedlungen bestanden aus festen Behausungen aus Holz und die ersten Ackerbauern waren auch die ersten Zimmerleute (Dreier 2013). Ständig bewohnte Siedlungen waren seit dem Mesolithikum am Ende der Eiszeit vor ca. 8.000 Jahren bis 4.500 Jahren v. Chr. dort entstanden, wo eine stabile Versorgung mit sauberem, „genießbarem“ Wasser, meist aus Quellen, garantiert war.

Jedoch war die sesshafte Lebensweise auch mit Risiken verbunden: Niederschläge können ausbleiben, Überschwemmungen die Ernte vernichten, Oberflächengewässer trocknen aus, Quellen versiegen. Exogene, witterungsbedingte Einflüsse brachten den Menschen dazu, nach einem Ersatz für nicht dauerhaft erreichbares und gewinnbares Wasser zu suchen: die Geschichte der Gewinnung des Grundwassers über dauerhafte Bauwerke wie Quelfassungen und Brunnen begann.

Eine Quelfassung hatte bereits vor mehreren Tausend Jahren vor allem die Aufgabe, das meist diffus im Gelände austretende Grundwasser über einen oder mehrere Sam-



Bild 1.2: Viehtränke in den Allgäuer Hochalpen (gespeist durch eine gefasste Quelle) (Foto: C. Treskatis)

melstränge in ein zentrales Sammelbauwerk zu leiten. Die einfachste Art der Fassung einer absteigenden oder aufsteigenden Quelle ist der Stau des Wasseraustritts an einem Quellsbach (Treskatis & Tauchmann 2013, 2018). Das Quellwasser wurde zunächst mit Steinen und Rasensoden in einem Graben gestaut (Bild 1.3). Zum Fassen und Ableiten des Quellwassers wurden gelochte Rohre in Gräben verlegt, vor deren Öffnungen man zum Schutz vor Einschwemmungen von Kies und Sand ein Sieb oder eine Steinpackung („Schlussstein“) einbaute. Damit das Wasser nicht am Rohranfang oder an der gelochten Rohrstrecke vorbeifließt, wurden auf beiden Seiten des ungelochten Teils des Fassungsstrangs Lehmschläge in den Graben verbaut. Zwischen der Quelle und dem Rohranfang wurde eine Kiespackung eingeschüttet und der Graben mit Lehm gegen Verunreinigungen abgedeckt. Der Rohrgraben der Quelleitung sowie die Baugrube der Quelfassungsbauwerke und Freilegungszone wurden zusätzlich durch sogenannte Lehmwände sektions-

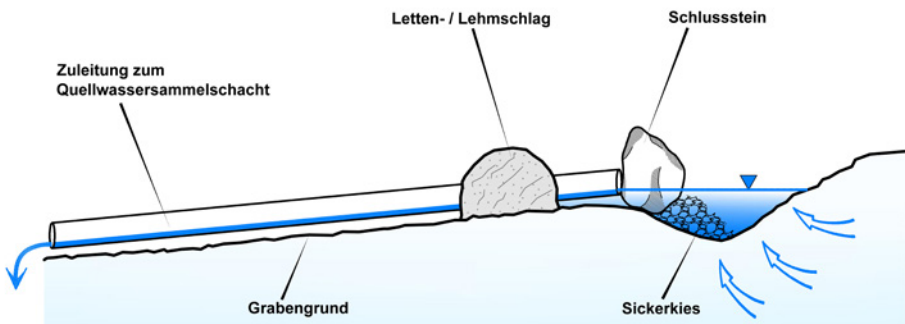


Bild 1.3: Schema einer einfachen Quelfassung an einem Quellsbach, wie sie z.B. im Alpenraum zur Viehtränke oder Versorgung von Almhütten immer noch verwendet wird. Nach AG Bündner Kraftwerke (1993). Aus Treskatis & Tauchmann (2013).

weise abgedichtet, um das Verlaufen der Quelle über die Baugruben zu vermeiden. Dieses einfache Konstruktionsprinzip findet sich auch bei den Sickerleitungen, die am Anfang des 20. Jahrhunderts zur Fassung von Grundwasser in flachgründigen, flussbegleitenden Grundwasserleitern gebaut wurden (Beispiel: Ruhrtal, Neckartal, → 3.4).

Das Quellwasser fließt im Freispiegel, dem natürlichen Gefälle folgend, durch die Quellwasserleitung zu einem tiefer gelegenen Quellsammelschacht und von dort in den Brunnen eines Hofes oder einer Siedlung. Für Viehtränken (→ Bild 1.2) und einfache Wasserversorgungen von Bauernhöfen genügte diese einfache Fassungsart, deren Grundprinzipien sich bis heute kaum geändert haben (→ DVGW W 127, → Treskatis & Tauchmann 2018). Die ersten langlebigen Quelfassungen bestanden nur aus einer Kammer, die später durch Trennwände aus Holz oder Ziegelsteinen mit einem Durchlass unterteilt wurde (Bild 1.4). Dadurch konnten sich die mitgeführten Feststoffe aus dem Quellwasser in einer separaten, leicht zu reinigenden Kammer oder Becken absetzen. Dieses Bauwerk wird seitdem Quell- oder (vor allem in der Schweiz) Brunnenstube genannt. In ihr tritt das Quellwasser erstmals sichtbar zutage. Das Fassen und die Nutzung des wertvollen Quellwassers wurden seitdem auch durch Statuten und Gesetze geregelt. In historischen Gemeindeverordnungen sind Vorschriften für die Nutzung und Unterhaltung von Quellen und die davon gespeisten öffentlichen Brunnen zu finden. Die Quellnutzung war rechtlich an das Grundstück, auf welchem die Quelle entsprang, gebunden. Sie konnte daher auch nur mit dem Grundstück verkauft oder verpachtet werden. Quellen auf Gemeindeboden und Allmenden waren Eigentum der Gemeinden; ebenso war das durch einen Graben oder Stollen gefasste Quellwasser Eigentum der Gemeinde. Da seit dem Mittelalter die Zahl der Einwohner in Europa immer weiter zunahm und größere, dauerhaft bewohnte Siedlungen entstanden, gab es um den Besitz von Quellen vielfältige Interessenskonflikte. So wurde z. B. im Bündner Zivilgesetzbuch aus dem Jahre 1863 ein Artikel aufgenommen (zitiert in AG Bündner Kraftwerke 1993): „Wenn zu Winterzeiten die öffentlichen oder privaten Brunnen an Wassermangel leiden, so hat jeder Nachbar das Recht, den nächsten Brunnen zu nutzen, soweit es ohne erhebliche Benachteiligungen seines Eigentümers geschehen kann, sowohl zur Viehtränke als zu seinen Haushaltsbedürfnissen. Aber kein Grundeigentümer darf durch Graben oder Erstellen von Anlagen auf seinem Boden dem vorhandenen Brunnen eines anderen das nötige Wasser entziehen oder denselben verunreinigen“.



Bild 1.4: Quelfassung mit Ziegelsteinabtrennung des Absetzbeckens der ehemaligen Wasserversorgung von Pisa in den Pisaner Bergen (erbaut im 17. Jahrhundert durch die Medici) (Foto: C. Treskatis)

Die Wasserzuleitung von Quelfassungen zu den „laufenden“ Brunnen eines Hofes oder einer Gemeinde erfolgte über Jahrhunderte durch aus Föhrenholz bestehende oder aus Lärchenholz hergestellte „Tücheln“ oder „Teucheln“, deren Innendurchmesser genau an

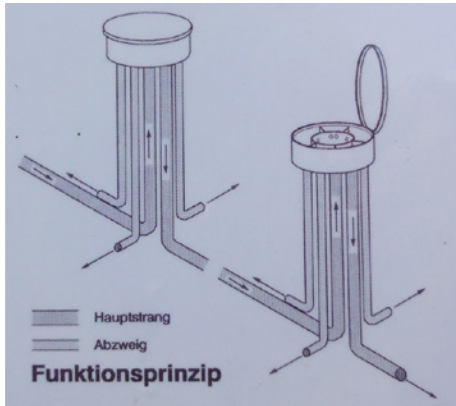


Bild 1.5: Schema einer Teilsäule zur Verteilung von Wasser im Alpenraum. Aus Treskatis & Tauchmann (2013).



Bild 1.6: Teilsäule auf einem Bauernhof nahe Pfonden im Ostallgäu (Foto: C. Treskatis)

die dem einzelnen Hof zustehende Wassermenge angepasst war. Wenn mehrere Teilhaber eine Quelle nutzten, bildeten sie meist eine „Brunnen- oder Wassergenossenschaft“. Diese regelte über ein behälterähnliches Verteilbauwerk oder eine sogenannte „Teilsäule“ (Bilder 1.5 und 1.6) die Wasserzuteilung an die Genossenschaftsmitglieder. Diese Art der Quellwasserverteilung ist noch heute bei Wassergenossenschaften und Kleinversorgungsanlagen im Alpenraum, z.B. im Allgäu oder Südtirol anzutreffen.

1.3 Entwicklung des Brunnenbaus

Im wasserwirtschaftlich begünstigten Mitteleuropa, wo sich die Niederschläge zwischen 500 und mehr als 1.000 mm pro Jahr relativ gleichmäßig über das ganze Jahr verteilen, konnten sich früh Streusiedlungen ausbilden, in denen die Wasserversorgung individuell von Hof zu Hof geregelt werden konnte. In ariden Gebieten (Regionen, in denen die Verdunstung die Höhe der Niederschläge im 30-jährigen Mittel übersteigt) mit weniger als 200 mm/a Niederschlag war dagegen schon sehr früh die kollektive Wasserversorgung eine grundlegende Überlebensvoraussetzung. Diese technischen und gesellschaftlichen Leistungen der Bevölkerung wären nicht entstanden, wenn nicht eine gut organisierte Staatsstruktur die Gemeinschaftsaufgabe der Wasserversorgung abgesichert hätte. Aus heutiger Sicht kann postuliert werden, dass auf Dauer kein Staatswesen ohne eine nachhaltige Wasserbewirtschaftung stabil zu erhalten ist. Sobald sich Defizite bei der Wasserversorgung der Bevölkerung und für die Landwirtschaft abzeichneten, waren sie auf massive Versäumnisse der Politik zurückzuführen (Merkel 2010). Hinweise hierzu liefern uns die frühen Hochkulturen, die durch Missstände in der Politik und die damit einhergehende Vernachlässigung und Zerstörung der Wasserversorgung zugrunde gegangen sind. Esch (2018) beschreibt die Zusammenhänge zwischen Vernachlässigung von antiken Infrastrukturen und den auch daraus resultierenden Zerfall der römischen Wasserversorgung seit der Spätantike

und dem frühen Mittelalter am Beispiel des Raums zwischen Venedig und Syrakus. Oft wurden Hochkulturen durch invasive Nomadenvölker oder gesellschaftliche Umbrüche vollständig von der Landkarte getilgt. Diesen Invasoren standen aber, bedingt durch ihre Lebensweise, weder das technische Wissen zur Erhaltung der Wasserversorgungsanlagen noch die administrativen Fähigkeiten und Instrumente zur politischen Führung und Weiterentwicklung einer arbeitsteiligen Gesellschaft zur Verfügung.

In Gebieten mit natürlichen Quellaustritten war das Fassen des Grundwassers für die ersten Siedler eine sehr einfache Aufgabe. In quellarmen Gebieten entstand aus der Not heraus bei der Suche nach Wasser eine einfache Brunnenbautechnik: die erste einem Brunnen ähnliche Gewinnung von Grundwasser war ein Aufgraben von Grundwasser in ausgetrockneten Flussbetten (Bild 1.7). Je nach Aufbau der oberflächennahen Schichten wurden trichterförmige Gruben oder Kuhlen mit der Hand, Grabstöcken, wie sie im Ackerbau verwendet wurden, oder Rindentrögen, die die Funktion von Eimern hatten, bis zur Wasseroberfläche gegraben (Bilder 1.8 und 1.9). Im nicht standfesten Geröll oder Sand wurden diese Gruben mit Schilf oder Stroh ausgekleidet. Bieske (1965) stufte diese handgegrabenen Wasserlöcher als Vorläufer der heutigen Grundwasserbrunnen ein. Aus diesen entwickelten sich mehr oder weniger dauerhafte, befestigte Brunnenlöcher. Zur Stabilisierung der Aufgrabungen wurden Grassoden (Bild 1.10), behauene Steine (Bild 1.11), Holzverbau oder Flechtwerke verwendet.

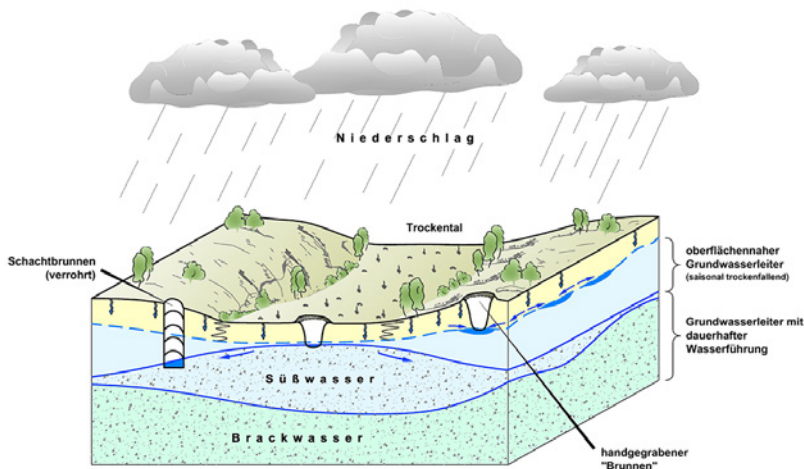


Bild 1.7: Hydrogeologische Situation in einem Flussbett in ariden Gebieten: Aufgrabung der Flusssohle zur Wassergewinnung. Nach Marsh, A. & Seely, M. (1992).

Die ältesten, in Mitteleuropa in Bodendenkmälern überlieferten Brunnenfassungen waren Schachtbrunnen aus Holz oder Stein und können als erste technisch motivierte Fassungen von Grundwasser mittels Brunnen gedeutet werden. Sie zeugen von der Bedeutung einer sicheren Wasserversorgung im Zuge der Sesshaftwerdung des Menschen. Weiner (2012) beschreibt auf der Grundlage einer Auswertung archäologischer Befunde aus Mitteleuropa und dem Mittelmeerraum die Brandkeramischen Brunnen als „Standardinstallationen“ zur langfristigen Sicherung einer Wasserversorgung in der Jungsteinzeit.



Bild 1.8: Handgegrabener Brunnen in standfesten Kalkreten (Krustenkalken) im Norden Namibias
(Foto: C. Treskatis)



Bild 1.9: Blick in einen handgegrabenen Brunnen (Nordnamibia) mit treppenartigem Zugang zur Grundwasseroberfläche (Foto: C. Treskatis)

Im Jahr 1990 wurden im Verlauf von Ausgrabungen eines Siedlungsplatzes der sogenannten Linienbrandkeramischen Kultur auf einer Hauptterrassenfläche bei Erkelenz im Rheinland in rund 6 m Tiefe Holzreste angetroffen, die sich bei weiteren Freilegungsarbeiten als 13 m tiefe, hölzerne Brunnenanlage entpuppte (Weiner 1991, Weiner 2015). Die freigelegte Brunnenanlage besteht aus einem sich trichterförmig zur Geländeoberfläche öffnenden Schacht, welcher der Baugrube der heutigen Schachtbrunnenanlagen (→ 3.2) entspricht (→ Treskatis & Tauchmann 2013, 2018). Innerhalb des Zentrums der Baugrube standen drei ineinander geschachtelte, unterschiedlich alte Brunnenkästen aus Eichenholz mit quadratischem Umriss (Bild 1.12). Der äußere Brunnenkasten hatte eine Seitenlänge von 3 m, der innere Brunnenkasten begann mit einer Kantenlänge von ca. 1,6 m und wurde ca. 9 m unter dem Planum auf einen kleineren Brunnenkasten von 1,1 m Kantenlänge



Bild 1.10: Sodenbrunnen einer untergegangenen Warft aus dem nordfriesischen Deichvorland (Foto: D. Meier, mit freundlicher Genehmigung)



Bild 1.11: Mittelalterlicher Schachtbrunnen in einem Weingut in Franken, mit behauenen Steinen ausgebaut und stabilisiert (Foto: C. Treskatis)



Bild 1.13: Brunnen Altscherbitz in situ: Blockbaukonstruktion des 7.000 Jahre alten Brunnens von Altscherbitz bei Leipzig während der Ausgrabung (Foto: Sächsisches Landesamt für Archäologie, Dresden). Aus Treskatis & Tauchmann (2013).



Bild 1.14: Freilegung des Kopfes eines Geröllbrunnens aus Flusskieseln in Sha'ar Hagolan (Israel). Aus Weiner (2015). Mit freundlicher Genehmigung von Y. Garfinkel, Professor für Prähistorische Archäologie und Archäologie des Biblischen Zeitalters an der Hebräischen Universität, Jerusalem.

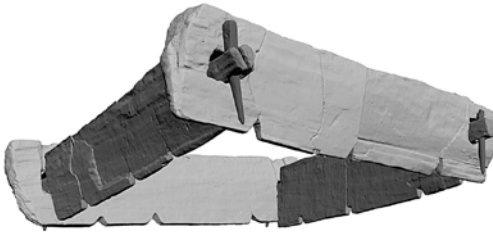


Bild 1.15: Laserscanaufnahme des Basisrahmens mit Eckverbindungen als Zapfenschloss mit Holznagel des 7.000 Jahre alten Brunnens von Altscherbitz bei Leipzig während der Ausgrabung (Foto: Sächsisches Landesamt für Archäologie, Dresden).



Bild 1.16: Freigelegter Körper des Geröllbrunnens in Sha'ar Hagolan (Israel). Aus Weiner (2015). Mit freundlicher Genehmigung von Y. Garfinkel, Professor für Prähistorische Archäologie und Archäologie des Biblischen Zeitalters an der Hebräischen Universität, Jerusalem.

Steinbrunnen:

- Felsbrunnen (ohne Ausbau, Brunnenröhre in den standfesten Fels geschlagen),
- Geröll- und Gesteinsbrunnen (Brunnenausbau aus Natursteinen gesetzt, → Bild 1.11 und Bilder 1.14 und 1.16).

Erdbrunnen:

- Verbaufreier Brunnen im standfesten Lockersediment (Brunnenröhre aus dem Untergrund gegraben, → Bilder 1.8 und 1.9).

Wie in der Jungsteinzeit die Menschen bereits vor mehr als 9.000 Jahren entlang der östlichen Mittelmeerküste die örtlichen Gegebenheiten und Baustoffe nutzten, zeigt der Geröllbrunnen von Sha'ar Hagolan. Am Fuße der Golanhöhen, im Jordantal südlich des Sees Genezareth wurde ein typischer Geröllbrunnen freigelegt (→ Bilder 1.14 und 1.16), der mit pleistozänen Flusskieseln und -geröllen des Jordans ausgebaut und stabilisiert wurde. Die hölzernen Brunnenfassungen aus der Jungsteinzeit, die im Raum Leipzig gefunden wurden, sind die ältesten handwerklich hergestellten Holzbauwerke der Welt (→ Bild 1.13). Nach Keramikfunden in den Brunnenverfüllungen wurden die in Mitteleuropa gefundenen Holzrahmenkonstruktionen (→ Bild 1.15) aus Eichenholz für die Zeit der Linerbrandkeramik (ca. 5.600 bis 4.900 Jahre vor Christus) datiert (Dreier 2013).

Die frühen Brunnenfassungen in Mitteleuropa ähnelten seit dem 2. Jahrhundert nach Chr. einem Schachtbrunnen (→ 3.2), wie er heute noch im ländlichen Raum Europas weit verbreitet ist. Diese etwas aufwendiger konstruierten und mit Hölzern ausgesteiften Schachtbrunnen wurden z.B. in den nordfriesischen Marschgebieten mit oder ohne Zulauf-

gräben (für das Niederschlagswasser) ausgestattet (Coldewey & Meier 2015). Das Beispiel in Bild 1.17 zeigt die Rekonstruktion einer Wasserzisterne mit Schachtbrunnen. Diese frühzeitliche Wassergewinnungsanlage bestand aus einem viereckigen, im Durchmesser 2 m großen und 3,8 m tiefen Brunnenkasten, der mit senkrecht in den wasserführenden Untergrund vorgetriebenen Rundhölzern gesichert war. Der Brunnenkasten wurde mit einem im rechten Bildteil dargestellten Graben, der mit Hölzern ausgelegt war, verbunden. Dadurch sollte vermutlich ein kontrolliertes Überlaufen des Brunnens oder eine Zuleitung von (Niederschlags-) Wasser ermöglicht werden.

Als Sodbrunnen werden flache, gegrabene Brunnen bezeichnet, wobei sich der Begriff „Sod“ aus dem Friesischen „Sad“ für Graben oder Grube bzw. dem norddeutschen Begriff „Soden“ für ausgestochene Rasenstücke ableitet. Diese einfachen Brunnenbauten wurden vor allem bei Lockergesteinsgrundwasserleitern im norddeutschen Tiefland und in den glazialen Tälern des Alpenvorlandes zur lokalen Wasserversorgung genutzt (Treskatis & Tauchmann 2013, 2018). Coldewey & Meier (2015) beschreiben diese seit dem frühen Mittelalter belegte Brunnenbauform für die nordfriesischen Marschgebiete. Dort wurden Sodbrunnen mit keilförmig versetzten, senkrechten oder waagerechten Kleisoden mit oder ohne Holzaussteifungen durch dazwischen liegende Rundhölzer in größeren Baugruben errichtet, die bis zum Grundwasser reichten. Der Raum zwischen der Baugrube und dem Brunnen wurde mit Klei verfüllt.

Die Entwicklung des Brunnenbaus vom saisonal aufgegrabenen Wasserloch („*hand dug well*“) bis zum dauerhaft befestigten Schachtbrunnen ist heute in Afrika noch gut zu studieren (Treskatis & Tauchmann 2013, 2018). Bild 1.18 zeigt den Typus rezenter Schachtbrunnen ohne Verbau in standfesten, klüftigen Kalkrethen (Kalkkrusten oder Konglomerate, die aus Sand und Kies mit karbonatischem Bindemittel bestehen) des Ovambolandes in Nordnamibia, der heute



Bild 1.17: Rekonstruktion einer Wasserzisterne mit hölzernem Schachtbrunnen aus der Zeit zwischen 150 bis 300 n. Chr. auf der Dorfwurf Haferwisch in Norderdithmarschen. Aus Coldewey & Meier 2015 (mit freundlicher Genehmigung).

noch zur lokalen Trinkwasserversorgung genutzt wird. Die Schachtbaugrube wird dazu mittels Hacke und Schaufel händisch ausgehoben und kann bis zu 20 m tief sein (Marsh & Seely 1992). Eine Publikation des BURGEAP (1992) gibt hierzu eine sehr gut aufbereitete Übersicht zu der Entwicklung der konstruktiven Eigenschaften von Schachtbrunnen im nördlichen Afrika.

Bis in das 18. Jahrhundert hinein waren Schachtbrunnen (→ 3.2) die typische Bauform für eine Wasserfassungsanlage zur Trinkwasserversorgung, aus denen das Wasser geschöpft oder mittels hölzerner Pumpen gehoben wurde.

Gegen Ende des 18. Jahrhunderts traten erste bergmännisch hergestellte Bohrbrunnen in der Wassergewinnung auf den Plan. Mit Hilfe von Gestängebohrern wurden z.B. in Frankreich artesische Grundwasservorkommen erschlossen. Mit der Erfindung von Bohrwerkzeugen, wie Rutscher und Freifallstück (Bieske 1965) sowie mit der Einführung des Wasserspülens im Jahr 1845 und des Diamantbohrers 1864 konnten auf rumänischen Erdölfeldern bereits beachtliche Tiefen erreicht werden.

Die Entwicklung der Tiefbohrtechnik war aber zunächst eng mit der Erschließung von Erdöl- und Erdgaslagerstätten verbunden. Vor dem ersten Weltkrieg wurde in Amerika das „Rotarybohren“ (→ 8.2.3) entdeckt. Dieses Drehbohrverfahren verwendet sogenannte Rollenmeißel und eine dichtekontrollierte Spülung, um das Bohrloch zu stabilisieren und das Bohrgut zu Tage zu fördern, so dass mit hoher Antriebskraft bis in dahin unerreichte Tiefen von mehr als 1.000 m vorgedrungen werden konnte. Aus dem „Rotarybohren“ entwickelte sich das Lufthebebohren oder Saugbohren, mit dem größere Bohrdurchmesser realisiert wurden (siehe Kapitel 8.2.3.3). Dadurch war eine Stabilisierung und Ausbau der Bohrungen mit Bohr- und Brunnenrohren (→ 5.4) möglich geworden (Bieske et al. 1998).



Bild 1.18: Schachtbrunnen in verfestigten Kalkablagerungen in Nordnamibia. Aus Treskatis & Tauchmann (2013).

Ende der 1870er Jahre begann in der Trinkwasserversorgung der Siegeszug des pumpenbestückten Rohr- oder Bohrbrunnens, der aufgrund des zunehmenden Wasserbedarfs in den Städten und mit der Industrialisierung den fassungstechnisch nur begrenzt steigerungsfähigen Schachtbrunnen oder wenig ergiebige, lokal genutzte Quelfassungen verdrängte (Bieske 1929, 1938, 1965). Es gelang mit Hilfe der Tiefbohrtechnik Grundwasser in fast jeder erdenklichen Tiefe und Position im Untergrund wirtschaftlich zu erschließen und die Bohrung über Entwicklungstechniken (→ 8.7.3) hydraulisch an den Grundwasserleiter anzuschließen. So konnten auch große Volumenströme ohne Grundbruchgefahr gefördert werden. Das Aufkommen von Kolbenpumpen und Unterwasserpumpen ermöglichte die Erzeugung dieser größeren Volumenströme und der erforderlichen Drücke. Die ersten stabilen, nahtlosen Brunnenrohre aus Stahl wurden bei Mannesmann 1885 entwickelt, die die korrosionsanfälligen und dünnwandigen, genieteten Blechrohre ersetzen (Bieske 1929 und 1938). Als Filter wurden Gewebefilter (→ 5.5.2) verwendet, die jedoch bei inkrustationsanfälligen, d. h. eisen- und manganabscheidenden Grundwässern im Kontaktbereich zur Bohrlochwand rasch kolmatierten (verstopften). So begann man in Norddeutschland, wo die Brunnenverockerung auch heute noch ein wesentliches, leistungseinschränkendes Phänomen ist (Houben & Treskatis 2012, 2020), Filterkiespackungen zwischen die Filterrohre und die Bohrlochwand zu schütten. So entstand der heute noch verwendete Kiesschüttungsbrunnen (→ 5.2). Seit mehr als 70 Jahren wird diese Art von Brunnen in Deutschland für die Wassergewinnung gebaut. Der sogenannte „Kiesfilterbrunnen“ besteht aus einem Filterrohr, das in die Bohrung konzentrisch eingebaut wird, und einer Schüttung aus natürlichem Filterkies oder Glaskugeln (→ 5.6), die um das Filterrohr allseitig eingebracht wird. Darüber hinaus wird die Ober- und Unterkante des Filterrohres mit einer Über- bzw. Unterschüttung ausgestattet, um eventuelle Setzungen der Ringraummedien im Rahmen des Brunnenbetriebes auszugleichen. Ziele dieser Konstruktion sind einerseits die energetisch nachhaltige und widerstandsarme Gewinnung von sandfreiem Grundwasser bei möglichst geringer Absenkung der Grundwasseroberfläche sowie andererseits die Sicherstellung einer nachhaltigen Brunnenregenerierung.

Die Entwicklungen bis heute zum sogenannten „modernen Brunnen“ waren durch zahlreiche Innovationen gekennzeichnet. Dazu zählen z.B.:

- Erfindung des sternförmigen Horizontalfilterbrunnens in den 1950er Jahren (→ 3.5); diese Bauform ermöglichte meist die Gewinnung größerer Wasservolumenströme an einem Standort und ersetzte in vielen Fällen lange Brunnengalerien.
- Verwendung von weichmacherfreien PVC-Rohren (→ 5.5.6.5) und kunststoffbeschichteten Stahlrohren (→ 5.5.6.3) als Ausbaumaterial bei korrosionsanfälligen Wässern seit den 1970er Jahren; sie lösten die Holz-, Keramik oder Steinzeugfilterrohre sowie die dickwandigen Stahlgussrohre ab (→ 5.5.5).
- Die Filterrohrtechnik wurde in den 1980er Jahren mit der Einführung der Wickeldrahtfilter (→ 5.5.6.4) revolutioniert. Es standen nun Filterrohre zur Verfügung, die an jedes beliebige Kornspektrum des Untergrundes, also auch an sehr feinkörnige Grundwasserleiterschichten, flexibel angepasst werden konnten. Dadurch reduzierten sich der Bohrdurchmesser und die Schichtstärke der Schüttung, was wiederum die Mehrkosten der „modernen“ Filterrohre im wirtschaftlichen Sinne aufwog. Diese Bauform löste die gelochten oder geschlitzten Stahlrohre weitestgehend ab, die aufgrund ihrer großen Wandstärke und

groben Schlitzweiten in feinkörnigen Grundwasserleitern nur eingeschränkt bzw. mit Mehrfachkiesschüttungen (siehe Kapitel 5.6.) eingebaut werden konnten.

- Verwendung von plastischen Zementierungen zur Abdichtung von Brunnen gegenüber unerwünschten Zuflüssen in den 1990er Jahren; diese Abdichtungen ergänzen und ersetzen zusammen mit dem Sperrrohr (→ 5.7.2) vor allem oberhalb des Grundwasser- raums die geschütteten Tonabdichtungen, da sie im grundwasserfreien Gebirge nicht dichtungswirksam sind (→ 5.7.3.1).
- Erforschung und Anwendung von impulsgesteuerten Entwicklungs- und Regenerier- techniken (der Vorläufer dieser Verfahrenstechniken ist in den 1960er Jahren unter dem Begriff des „Sprengschockens“ in die Literatur eingegangen, Houben & Treskatis 2012, 2020); dadurch können Feinkornablagerungen und Unterkorn aus dem Grundwasserleiter und Ablagerungen an der Bohrlochwand („Skin“, → 8.2.3.1) mobilisiert und verlorene Brunnenleistungen in vielen Fällen wieder hergestellt bzw. verbessert werden.
- Erprobung des Einbaus von Glaskugeln statt natürlichem Filterkiesmaterial in Brunnen mit hoher Inkrustationsanfälligkeit und zur Verbesserung der Brunnenleistung (seit 2007) (Treskatis et al. 2014).

Alle Entwicklungen im Brunnenbau waren mit einem steigenden qualitativen und quan- titativen Nutzungs- und Schutzanspruch an die Ressource Grundwasser verbunden. Die spezifischen hydraulischen Brunnenleistungen wurden durch Verbesserungen in der Bohrtechnik und neue Ausbaumaterialien gesteigert; die Leistungsfähigkeit der Brunnen- pumpen und die Funktionssicherheit der Ausbaumaterialien stiegen an (Bieske et al. 1998); die hygienischen Ansprüche an die Wasserbeschaffenheit durch die Novellierungen der Trinkwasserverordnung erforderten neben einem „dichten“ und jederzeit kontrollierbaren Bauwerk einen technisch gesicherten und kontrollierbaren Brunnenbetrieb. Hinzu kommen die gestiegenen wirtschaftlichen und technischen Anforderungen an die Standzeit und Langlebigkeit von Brunnenbauten. Nicht zu vergessen sind die gestiegenen Anforderungen an die Qualifizierung der Brunnenbauer und deren Ausbildung (→ 6.8).

1.4 Brunnen als Grundstein einer modernen Wasserversorgung

Als vor rund 2.000 Jahren im deutschsprachigen Gebiet römische Garnisonsstädte und Grenzstützpunkte gebaut wurden, brachten die Römer ihre Konzepte zu Planung und Bau gemeinschaftlicher Wasserversorgungs- und Abwasserentsorgungsanlagen mit (Merkel 2010). Dazu gehörten auch die Fassung von Quellen und der Bau von Brunnen. Für die Römer war eine luxuriöse Versorgung mit ständig fließendem Wasser (z.B. mittels Aquä- dukten) ein Stück Lebensqualität. Diese Philosophie wird in der Schrift von Vitruv, einem römischen „Wasserbaumeister“, sehr plastisch zum Ausdruck gebracht (Auszug übernom- men aus der Festschrift der Landeswasserversorgung, Stuttgart 2012: 24):

„Man probiert und bewährt das Wasser in folgender Weise: Ist es ein am Tage fließendes Wasser, so beobachte man mit viel Aufmerksamkeit, bevor man es

zu leiten anfängt, die körperliche Beschaffenheit der in der Nähe wohnenden Menschen. Sind diese stark, von frischer Gesichtsfarbe und leiden sie weder an Fußkrankheiten noch an tiefenden Augen, so ist das Wasser bewährt. Ist aber die Quelle erst neu aufgedigelt, so bespritze man ein Gefäß von korinthischen oder anderen guten Erzen mit dem Wasser, und macht es keine Flecken darauf, so ist es gut. Auch koche man es in einem Kessel ab und lasse es sich darauf setzen und endlich ablaufen. Findet sich alsdann weder Sand noch Schlamm auf dem Boden, so ist es gleichfalls gut. Ferner ist es ein Zeichen von gutem, gesundem Wasser, wenn es darin auf Feuer gesetztes Gemüse geschwind kocht. Nicht minder weist sich ein Wasser dann als rein und äußerst gesund, wenn es in seiner Quelle klar und durchsichtig aussieht und nirgends, wo es fließt, weder Moos noch Binsen hervorbringt und sonst Unrat zurücklässt.“

Nach dem Niedergang des römischen Reiches verfielen fast alle römischen Städte und mit ihnen die aufwendigen Wasserbauten (Esch 2018). Ihre Unterhaltung hat die zumeist kleinen Siedlergemeinschaften organisatorisch und technisch überfordert. Hinzu kam ein gravierender Verlust an Wissen und Sachverstand für den Betrieb komplexer Infrastrukturen, der durch Umweltveränderungen sowie die daraus entstandenen sozialen und religiösen Umbrüche seit der Spätantike ausgelöst wurde (Harper 2020). Selbst der Stadt Köln gelang es nicht, die über 95 km Trassenlänge geführte Eifelwasserleitung über das 3. Jahrhundert n. Chr. hinaus in Betrieb zu halten (Merkel 2010).



Bild 1.19: Trinkwasserbrunnen des Zisterzienserklosters Mirteto (12. Jahrhundert) in den Pisaner Bergen (Foto: C. Treskatis)

Das 4. und 5. Jahrhundert nach Christus war geprägt von der Zerstörung einer umfassenden Anzahl von Kunstwerken durch die frühen Christen (Nixey 2019). Die Relikte der größten Bibliotheken der Antike wurden in dieser Zeit ebenfalls umfassend vernichtet, so dass auch das technisch-naturwissenschaftliche Wissen fast völlig ausgelöscht wurde. Es sollte mehr als 1.000 Jahre dauern, bis es wieder Bibliotheken mit auch nur annähernd der Anzahl von Büchern gab wie zuvor (Nixey 2019). Hinzu kam eine Zerstörung von Fertigkeiten und Wissen durch Vernachlässigung und Ignoranz. Es waren eigentlich nur die Klöster, die übrig gebliebene Teile des technischen Wissens der Antike bewahrten, kopierten und über Abschriften weitergaben. Daher tranken die Menschen im Mittelalter mehr Bier und Wein, weil Wasser als verunreinigt galt und Krankheiten übertrug. In dieser Zeit zeichneten sich die Zisterzienserklöster durch eine gut geplante Wasserwirtschaft aus. Die Frischwasserzuleitung für Trinkwasser, z. B. aus Quellen oder Brunnen (Bild 1.19), und für die damals zur Nahrungsmittelproduktion wichtigen Fischteiche war von der Abwasserableitung aus den Gebäuden klar getrennt. Das Hospital wurde vor allem aus hygienischen Gründen außerhalb des inneren Klosterbezirks angelegt und separat versorgt.

Viele ältere Städte in Mitteleuropa entstanden an strategischen Plätzen, die meist an Flüssen (z.B. Rhein, Rhône, Seine) oder Seen (z.B. Konstanz, Eutin) gefunden wurden. Die Beschaffung des notwendigen Trinkwassers aus Zisternen, Schachtbrunnen oder aus einem oberirdischen Gewässer war an diesen Standorten in der Regel kein größeres technisches Problem. Zuleitungen von Wasser aus stadtnahen oder benachbarten höher gelegenen Brunnen und Quellen ergänzten vielerorts in Trockenzeiten oder aufgrund stei-



Bild 1.20: Bögen des „acquedotto Mediceo“ in Pisa (17. Jahrhundert), über das aus den Pisaner Bergen Quellwasser in die damals am Meer gelegene und von einer starken Zunahme der Bevölkerung geprägte Stadt geleitet wurde (Foto: C. Treskatis)



Bild 1.21: Sammlung von Niederschlagswasser in unterirdischen Zisternen in Venedig. Die Einläufe für das Regenwasser sind anhand der gelochten Steine erkennbar. Das Wasser für den täglichen Bedarf wurde aus den Brunnen über den Zisternen geschöpft. (Foto: C. Treskatis)

gender Wasserbedarfsmengen die jeweiligen Wassergewinnungsanlagen in den Städten (Bild 1.20). Zusätzlich zu den innerstädtischen Brunnen wurden in vielen Städten Zisternen zur unterirdischen Sammlung von Niederschlagswasser angelegt, um in Krisenzeiten, bei qualitativen Nutzungseinschränkungen oder bei rückläufigem Dargebot eine autarke Wasserversorgung gewährleisten zu können (Bild 1.21).

Die Wasserversorgung wurde nach der Antike erst wieder im 16. Jahrhundert durch ausgedehnte innerstädtische Rohrleitungsnetze aus Holz, die von gefassten Quellen bis in die Mitte der Städte im freien Gefälle verlegt wurden, sichergestellt. Anlagen mit künstlicher Hebung des Wassers über Wasserräder sind in einigen Städten Deutschlands ab etwa dem Jahr 1.200 nachgewiesen. Unabhängig davon begannen Adelige in der Zeit der Renaissance und insbesondere des Barock in Italien, Frankreich und Deutschland ausgedehnte Gartenanlagen mit Wasserspielen um ihre Schlösser anzulegen. Rohrleitungen aus Holz, Stein, Ton oder Blei sorgten für die Zuführung des Wassers und seine Verteilung. Auf diesem technischen Stand blieb die Wasserversorgung in vielen Regionen Mitteleuropas bis ins 19. Jahrhundert. Allerdings nahmen die Probleme z. B. hinsichtlich der Brandbekämpfung, der Versorgung von Gewerbebetrieben (z. B. Brauereien und Gerber- und Färbereien) und aufgrund von wachsenden hygienischen Verunreinigungen infolge der dichteren Besiedelung des urbanen Raums und des damit einhergehenden Bevölkerungswachstums zu. Städte und Gemeinden auf hydrogeologisch ungünstigem Untergrund waren auf Zisternenwasser angewiesen und konnten sich kaum weiterentwickeln.

Mit der Industrialisierung im 19. Jahrhundert ging eine ausgesprochen starke Zunahme der Bevölkerung einher. Jeder klagte über den Mangel an Wasser. Dazu kam – vor allem nach 1865 – das vermehrte Wissen über Gesundheitsgefahren, die von der Verwendung kontaminierten Trinkwassers ausgehen. Zahlreiche Cholera- und Typhusepidemien waren die Folge: z. B. Cholera 1866 in Erfurt, 1872 in München, 1876/77 in Elberfeld und Barmen, 1892 in Hamburg; Typhus 1865 in Basel (Merkel 2010).

Zunächst sahen allerdings die Städte die Errichtung einer qualitativ und quantitativ ausreichenden Wasserversorgung für das Stadtgebiet selten als eine kommunale Verpflichtung an. Als Anlass für die Errichtung „moderner Wasserversorgungssysteme“ gilt der „Große Brand von Hamburg“ 1842 (Merkel 2010). Die Finanzierung solcher Anlagen stellte sich auch deshalb als schwierig dar, weil die Städte ohnehin durch das rasche Bevölkerungswachstum zu erheblichen Investitionen in ihre gesamte Infrastruktur gezwungen waren. Die Städte nahmen die damals gegründeten Gesellschaften, die für die Planung und Finanzierung der Wasserversorgung einsprangen, in die eigene Hand, gliederten sie aber nicht in die städtische Verwaltung ein, sondern führten sie mit anderen kommunalen Dienstleistungen in sogenannten „Stadtwerken“ zusammen (Merkel 2010).

In der Anfangszeit der modernen Wasserversorgung stand die Beurteilung der hygienischen Beschaffenheit des Trinkwassers im Vordergrund, während eine chemische Beurteilung der Wasserbeschaffenheit (Wassergüte) erst wesentlich später durch die Entwicklung der modernen Analysen und Indikatornachweise (z.B. bei der Mikrobiologie) möglich wurde. Seit der Begründung der modernen Hygiene durch Pettenkofer (1818 bis 1901) und der Entdeckung des Typhus-Bazillus 1880 und des Cholera-Vibrio 1884 wuchsen die Erkenntnisse und Methoden mikrobiologischer Untersuchungen schnell (Merkel 2010). Die Cholera-Epidemie in Hamburg 1892 konnte auf die Nutzung unfiltrierten Elbwassers zurückgeführt werden; Altona, wo das Elbwasser über Sand gefiltert wurde, blieb von der Epidemie verschont. Als Folge formulierte das Kaiserliche Gesundheitsamt „Erfahrungssätze, nach welchen der Betrieb von Wasserwerken mit Sandfiltration zu führen ist, um in Cholerazeiten Infektionsgefahren tunlichst auszuschließen“ (Merkel 2010). Daraus entwickelte sich die „Anleitung für die Errichtung, den Bau und die Überwachung öffentlicher Versorgungsanlagen, welche nicht ausschließlich technischen Zwecken dienen“, die der Kaiserliche Bundesrat 1906 den Ländern zur Einführung empfahl. Die Typhusepidemie im Ruhrgebiet war der Auslöser zu der 1902 erfolgten Gründung des Hygiene-Instituts des Ruhrgebiets in Gelsenkirchen (Merkel 2010).

Bis in das späte 19. Jahrhundert bereitete die Suche nach ausreichenden und qualitativ geeigneten Grund- und Oberflächenwasservorkommen große Schwierigkeiten. Die grundlegenden Zusammenhänge zwischen Grundwasserneubildung, Grundwasserleiter und Grundwasserbewegung im Untergrund konnten erst bis Mitte des 20. Jahrhunderts zufriedenstellend geklärt werden. Die Beschreibung der Grundwasserbewegung (Darcy 1856) und des Fließens von Grundwasser unter gespannten Verhältnissen (Chamberlin 1885) waren erste Ansätze für eine Beschreibung der wasserführenden geologischen Formationen und der Verteilung der Standrohrspiegelhöhen um einen Förderbrunnen (Peiffer & Treskatis 2002). Den entscheidenden Entwicklungsschub in Richtung einer quantifizie-



Bild 1.22: Anreicherungsbecken im Wasserwerk Neckartailfingen, über das vorfiltriertes Neckarwasser dem Untergrund zugeführt wird (Foto: C. Treskatis)



Bild 1.23: Bohrbrunnen als Teil der Entnahmegalerie für das in großflächigen Anreicherungsbecken (im Bildhintergrund) dem Untergrund zugeführte Ruhrwasser im Wasserwerk Hengstey (Hagen) (Foto: C. Treskatis)

renden Beschreibung von hydrogeologischen Prozessen und physikalischen Grundwasserleiterseigenschaften im Umfeld einer Wasserfassungsanlage leisteten die Arbeiten von Theis (1935) und Jacob (1940). Theis erkannte mit Unterstützung von Mathematikern die Analogie zwischen der Wärmeströmung und der Grundwasserbewegung, so dass eine mathematische Lösung für die Beschreibung der Grundwasserstandsveränderungen im Absenkungstrichter eines Brunnens gefunden werden konnte. Jacob entwickelte daraus eine eigenständige Lösung der Differentialgleichung, mit der neben den Fluideigenschaften auch die elastischen Eigenschaften des Grundwasserleiters Berücksichtigung fanden. Damit waren Aussagen zur räumlich-zeitlichen Entwicklung der Grundwasserbewegung zu einem Brunnen mit Hilfe eines Naturgesetzes möglich (Domenico & Schwartz 1990). Die Bemessung von Brunnen wurde seitdem durch analytische Gleichungen z.B. nach Dupuit & Thiem, Sichardt, Forchheimer und Pavel für die Praxis vereinfacht (Brunnenbemessung, → 5.3 und 6.2).



Bild 1.24: Blick in einen Schachtbrunnen (links im Bild befinden sich die beiden Entnahmeleitungen bzw. Saugschkel; oben im Bild ist das Übereich zu sehen) (Foto: C. Treskatis)

Es ist das Verdienst von Adolf Thiem (1836 bis 1908), für die Grundwassererschließung in Deutschland eine wissenschaftlich fundierte Grundlage gefunden zu haben (Merkel 2010). Für die Wasserversorgung der Stadt Essen nutzte er erstmals die sogenannte „künstliche“ Grundwasseranreicherung (→ 4.4). Dazu wurde nicht nur in Essen, sondern auch an vielen anderen Stellen im Ruhrtal, Flusswasser an Stauwehren entnommen, in Sandfilterbecken vorfiltriert und über Anreicherungsbecken dem Grundwasserleiter im Ruhrtal großflächig zugeführt. Gehoben wird auch heute noch das im Untergrund filtrierte Wasser über großkalibrige Schachtbrunnen oder Bohrbrunnen, die mit gelochten Sickerleitungen verbunden sein können (Bilder 1.22 bis 1.24).

Die Auseinandersetzung zwischen den Fachleuten, ob Oberflächenwasser oder Grundwasser letztlich besser zur Trinkwasserversorgung geeignet sei, zog sich bis in die zweite Hälfte des 20. Jahrhunderts hin. Die in der DIN 2000 (Ausgabe 1973) dargelegte Anforderung an die Trinkwasserproduktion hat sich bewährt und war in die Fassung vom Oktober 2000 praktisch unverändert übernommen worden:

„5 Anforderungen an Trinkwasser

5.1 Grundanforderungen

- *Die Anforderungen an die Trinkwassergüte müssen sich an den Eigenschaften eines aus genügender Tiefe und nach Passage durch ausreichend filtrierende Schichten gewonnenen Grundwassers einwandfreier Beschaf-*

fenheit orientieren, das dem natürlichen Wasserkreislauf entnommen und in keiner Weise beeinträchtigt wurde.

- *Trinkwasser sollte appetitlich sein und zum Genuss anregen. Es muss farblos, klar, kühl sowie geruchlich und geschmacklich einwandfrei sein.*
- *Trinkwasser muss keimarm sein.*
- *Es muss mindestens den gesetzlichen Anforderungen genügen.“*

Aktuell ist die Ausgabe der DIN 2000 vom Februar 2017 gültig (DIN 2000, 2017). Gegenüber der Fassung vom Oktober 2000 wurden eine Anpassung an den aktuellen Stand der Gesetzgebung und des Technischen Regelwerkes sowie eine Reduzierung der Norm auf wesentliche Handlungsgrundsätze vorgenommen, da technische Einzelheiten in anderen Normen und technischen Regeln festgelegt sind.

663 Millionen Menschen haben keinen Zugang zu verbesserten Trinkwasserquellen und 2,5 Milliarden Menschen keine angemessene Sanitärversorgung. An den daraus resultierenden Krankheiten sterben mehr Kinder als an Malaria, Masern und AIDS zusammen. Damit gehört dieses Thema zu den zentralen Herausforderungen unserer Zeit. Das Recht auf Zugang zu sauberem Wasser ist am 28. Juli 2010 von der Vollversammlung der Vereinten Nationen als Menschenrecht anerkannt worden. Die Menschenrechte auf sauberes Trinkwasser und Sanitärversorgung sind zwar universell anerkannt, es mangelt jedoch an ihrer Umsetzung. Die Rechte sehen vor, dass jeder Mensch Zugang zu gesundem, annehmbarem, physisch erreichbar und bezahlbarem Wasser haben muss – und zwar in ausreichender Menge für sich selbst und den Haushalt (www.auswaertiges-amt.de, <https://spherestandards.org>).

Wasserversorgung gehört im Sinne des Wasserhaushaltsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland zur Daseinsvorsorge der Menschen. Die Kommunen haben hier die Aufgabe, den Menschen ausreichendes und qualitativ einwandfreies Trinkwasser zur Verfügung zu stellen. Die wichtigste Trinkwasserressource ist das Grundwasser. Einwandfreies Grundwasser ist somit der Maßstab für die Trinkwassergüte, unabhängig davon, aus welcher geologischen Ressource das Rohwasser gewonnen wurde. Damit erlangen Brunnen als technisch sichere Fassungsorgane für Grundwasser und der dafür erforderliche Schutz der unterirdischen Wasserressourcen eine große Bedeutung für die nachhaltige Sicherstellung der flächendeckenden Trinkwasserversorgung in Deutschland.

2 Einige Kennzahlen zur Wasserversorgung in Deutschland

2

2.1 Hydrologische und wasserwirtschaftliche Voraussetzungen für die Brunnenplanung

Deutschland ist im Zentrum Europas gelegen. Seine nationalen Grenzen umfassen nach dem Deutschlandatlas des Bundesinnenministeriums eine Fläche von ca. 357.600 km²; die Bevölkerungszahl beläuft sich mit Stand 31.12.2019 auf inzwischen ca. 83,1 Millionen (StBA 2020), d.h. im Mittel ca. 232,1 Einwohner/km² (zwischen 69 Einwohner/km² in Mecklenburg-Vorpommern und 4.090 Einwohner/km² in Berlin), wobei sich 80 % der Bevölkerung auf lediglich ein Drittel der Gesamtfläche konzentrieren (→ GENESIS-Online: Bevölkerung: Bundesländer (Stand: 04/2020); Statistische Ämter des Bundes und der Länder: www.statistikportal.de). Als kennzeichnende großräumige Landschaften, die sich auch in hydrogeologischer Sicht voneinander unterscheiden, sind zu nennen:

- norddeutsche Tiefebene zwischen dem Nordrand der Mittelgebirge und der Nord- bzw. Ostsee,
- Mittelgebirge (Rheinisches Schiefergebirge, Schwarzwald, Odenwald und Spessart, Hessisches Bergland, Schwäbische und Fränkische Alb, Fränkisches Keuperland, Bayerischer und Oberpfälzer Wald, Thüringer Wald, Elbsandsteingebirge, Erzgebirge, Harz),
- Niederrheinische Bucht und Rheintalgraben zwischen Basel und Mainz,
- Alpenvorland südlich der Donau,
- Alpen (Hochgebirge).

Die Bodennutzung in Deutschland umfasst folgende kulturgeographische Einheiten (Flächennutzung nach Nutzungsarten laut Umweltbundesamt, Stand 12/2019, Statistisches Bundesamt Fachserie 3, Reihe 5.1; → www.umweltbundesamt.de):

- Landwirtschaft 50,7%,
- Moor- und Heidelandschaften 0,4%,
- Wald 29,8% (mit Gehölzen 31%),
- Siedlungen und Verkehrsflächen 14,0%,
- Gewässer 2,3%,
- sonstige Flächen 2,8% (z. B. militärische Übungsflächen, historische Anlagen, Abbaue von Kies und Sand oder Braunkohletagebaue, Felsenareale oder Abraummhalden).

Seit 2004 sind die landwirtschaftlichen Flächen geschrumpft und die Siedlungsflächen vergrößert worden. Gleichzeitig nahmen die Gewässerflächen in Deutschland in diesem Zeitraum um ca. 491 km² zu. Grund dieser Zunahme ist die Erweiterung von Kiesgruben und Braunkohletagebauen mit anschließender Flutung (z. B. in der Lausitz oder im Raum Leipzig). Natürliche Seen (mit mehr als 20 km² Fläche) umfassen 1.180 km²; künstliche Stauseen

(mit mehr als 100 Mio. m³ Speicherinhalt) haben eine Speicherkapazität von zusammen ca. 1.740 Mio. m³ (www.deutschland-auf-einen-blick.de/statistik/berge-seen.php).

Deutschland gehört klimatisch zur gemäßigten Klimazone Mitteleuropas. Der mittlere Jahresniederschlag beträgt 860 mm (zwischen 500 und 2.500 mm) und verteilt sich grundsätzlich über das ganze Jahr. Die Niederschläge sind zumeist mit westlichen Winden verbunden. Im Windschatten der Mittelgebirge (Ostseite) sind daher deutlich niedrigere Niederschlagshöhen zu verzeichnen, die sich auf die lokalen Grundwasserneubildungsraten und Wasserressourcen auswirken (z. B. Mitteldeutschland östlich des Harzes, Stuttgart und oberes Neckartal östlich des Schwarzwalds, Unter- und Mittelfranken).

Im langjährigen Mittel stehen in Deutschland insgesamt 188 Mrd. m³/a Wasser zur Verfügung. Davon werden nach Angaben des BDEW (Stand 2016) 21,1 Mrd. m³ oder 11,2% für die nichtöffentliche Wasserversorgung und die Abwasserbeseitigung genutzt. 5,2 Mrd. m³ werden jährlich von der öffentlichen Trinkwasserversorgung gewonnen und verteilt (ca. 2,8%). Sie ist statistisch der zweitgrößte Wassernutzer in Deutschland. Der Rest von ca. 161,7 Mrd. m³/a oder ca. 86,0% des Gesamtdangebotes fließen ungenutzt ab. Eine ausreichende Wasserversorgung ist somit landesweit gesehen gewährleistet, sofern ein wirksamer Grundwasserschutz die Qualität der verschiedenen Wasserressourcen (Grundwasser, Quellwasser und Oberflächenwasser mit Uferfiltrat) vor den seit Jahren immer weiter zunehmenden flächigen und punktuellen Gefährdungen durch Überdüngung, Pflanzenschutzmitteleinträge und Arzneimittelverbrauch nachhaltig bewahren kann.

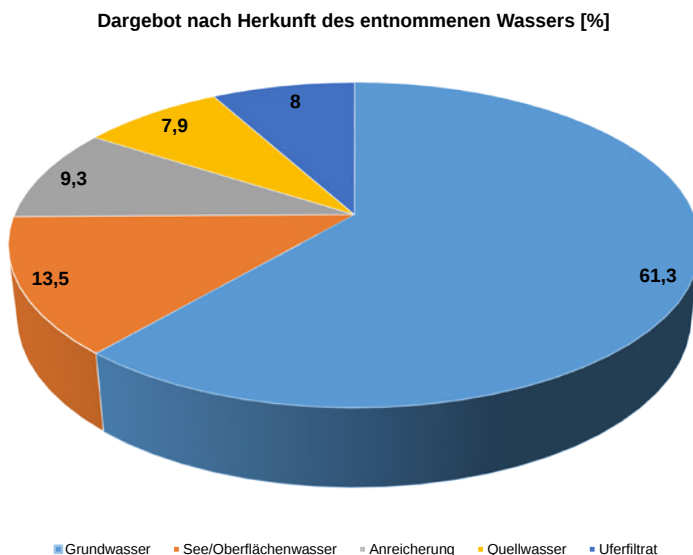


Bild 2.1: Wasserförderung der öffentlichen Wasserversorgung nach Wasserarten (aktuelle Zahlen: www.bdew.de)

Der überwiegende Anteil des Trinkwassers wird in Deutschland mit Brunnen aus dem Grundwasser sowie über Quellwasservorkommen gewonnen (ca. 69%). Der reine Grundwasseranteil liegt bei ca. 61,3% des geförderten Dargebotes. Oberflächenwasser aus Seen (Bodensee) und Talsperren machen ca. 13,5% (inkl. 1,2% Flusswasserentnahme), angereichertes Grundwasser ca. 9,3%, Quellwasser ca. 7,9% und Uferfiltrat ca. 8,0% des entnommenen Dargebotes aus (Stand 2016; Bild 2.1). Diese statistischen Zahlen verweisen auf die Bedeutung von Bohrbrunnen für die Wasserversorgung in Deutschland.

Die Wasserbilanz für die Bundesrepublik Deutschland wird für langjährige Zeiträume über 30-jährige Referenzperioden, wie z. B. 1961 bis 1990, ermittelt. Die Tabelle 2.1 zeigt die Kennzahlen dieser langjährigen Wasserbilanz für Deutschland. Im Jahresgang zeigen die jeweiligen Jahreswerte starke Abweichungen von den in Tabelle 2.1 gelisteten Mittelwerten. Als Spitzenjahr war im hydrologischen Referenzzeitraum das Jahr 2002, als Minimumjahr das Jahr 2003 registriert worden. 2018 war in der Periode 2000 bis 2018 neben dem Jahr 2003 das niederschlagsärmste Jahr. In diesem Jahr reduzierte sich die Grundwasserneubildungsmenge um ca. ein Drittel gegenüber der Mittelwertperiode 1961 bis 1990. Gleichzeitig waren die Jahre 2018 bis 2020 die wärmsten Jahre mit durchschnittlich 10,3 bis 10,5°C (→ www.dwd.de). Die Dekade 2011 bis 2020 hatte die vier wärmsten Jahre seit Beginn der Wetteraufzeichnungen im Jahre 1881. Die aktuellen Temperaturerhöhungen haben auch Auswirkungen auf den Wasserhaushalt und langfristig auch auf die Grundwassernutzung durch Brunnen (Bild 2.2). Die geodätisch höchsten Wasserstände wurden in den beiden Beispielmessstellen in Bild 2.2 zuletzt in den Jahren 2001 und 2002 gemessen. Danach fielen die Wasserstände bis 2006 um bis zu ca. 1,6 m ab. Die nachfolgende klimatische Erholungsphase von 2007 bis 2015 führte zu einem allmählichen Anstieg der Grundwasserstände; jedoch wurden in dieser Erholungsphase die damaligen Spitzenwerte aus Anfang der 2000er Jahre nicht mehr erreicht. Dies wird als Bilanzdefizit gedeutet, da die versickernden Niederschläge die Aufzehrung des Vorrates aus den Vorjahren nicht ausgleichen konnten. Dieser Trend setzte sich auch bis in den beginnenden Winter 2020 fort. Folgen für die Brunnenbewirtschaftung sind rückläufige Ergiebigkeiten und vor allem in den

Tabelle 2.1: Wasserbilanz für die Bundesrepublik Deutschland im langjährigen Mittel 1961 bis 1990 im Vergleich zum letzten Trockenjahr 2018, Stand 2020 (→ www.umweltbundesamt.de)

		1961 bis 1990	2018
	Niederschläge (Variationsbreite im Bundesgebiet: 500 bis 2.500 mm/a)	278 km³/a	210 km³/a
-	Verdunstung (Variationsbreite im Bundesgebiet: 450 bis 650 mm/a)	165 km³/a	155 km³/a
	davon Verdunstung aus Wasserverbrauch	3,9 km³/a	4,5 km³/a
+	Zustrom von außerhalb (über die Flüsse)	71 km³/a	59 km³/a
=	Erneuerbare Wasserressource insgesamt	184 km³/a	114 km³/a
	davon Grundwasserneubildung (potenziell für die Wassergewinnung nutzbar)	46 km³/a (25%)	28,5 km³/a (25%)

Spitzenförderphasen eine Absenkung des Betriebswasserspiegels bis in die Filterstrecke bzw. bis auf das Niveau des Trockenlaufschutzes.

Die Zahlenwerte der Bundesanstalt für Gewässerkunde aus April 2020 zeigen, wie groß die Variation der jahresbezogenen hydrologischen Größen, die für die Grundwasserneubildung und damit für die brunnentechnisch wichtigen Grundwasserstände maßgeblich sind, im Bundesgebiet ausfallen kann (Tabelle 2.1):

- Niederschläge (Referenzperiode 1961 bis 2000): 278 Mrd. m³
- Niederschläge (Einzeljahre 2002 bzw. 2018): 359 bzw. 210 Mrd. m³
- Nutzbares Wasserdargebot (Einzeljahre 2002 bzw. 2003): 257 bzw. 99 Mrd. m³
- Nutzbares Wasserdargebot (letztes Trockenjahr der Periode bis 2018): 119 Mrd. m³

Die Nutzbarkeit und Verfügbarkeit des Wasserdargebots für die Wasserversorgungswirtschaft hängen von der regionalen und zeitlichen Verteilung von Niederschlag, Abfluss und Verdunstung ab sowie von den örtlichen geohydrologischen Bedingungen (z.B. das Vorkommen grundwasserleitender und -speichernder Gesteine im Untergrund). Die Speicherefähigkeit und die hydraulische Durchlässigkeit des Untergrunds bestimmen neben den Witterungsverhältnissen und langfristigen klimatischen Entwicklungen an einem Gewinnungsstandort das nutzbare Dargebot (→ 6.1.5). Aus diesen Gründen kann nicht an jeder Stelle in Deutschland, trotz des allgemeinen Wasserreichtums des Landes, Grundwasser in ausreichender Menge und Qualität über Brunnen erschlossen werden.

Grundwasser für die Trink- und Betriebswasserversorgung kann in Deutschland überwiegend in den eiszeitlichen Lockergesteinen der Gletscherbecken, der Urstromtäler oder der rezenten Flussniederungen von Rhein, Elbe und den Alpenflüssen sowie in den marinen Tertiärsanden

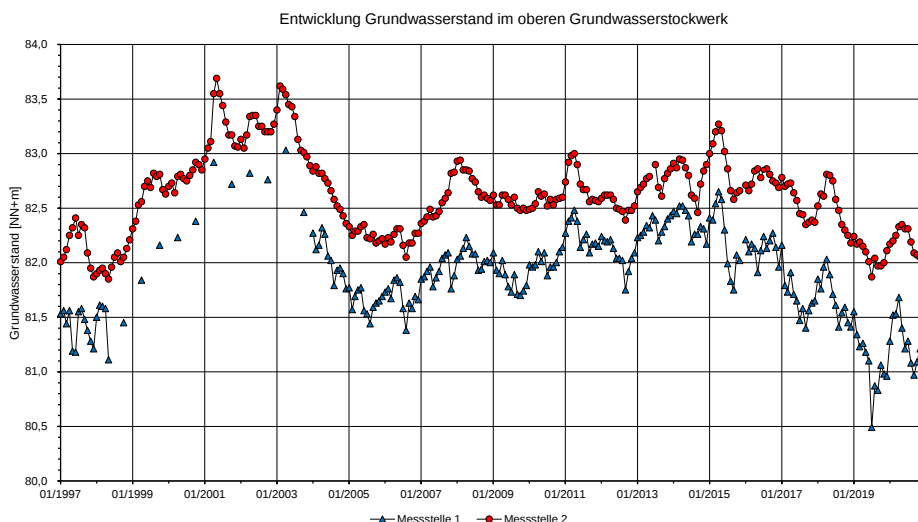


Bild 2.2: Entwicklung der Grundwasserstände in zwei Grundwassermessstellen seit 1997.

der Niederrheinischen Bucht und Norddeutschen Tiefebene sowie in den fluviatilen und marinen Molassesanden des Alpenvorlandes gewonnen werden. In den Festgesteinsgebieten der Mittelgebirge und Alpen sind vor allem die mesozoischen Sandsteinareale (z.B. die Buntsandstein- und Muschelsandsteingebiete in Franken, im Leine-Bergland, in Mittelhessen, in Thüringen und entlang der deutsch-luxemburgischen Grenze) sowie Karstgebiete (z.B. triassische Karstgebiete der bayerischen Alpen, jurassische Kalk- und Dolomitgesteine der Schwäbischen Alb und des Fränkischen Jura) für die Wassergewinnung mittels Bohrbrunnen geeignet.

Die Verwendung von Flusswasser für die Wasserversorgung wird maßgeblich von der Flusswasserqualität bestimmt. In der Regel wird Flusswasser für die Trinkwasserversorgung durch Uferfiltration über Brunnen (korrekterweise sollte man aufgrund der hydraulischen Prozesse von „Sohlinfiltration“ sprechen) oder über künstliche Grundwasseranreicherungsanlagen (→ Bilder 1.22 bis 1.24), die aus Brunnen, Sickerschlitzzgräben oder Anreicherungsbecken (z.B. entlang der Ruhr oder am Neckar) bestehen können, genutzt.

In den zentralen Mittelgebirgen, die aus verfestigten Schiefer- und Grauwackengesteinen (Rheinisches Schiefergebirge, Thüringer Wald, Harz) oder aus metamorphen und magmatischen Gesteinen (Erzgebirge, Bayerischer Wald, Südschwarzwald) aufgebaut sind, lassen sich aufgrund der geringen Hohlraumvolumina und räumlich begrenzten Vernetzung der wasserwegsamen Klüfte nur geringe Mengen an Grundwasser, meist über Quellen oder flache Brunnen, gewinnen. In diesen Regionen wurden Talsperren errichtet, die mehreren wasserwirtschaftlichen Zwecken dienen können, wie z.B. dem Hochwasserschutz, dem Ausgleich von saisonalen Abflussmengen oder der Trinkwassergewinnung.

2.2 Wasserbedarf als Grundlage der Brunnenplanung

Der Pro-Kopf-Gebrauch an Trinkwasser ist im Bundesdurchschnitt in Folge der technischen Entwicklung, im Wesentlichen bei der Energieeinsparung, seit 1990 von 147 l/d pro Einwohner auf aktuell 125 l/d pro Einwohner gesunken (Stand 2019). Im Jahr 2017 war der spezifische Bedarf wieder leicht von 121 in 2013 auf 123 l/d pro Einwohner und im Trockenjahr 2018 auf 217 l/d pro Einwohner gestiegen. Damit verbunden war eine Zunahme und eine längere Periode der täglichen Spitzenverbräuche bei den Wasserversorgungsunternehmen.

Seit Anfang der 1990er Jahre ist die Gesamtwasserentnahme der öffentlichen Wasserversorgung von ca. 6.770 auf derzeit ca. 5.204 Mio. m³ zurückgegangen (Tabelle 2.2 und Bild 2.3). Unterschieden werden bei dieser statischen Betrachtung „Grundwasser“, „Quellwasser“ und „Oberflächenwasser“. Uferfiltrat wird in dieser tabellarischen Zusammenstellung nicht separat ausgewiesen.

Die Quellwassernutzung, als Sondernutzungsform für die Grundwasserentnahme, nahm bis 2016 von 572 auf 413 Mio. m³/a um ca. 159 Mio. m³/a bzw. ca. 28 % ab (DESTATIS 2019). Hauptursache waren Probleme in der Quellwassergüte (meist aufgrund schlecht gewarteter, maroder Bausubstanz) oder die Aufgabe der Quellwassernutzung aufgrund von Engpässen beim Dargebot (Schüttungsrückgänge, auch witterungs- und klimatisch bedingt)

Tabelle 2.2: Summe der Wassergewinnung der öffentlichen Wasserversorgung in Deutschland für den beispielhaft ausgewählten Zeitraum 1990 bis 2016 in Mio. m³/a (Aus: DESTATIS 2016)

Wassertyp (nach Herkunft)	1990	1995	2000	2005	2006	2007	2010	2012	2013	2016
Grundwasser	4.313	3.653	3.599	3.486	3.524	3.419	3.105	3.104	3.076	3.185
Quellwasser	572	571	480	423	415	405	432	431	422	413
Oberflächenwasser	1.882	1.586	1.406	1.354	1.364	1.297	1.544	1.534	1.555	1.606
insgesamt	6.767	5.810	5.485	5.263	5.303	5.121	5.081	5.069	5.053	5.204

sowie aufgrund qualitativer Probleme im Einzugsgebiet, z. B. durch die Intensivierung der Landwirtschaft (Treskatis & Tauchmann 2013, 2018).

Die Länge des Trinkwassernetzes in Deutschland beträgt ca. 544.000 km (ohne Hausanschlüsse). Der Anschlussgrad beträgt mehr als 99%. Wasserverluste sind im internationalen Vergleich mit durchschnittlich ca. 6,5% in Deutschland gering, wobei es hier zu lokalen Unterschieden je nach Topographie, Untergrund und Alter des Rohrnetzes kommt.

Neben der öffentlichen Wasserversorgung ist die Industrie eine wichtige Größe bei der Wasserentnahme. Sie deckt 94% des Wasserbedarfes durch Eigenförderung. Der Großteil ist Kühlwasser, das aus Flüssen entnommen wird. Allerdings werden auch zahlreiche

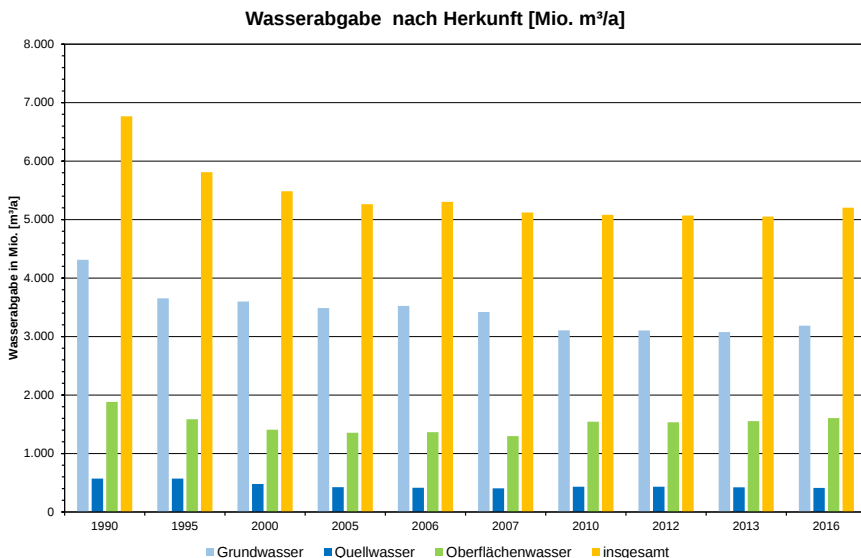


Bild 2.3: Wasserabgabe der öffentlichen Wasserversorgung nach Herkunft in Mio. [m³/a] (aktuelle Zahlen → www.bdew.de)

Brunnen, z. B. entlang des Rheins und der Elbe von Industrieunternehmen betrieben, deren genaue Anzahl jedoch unbekannt ist. Quellen werden in Deutschland kaum noch für die industrielle und gewerbliche Eigenwasserversorgung genutzt. Im Pfälzer Wald, im Schwarzwald oder Bayerischen und Oberpfälzer Wald sowie in den Mittelgebirgsregionen des Sauerlandes und Bergischen Landes versorgen sich aufgrund des dortigen Mangels an ergiebigen Grundwasservorkommen einige kleinere und mittlere Betriebe, wie Papierfabriken oder Maschinenbaubetriebe, auch mit eigenem Grundwasser. In diesen Betrieben bildet Quellwasser eine wichtige Zusatzwasserversorgungsmöglichkeit. In Trockenzeiten muss dieses jedoch häufig durch Fremdwasserbezüge oder Brunnenwasser ersetzt werden.

Stand 2016 wird nach Angaben des Statistischen Bundesamtes Trinkwasser von 5.845 Versorgern aus ca. 25.000 Trinkwasserbrunnen der Bevölkerung bereitgestellt (Houben & Treskatis 2020). Die Industrie betreibt neben den Kühlwasserentnahmen aus Flüssen (z. B. Kraftwerke, Raffinerien oder chemische Betriebe) mehrere tausend Brunnen und kommt damit bei der Wassergewinnung auf die o. g. Eigenförderrate von mehr als 90%. Der Rest wird bei den örtlichen Versorgern oder über Fernwasserversorgungen bezogen. Der Bergbau (Braun- und Steinkohle) ist in Deutschland als Industriezweig der größte Brunnenbetreiber – neben der öffentlichen Wasserversorgung. Allein im Rheinland werden zwischen Köln und Aachen mehr als 1.500 Brunnenanlagen zur Entwässerung der Braunkohletagebaue betrieben.

Die Landwirtschaft ist im Vergleich zur öffentlichen Wasserversorgung und der Industrie der einzige Nutzer der Grundwasserressourcen in Deutschland mit einem stetig steigenden Bedarf an Wasser zur Feldberegnung und daher auch der Bereich mit einer steigenden Anzahl von Brunnenanlagen.

Rund 30.000 Wasserschutzgebiete umfassen in Deutschland eine Fläche von ca. 50.400 km², was ca. 14% der Landesfläche entspricht (www.umweltbundesamt.de). Baden-Württemberg hat ca. 2.300 Schutzgebiete mit ca. 9.500 km² Fläche. Im Land Hessen sind ca. 9.000 Schutzgebiete bzw. ca. 11.500 km² unter Schutz gestellt. Beide Bundesländer haben damit in Deutschland die größten absoluten Flächenanteile an Wasserschutzgebieten. Das entspricht ca. 25 bzw. ca. 55% der jeweiligen Landesfläche.

Wasserwirtschaftliche Planungen sind durch langfristige Planungsziele (in der Wasserversorgung meist 25 bis 30-jährige Zyklen) gekennzeichnet. Dies erfordert einen akribischen Aufwand zur Abschätzung künftiger Entwicklungen des Wasserbedarfs im Versorgungsgebiet bzw. in einer Region hinsichtlich der Bevölkerungsentwicklung sowie der spezifischen Wassermengen von Industrie und Landwirtschaft. Daher werden technische Anlagen, wie z. B. auch Brunnen- bzw. Wassergewinnungsanlagen grundsätzlich mit technischen Erweiterungsmöglichkeiten und Förderreserven ausgestattet, um Spitzenbedarfszeiten sicher abdecken zu können. In diesem Zusammenhang sei auf DVGW W 400 Teil 1 hingewiesen.

Bei der Planung von Wasserversorgungsanlagen wird der „Wasserbedarf“ als Planungswert des in einer bestimmten Zeitspanne für die Wasserversorgung (und damit auch für die Planung von Brunnenanlagen) benötigten Wasservolumens genutzt. Er wird angegeben in den Einheiten [m³ je Jahr, Tag, Stunde] bzw. [l/s] oder als personenbezogener Bedarf in

[$\text{m}^3/(\text{E} \cdot \text{a})$], [$\text{l}/(\text{E} \cdot \text{d})$]. „Wasserverbrauch“ ist die tatsächlich genutzte, meist durch Messung ermittelte Menge je Zeiteinheit. Korrekter ist es, von Wassergebrauch oder Wassernutzung zu sprechen; das Wasser wird nicht verbraucht, sondern gelangt nach seiner Nutzung zurück in den hydrologischen Kreislauf. Da es in diesem Prozess seine Trinkwassereigenschaft ($\rightarrow$ DIN 2000) verliert, kann an dem eingeführten Begriff „Verbrauch“ festgehalten werden. Man unterscheidet die Verbrauchssektoren Haushalte zzgl. Kleingewerbe, Gewerbe und Industrie, öffentliche Einrichtungen, Löschwasser und Wasserwerks-Eigenverbrauch (z. B. für Rohrnetzspülungen, Behälterreinigung, Brunnenregenerierungen und die Wasseraufbereitung).

Der Wasserbedarf wird von klimatischen und zeitlichen Faktoren stark beeinflusst; kurzfristige Extremwerte können auftreten, wenn die bedarfsbestimmenden Faktoren in extremer Weise zeitlich zusammenfallen, wie z. B. in den Hitzesommern 2003 und 2018. Zur Bemessung der Gewinnungs- und Versorgungsanlagen werden daher Spitzenbedarfswerte herangezogen, die in Berücksichtigung der Funktion der Anlagenteile, zugleich auch in Berücksichtigung der hygienischen Anforderungen und der Wirtschaftlichkeit festzulegen sind. Übliche Werte sind ein Tag in 30 Jahren, d. h. ein Tag von 10.950 Tagen, demnach ein Sicherheitsfaktor von 10^{-4} . Die Wahrscheinlichkeitsaussage lautet dann: an einem Tag in 30 Jahren bzw. in drei Jahren muss damit gerechnet werden, dass die volle Bedarfsdeckung nicht mehr gewährleistet ist. Ein Sicherheitsfaktor von nur 10^{-3} (also ein Tag in drei Jahren) führt selbstverständlich zu deutlich geringeren Reservemengen und damit auch zu niedrigeren Kosten.

Die Wasserabgabe der öffentlichen Wasserversorgung hat sich bis 2016 insgesamt gesehen rückläufig entwickelt (Bild 2.4). Seitdem nimmt die Abgabe an die Verbraucher um ca.

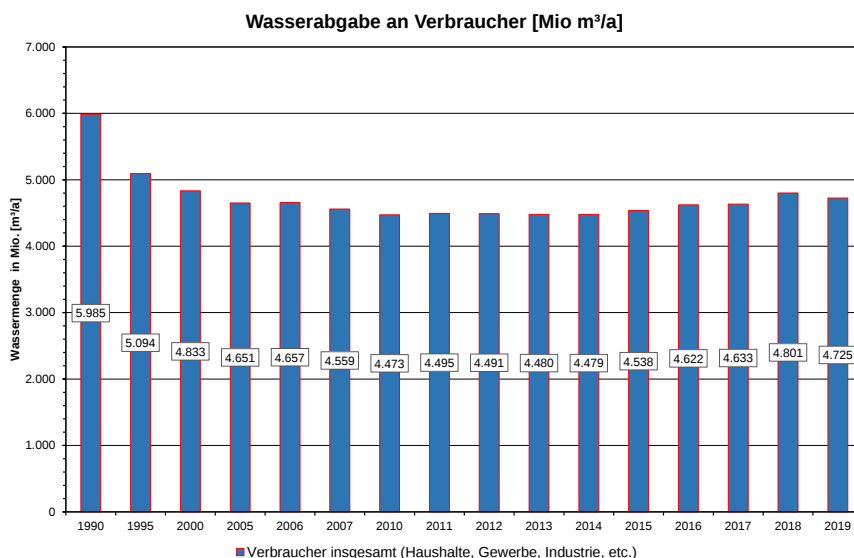


Bild 2.4: Zeitliche Entwicklung der Wasserabgabe der öffentlichen Wasserversorgung an Verbraucher in Mio. m^3/a (aktuelle Zahlen: www.bdew.de)

100 Mio m³/a wieder leicht zu. Das Jahr 2018 war mit 4.800 Mio m³/a das bisher abgabenstärkste Jahr seit der Jahrtausendwende. Dabei ist zu berücksichtigen, dass sich die Industrie in Deutschland an den meisten Standorten aus eigenen Wassergewinnungsanlagen versorgt, so dass konjunkturelle Entwicklungen im Gegensatz zu Witterungseffekten und Einwohnerfluktuationen den Wasserbedarf bei der öffentlichen Wasserversorgung nur nachrangig beeinflussen.

Die Wasserabgabe wird zumeist auf die Zahl der Einwohner umgerechnet. Mitte der 1980er Jahre hatte der Wasserverbrauch der Haushalte einschl. Kleingewerbe (alte BRD) mit fast 150 l/(E·d) einen Höchststand erreicht; seit 1990 ist ein kontinuierlicher Rückgang zu verzeichnen. Die Jahreswerte lauten inzwischen für die alten Bundesländer 120 bis 125 l/(E·d), für die neuen Bundesländer zwischen 85 und 100 l/(E·d); noch tiefer liegen sie dort in ländlichen Gebieten (< 70 l/(E·d)). Diese Entwicklung ist ein Ergebnis der stark gestiegenen Wasserkosten (einschließlich Abwassergebühren) und des gewachsenen Sparbewusstseins der Bevölkerung, vor allem bei den energieintensiven Geräten im Haushalt (Waschmaschine, Spülmaschine). Mit diesen Verbrauchswerten steht Deutschland gemeinsam mit den Niederlanden, Österreich und Polen hinter Litauen und Estland (mit 97 bzw. 100 l/(E · d)) am unteren Ende der Skala im europäischen Vergleich. Deutschland wird überboten von Dänemark (mit 139 l/(E · d)), Frankreich (mit 156 l/(E · d)); Spitzenplätze belegen in Europa Italien mit 213 l/(E · d) und Spanien mit 270 l/(E · d). In den USA und im Emirat Dubai liegen die Wasserverbrauchszahlen aufgrund der hohen Anteile an Beregnung landwirtschaftlicher und privater Flächen sowie aufgrund der in der Industrie und Gewerbe noch praktizierten Durchlaufkühlungssysteme mit mehr als 600 bzw. 500 l/(E · d) um ein Vielfaches über den mitteleuropäischen Verbrauchswerten (Bild 2.5).



Bild 2.5: Spezifischer Wasserbedarf in Deutschland im Vergleich mit ausgewählten Ländern
(→ www.de.statista.com/)

Der Wasserbedarf für Gewerbe, Industrie, Einzel- und Großverbraucher wird durch die Auswertung der aktuellen Verbräuche oder durch produktspezifische Kennzahlen erhoben. Die Fachliteratur, wie z.B. Fritsch et al. (2014) oder Karger & Hoffmann (2013), gibt lediglich allgemeine Erfahrungswerte an, die aber bei der Bemessung einer Wassergewinnungsanlage nur für erste überschlägige Berechnungen genutzt werden sollten.

Der Löschwasserbedarf ist die Gesamtmenge, die für den Brandschutz in einem definierten Gebiet verfügbar sein muss. Im Regelfall sind die Wassermengen über die öffentliche Wasserversorgung bereitzustellen. Unterschieden wird:

- Grundschatz: Brandschutz für das Gemeindegebiet ohne besonderes Sach- oder Personenrisiko. Die Leistungen sind nach der baulichen Nutzung (Bebauungsdichte, Wohn- oder Gewerbe- oder Mischgebiet) und der Gefahr der Brandausbreitung (klein – mittel – groß) zu bemessen,
- Objektschutz: deckt das über den Grundschatz hinausgehende objektbezogene Risiko und liegt in der Verantwortung des Grundeigentümers. Beispiele: Versammlungsstätten, Hotels, Kaufhäuser, Gewerbebetriebe.

Die Bemessung des Grundschatzes erfolgt nach DVGW W 405 „Bereitstellung von Löschwasser durch die öffentliche Trinkwasserversorgung“. Während in Städten und größeren Gemeinden die für die Wasserversorgung der Bevölkerung erforderlichen Netze auch für den Feuerschutz genügen, bestimmt bei kleineren Gemeinden der Feuerschutz die Leistung der Anlagen (Stundenspitze, Mindestdruck usw.). Bei kleinen Gemeinden empfiehlt sich daher oft der Rückgriff auf offene Wasserbecken (Seen, Teiche) oder Feuerlöschbrunnen (bei geeigneten Untergrundverhältnissen, wie sie z. B. in Norddeutschland in den quartären Ablagerungen angetroffen werden können).

Der Eigenverbrauch der Wasserversorgungsanlagen wird benötigt zur Spülung des Verteilungsnetzes und zur Regenerierung von Brunnen, von Filtern und den Wasseraufbereitungsanlagen sowie zur Behälterreinigung. Erfahrungszahlen sind 1,3 bis 1,5% der Jahresabgabe (bezogen auf die Abgabe an die Verbraucher ohne Großkunden und Weiterverteiler). Ohne Aufbereitungsanlagen werden bis zu 1,0% der Jahresabgabe bei der Eigenverbrauchsplanung angesetzt.

Ferner sind bei der Planung des Fördervolumenstroms einer Wasserversorgungsanlage auch die Wasserverluste zu berücksichtigen. Der Begriff wird in der Öffentlichkeit oft missverstanden. Es handelt sich um eine rein statistische Messdifferenz zwischen der Bruttoabgabe von Trinkwasser an das Rohrnetz und der beim Verbraucher gemessenen Bezugsmengen. Hier gehen einerseits die sogenannten „scheinbaren Verluste“ ein. Dabei handelt es sich um Messfehler (im Rahmen der Messtoleranz der geeichten Messgeräte), nicht gemessene oder um falsch abgeschätzte Abgaben (Eigenverbrauch, Löschwasser, Standrohre) sowie um unerlaubte Wasserentnahmen (z.B. über nicht gemeldete Standrohre). Als Schätzwert für die „scheinbaren Verluste“ gibt das DVGW W 392 ca. 1,5 bis 2% der Rohrnetzeinspeisung an. Neben dieser Verlustart sind andererseits die realen Leitungsverluste (Leckagen) zu berücksichtigen. Die Zahlen verschiedener Versorgungsgebiete sind nicht zu vergleichen, da vor allem große Einzelverbraucher das Bild verfälschen. Es ist korrekter, die Verluste auf

die Rohrnetzlänge zu beziehen, wobei die Bemessungsgröße die Dimension $[m^3/(km \cdot h)]$ erhält. Absolut dichte Versorgungsnetze gibt es in der Praxis nicht. In gut gewarteten, mit überwiegend neuen Rohrleitungen ausgestatteten Netzen sind Wasserverluste zwischen 0,10 und 0,20 $m^3/(km \cdot h)$ zu erwarten. Hohe Verluste $> 0,20$ (großstädtische Gebiete), $> 0,15 m^3/(km \cdot h)$ (städtische Gebiete) und $> 0,10 m^3/(km \cdot h)$ (ländliche Gebiete) sollten der Anlass sein für besondere Maßnahmen der Verlustreduzierung ($\rightarrow$ DVGW W 410).

Durch die Veröffentlichung der neuen DVGW W 392 und W 400-3-B1 im September 2017 wird den Wasserversorgungsunternehmen mit dem „Infrastructure Leakage Index“ (ILI) eine neue, international verbreitete Kennzahl zur Beurteilung von Wasserverlusten angeboten (Kober & Prein 2019). Diese Kennzahl berücksichtigt und wichtet die relevanten Strukturparameter für den Wasserverlust mehr als der bisher gebräuchliche „spezifische reale Wasserverlust“ (qVR).

BPK Brunnen- und Pumpen-Service GmbH

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

- Brunnenregenerierung gemäß DVGW Arbeitsblatt W 130
- Brunnenentwicklung gemäß DVGW Arbeitsblatt W 119
- Pumpversuche gemäß DVGW Arbeitsblatt W 111
- Brunnensanierung gemäß DVGW Arbeitsblatt W 135
- Lieferung von Pumpen und Brunnenausrüstung
- Zustandsbeurteilung mit Brunnen TV bis 500 m Teufe
- Brunnenrückbau gemäß DVGW Arbeitsblatt W 135
- Beratung und Service



Franz-Haniel-Straße 85 ● D 47443 Moers

Tel.: +49 2841 4064729 ● Mobil: +49 179 2929975 ● Email : post@brunnen-dienst.de

Mehr Informationen unter www.Brunnen-Dienst.de

Für die Bemessung der Anlagen der Wasserversorgung (Wassergewinnung, Wasseraufbereitung, Wasserspeicherung → DIN1508 und Wasserverteilung) ist auf die Verteilung des Verbrauchs im Jahresgang und im Tagesgang zu achten, also auf das Verhältnis des maximalen Q_{dmax} zum mittleren Q_{dm} Tagesverbrauch [2.1]:

$$f_d : Q_{dmax}/Q_{dm} \quad [2.1]$$

Das Verhältnis des maximalen Stundenverbrauchs Q_{hmax} zum mittleren Stundenverbrauch Q_{hm} für eine mittlere bzw. maximale Tagesabgabe ergibt sich aus Gleichung [2.2]:

$$f_h : Q_{hmax}/Q_{hm} = Q_{hmax} \cdot 365 \cdot 24/Q_a \quad [2.2]$$

Die Faktoren werden für kleinere Siedlungsgebiete erhöht. Anhaltspunkte für die Wahl der Spitzenfaktoren ergeben sich aus DVGW W 410. Der Stundenfaktor f_h fällt von 5,8 bei Siedlungsgebieten mit 1.000 Einwohnern auf 1,8 für Siedlungsgebiete mit 1 Mio. Einwohnern. Der Tagesfaktor f_d fällt analog von 2,3 auf 1,4.

Der Jahresgang wird wesentlich vom regionalen Klima und von der Wetterlage des betreffenden Jahres, beispielsweise trockener oder niederschlagsreicher Sommer, bestimmt. Die Tages- und Wochencharakteristik hängt u.a. vom Typus der Stadt/Siedlung ab: städtisch, ländlich, „Schlafstadt“, gewerbliche Verbraucher, Tourismus usw.

Für konkrete Planungen einer Wasserversorgungsanlage empfiehlt es sich, auf die Messwerte mehrerer zurückliegender Jahre (zumindest einer Dekade) zurückzugreifen. Die einzusetzenden Spitzenfaktoren werden gemildert, wenn ausreichender Speicherraum einen Ausgleich der Spitzenverbräuche ermöglicht. Der Speicherraum kann z.B. über Talsperren oder Grundwasserspeicher (unterirdische Speicher- und Anreicherungsanlagen) für einen Jahresausgleich oder Speicherbehälter für den täglichen oder wöchentlichen Ausgleich eingerichtet werden.

3 Grundwasserfassungen

3.1 Allgemeine Hinweise

Wir unterscheiden bei den Grundwassergewinnungsanlagen die senkrechten (vertikalen) Fassungen, die Grundwasserleiter in (fast jeder) beliebigen Tiefe fassen können, und die waagerechten (horizontalen) Fassungen, die überwiegend flachgründige oder geologisch komplex aufgebaute Grundwasservorkommen erschließen (z.B. in hoch wasserdurchlässigen Rinnenstrukturen mit geringen Wassermächtigkeiten von beispielsweise weniger als 10 m). Hinzu kommen die Quelfassungen, die überwiegend als oberflächennahe, horizontale Fassungen ausgeführt werden. Eine ausführliche Beschreibung zu Planung, Bau und Betrieb von Quelfassungsanlagen findet sich bei Treskatis & Tauchmann (2013, 2018).

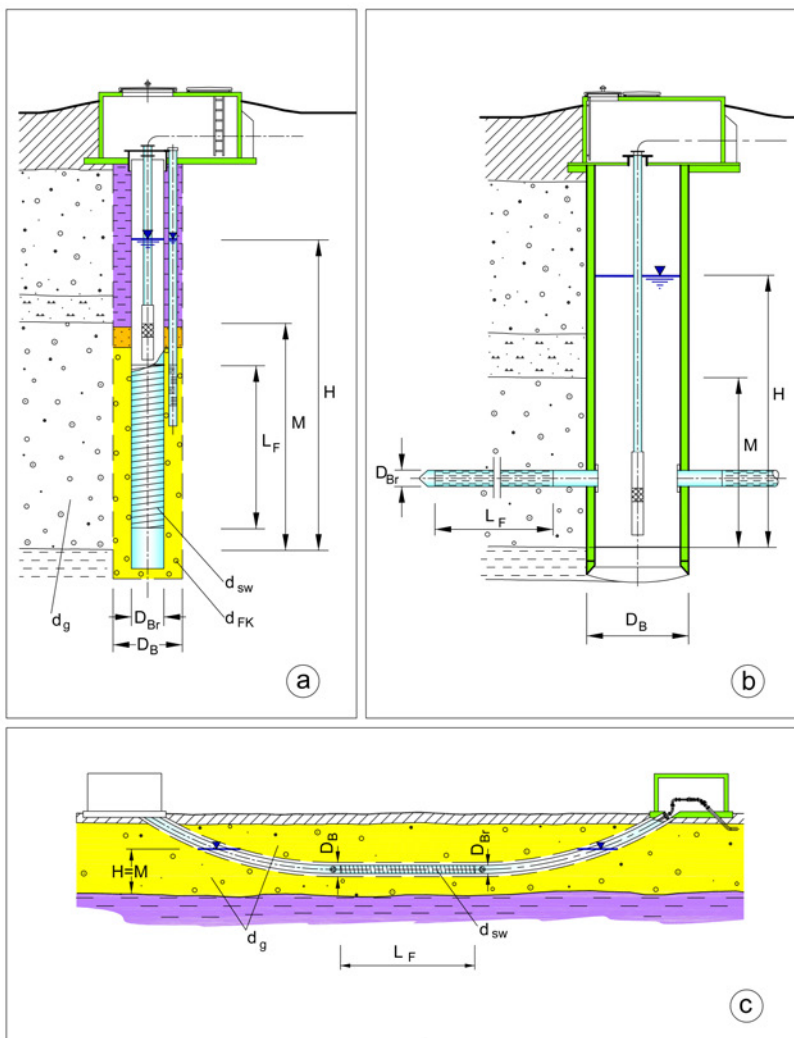
Zu den senkrechten Brunnenfassungen gehören der Schachtbrunnen (→ 3.2) – als älteste Bauform überhaupt – und der Bohrbrunnen (→ 3.3). Zu den waagerechten, horizontalen Fassungen sind die ebenfalls schon seit langem gebräuchlichen Sickerrohrleitungen (→ 3.4) und die Fassungsstollen im Festgestein sowie der vor etwa 70 Jahren entwickelte sternförmige Horizontalfilterbrunnen (→ 3.5) zu zählen. Dazu gehört auch der Anfang der 2000er Jahre in der Trinkwasserversorgung erstmals eingesetzte verlaufsgesteuerte Horizontalfilterbrunnen (HDD-Brunnen, → 3.6) (Sass & Treskatis 2000a und b; Struzina 2005 und Struzina 2012). Das Bild 3.1 zeigt die wesentlichen Bauteile und Bemessungselemente der drei Grundformen von Brunnenfassungen (→ 6.2).

3.2 Schachtbrunnen

3.2.1 Entwicklung und heutige Nutzungsmöglichkeiten

Die früheste Brunnenbauform ist die Vertiefung von natürlichen Quellaustritten in periodisch wasserführenden Flussläufen und Tälern durch Aufgraben (→ Bild 1.7). Dabei wurde zunächst auf einen Ausbau verzichtet, so dass diese Brunnen bei sinkenden Wasserständen in Trockenzeiten nur noch eine geringe Ergiebigkeit aufwiesen oder gar trocken fielen. Aus dieser Urform des Brunnens entwickelte sich der ausgebaute Schachtbrunnen, der in seiner Grundform bereits in der Jungsteinzeit von Menschen konstruiert wurde (Bilder 3.2 und 3.3). Archäologische Funde, z.B. im Vorfeld des Braunkohlentagebaus Hambach bei Erkelenz (Kreis Heinsberg) und Merkenich-Morschenich (Kreis Düren), brachten bis zu 15 m tiefe Schachtbrunnen mit Eichenholzverschalungen ans Tageslicht, die Alter von 7.000 Jahren haben (LVR 1998). Weitere archäologische Funde von Holzbrunnen sind aus Mitteldeutschland bekannt (→ 1.3).

Schachtbrunnen werden zur Gewinnung oberflächennaher Grundwässer im ländlichen, dünn besiedelten Raum heute noch lokal für die dezentrale Wasserversorgung genutzt. Typische



Abkürzungen:

- (a) Vertikalfilterbrunnen
- (b) Horizontalfilterbrunnen
- (c) Verlaufsgesteuert hergestellter Horizontalfilterbrunnen

H : Standrohrspiegelhöhe
 M : Grundwasserleitermächtigkeit
 L_F : Filterlänge
 D_{Br} : Brunnennrohrdurchmesser
 D_B : Bohrdurchmesser
 d_{sw} : Schlitzdurchmesser
 d_{FK} : Filterkorndurchmesser
 d_g : maßgeblicher Korndurchmesser

Bild 3.1: Bauteile und Elemente der drei Grundformen von Brunnen zur Grundwassergewinnung (→ 6.2)

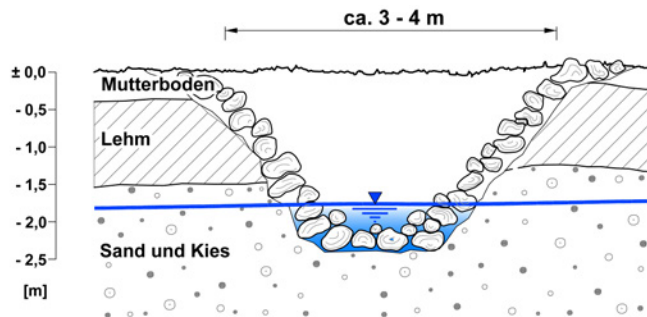


Bild 3.2: Entwicklung der Brunnenbauformen vom offenen Wasserloch zum gemauerten Schachtbrunnen

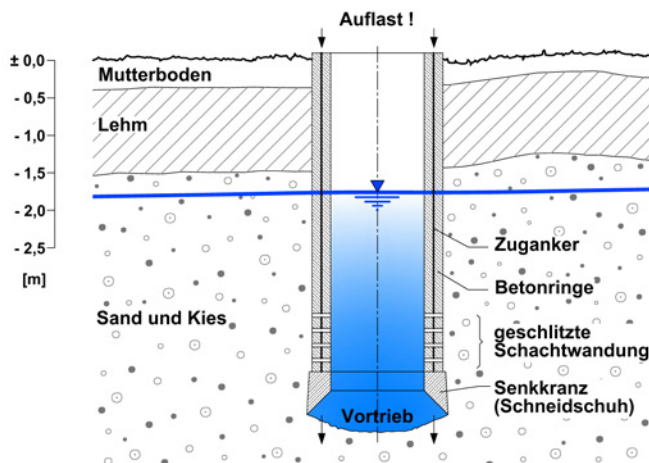


Bild 3.3 Entwicklung der Brunnenbauformen vom gemauerten zum mit Betonringen ausgesteiften Schachtbrunnen

Regionen sind z.B. die Lausitz, Oberschwaben, das Allgäu, Nieder- und Oberösterreich. Dieser Brunnentyp unterliegt oft starken Schwankungen im Wasserzufluss, so dass ältere Schachtbrunnen immer wieder vertieft wurden. Konstruktiv bedingte Schwachstellen, wie z.B. Undichtigkeiten, undefinierte Wasserzuflüsse und hygienische Bedenken haben die Nutzung dieser Fassungsform gegenüber dem Bohrbrunnen heute in den Hintergrund gedrängt. Wassermangel und bauliche Unzulänglichkeiten (Bild 3.4) sowie mangelndes Interesse an einer vorsorgenden Instandhaltung bei den Brunnenbetreibern sorgten dafür, dass diese Wasserfassungsart nicht weiterentwickelt wurde und in Vergessenheit geraten ist (Treskatis 2012a). Oft wurden Schachtbrunnen durch Bohrbrunnen ersetzt und damit tiefere Grundwasserleiter mit vermeintlich größerem Dargebot, aber auch aufbereitungsbedürftiger Wasserbeschaffenheit, erschlossen. Schachtbrunnen werden für größere



Bild 3.4: Aufgelassener Schachtbrunnen auf einer landwirtschaftlich genutzten Fläche in Oberschwaben (Foto: C. Treskatis)

Versorgungsgebiete mit ausreichenden Grundwasserdargeboten daher heute nur noch vereinzelt genutzt (Bieske et al. 1998). Einige ausschlaggebende Gründe dafür sind:

- vergleichsweise geringe Ergiebigkeit aufgrund geringer Eindringtiefe in das Grundwasser, dadurch bei größeren Versorgungseinheiten oft wenig wirtschaftlich,
- hygienische Probleme aufgrund der Nutzung oberflächennaher, durch die intensive Landnutzung oft schwer zu schützender Vorkommen,
- mikrobiologisch leicht zu verschmutzen wegen der vielerorts geringen Grundwasserüberdeckung,
- Abdichtungen des Ringraums gegenüber Oberflächenwasserzutritten sind nur oberflächennah und nicht im gesamten Schachtringbereich möglich,
- nicht mit abschnittsweise arbeitenden Verfahren entwickelbar und regeneriefähig (→ Houben & Treskatis 2020).

Trotz dieser Nachteile eignen sich Schachtbrunnen gerade für dezentrale Wasserversorgungen, die auf das Grundwasser aus begrenzt nutzbaren und oberflächennahen Grundwasserleitern angewiesen sind. Bei fachgerechtem Ausbau (Bild 3.5) und Instandhaltung sind unter Berücksichtigung der Erkenntnisse aus dem Bohrbrunnenbetrieb und Übertragungen von Prinzipien aus dem DVGW-Regelwerk dem Standort angepasste Schachtbrunnen auch heute wirtschaftlich betreibbar. Die Reaktivierung und Sanierung alter, aufgelassener Schachtbrunnen sowie der Neubau moderner Flachfassungen in Schachtbauweise (z.B. Abwandlungen des klassischen Horizontalbrunnens) gewinnen zunehmend an Bedeutung, vor allem in den Regionen, in denen aufgrund hydrogeologischer und gewinnungstechnischer Aspekte vertikale Bohrbrunnen oder Horizontalbrunnen nicht sinnvoll (z.B. bei flachgründigen Vorkommen < 10 m Tiefe) oder nur unwirtschaftlich

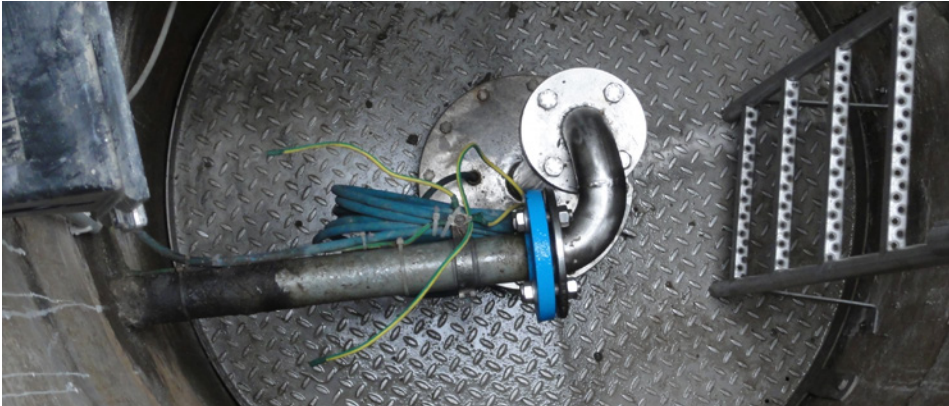


Bild 3.5: Fachgerecht ausgebauter Schachtbrunnen mit Edelstahlabdeckung und Pumpensitz
(Foto: C. Treskatis)

(z.B. bei geringen Bedarfszahlen $< 10 \text{ l/s}$) einsetzbar sind (Treskatis 2012a und Treskatis & Tauchmann 2013, 2018). Die begrenzte standörtliche Ergiebigkeit und die damit verbundenen geringen Absenkungen der Grundwasseroberfläche machen diese „alte“ Fassungsart vor allem bei der Gewinnung von Grundwasser in ökologisch sensiblen Gebieten ($\rightarrow 6.10$), bei oberflächennahen, geringmächtigen Grundwasserleitern und einer dezentralen Versorgungsstruktur auch heute noch interessant. Der bauliche und entnahmetechnische Eingriff sowie die Investitionskosten sind im Vergleich zum Bohrbrunnen, vor allem auch im Vergleich zum sternförmigen Horizontalfilterbrunnen, geringer.

3.2.2 Konstruktive Eigenschaften von Schachtbrunnen

Bei der Herstellung von modernen Schachtbrunnen werden zunächst eine Baugrube ausgehoben (Bild 3.6) und die ersten fertig gegossenen Schachtringe eingesetzt oder vor Ort betoniert. Der weitere Vortrieb erfolgt mittels vorgefertigten Gleitringen aus Fertigbeton. Das Bohrgut wird dazu über den Ringquerschnitt entnommen, die Gleitringe rutschen mit dem Ausschachtungsfortschritt in die gewünschte Tiefe. Dabei wird die Grundwasseroberfläche angeschnitten. Eine Vertiefung des Brunnens ist, je nach Standfestigkeit der geologischen Formation, meist nach Erreichen des ersten Grundwasserspiegels auf wenige Dezimeter bis Meter begrenzt. Der Ringraum zwischen den Schachtringen und dem nicht standfesten Gestein kollabiert beim Vortrieb, so dass hier keine allseitig hydraulisch wirksame Abdichtung eingebracht werden kann. Diese kann nur im oberflächennahen Bereich der Baugrube nachträglich eingebaut und mit einer Oberflächenwasserdrainage sowie einer wasserabweisenden Anböschung des Schachthalses gekoppelt werden.

Schachtbrunnen erreichen in der Praxis Durchmesser von 1,5 bis 8 m (Bieske et al. 1998). Der Wassereintritt erfolgt durch die Sohle oder durch Lücken bzw. Öffnungen im unteren Teil der gemauerten oder gelochten Schachtwand (Bild 3.7). Aufgrund der saisonal starken Schwankungen im Wasserzufluss oberflächennaher Brunnen wurden flach ausgebaute

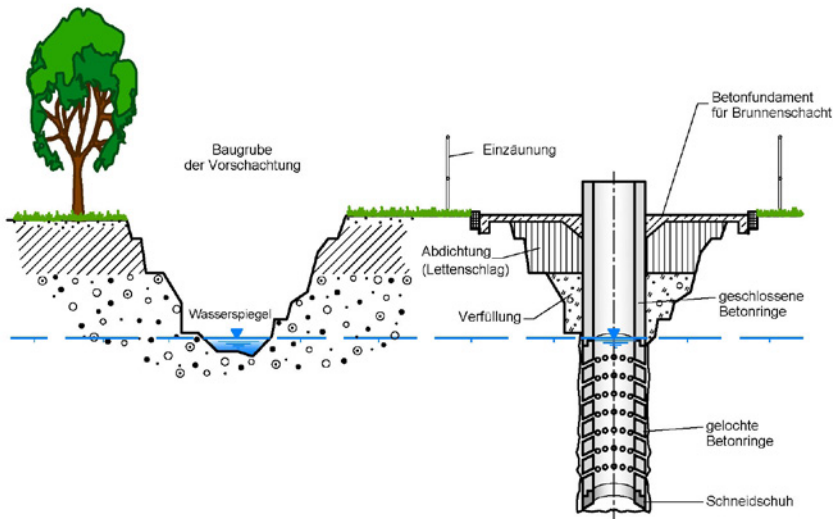


Bild 3.6: Schematische Darstellung der Herstellung und Vertiefung eines Schachtbrunnens. Aus Treskatis (2012a).

Schachtbrunnen oft mittels Bohrungen vertieft und unter dem Wasserspiegel mit Betonringen gesichert. Bild 3.6 zeigt das Konstruktionsprinzip eines bohrtechnisch vertieften und mit gelochten Betonringen ausgebauten Schachtbrunnens, der aus der Vertiefung des primär gegrabenen „Wasserloches“ entwickelt wurde.

Den prinzipiellen konstruktiven Aufbau und die wichtigsten Elemente eines modernen und dem Stand der Technik entsprechenden Schachtbrunnens zeigt der Systemschnitt in Bild 3.8, der den in Oberösterreich zur dezentralen Wasserversorgung und als Hauswasserbrunnen genutzten Typus darstellt. In Oberösterreich werden nach Unterlagen

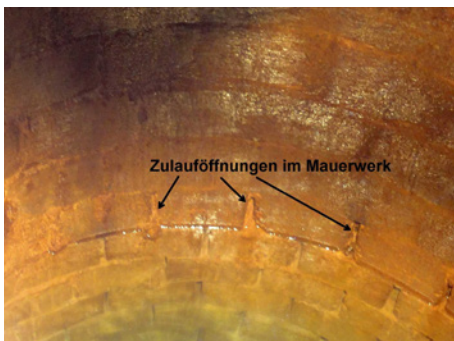


Bild 3.7: Mauerwerk mit Zulauföffnungen in einem Schachtbrunnen mit 3,5 m Durchmesser und 6 m Tiefe in der oberschwäbischen Süßwassermolasse (Foto: C. Treskatis)

des Amtes der oberösterreichischen Landesregierung (2011) vielfach konische Gleitschalungen verwendet, mit denen die Brunnenringe vor Ort gegossen werden (Bild 3.9). Der Abschluss eines Schachtbrunnens besteht an der Erdoberfläche aus einem Lehm Schlag, einem über das Gelände reichenden Abschlussring und einer wasserdichten Schachtabdeckung, über die der Pumpensitz und das Schachtinnere erreicht werden können (Treskatis 2012a). Im Schachtbrunnen fängt eine Bühne oder ein Träger die Brunnenpumpe ab. In neueren Schachtbrunnen wird der Pumpensitz mit einer Edelstahlplatte ausgestattet, um den direkten Zugang zum Grundwasser abzudecken (→ Bild 3.5).

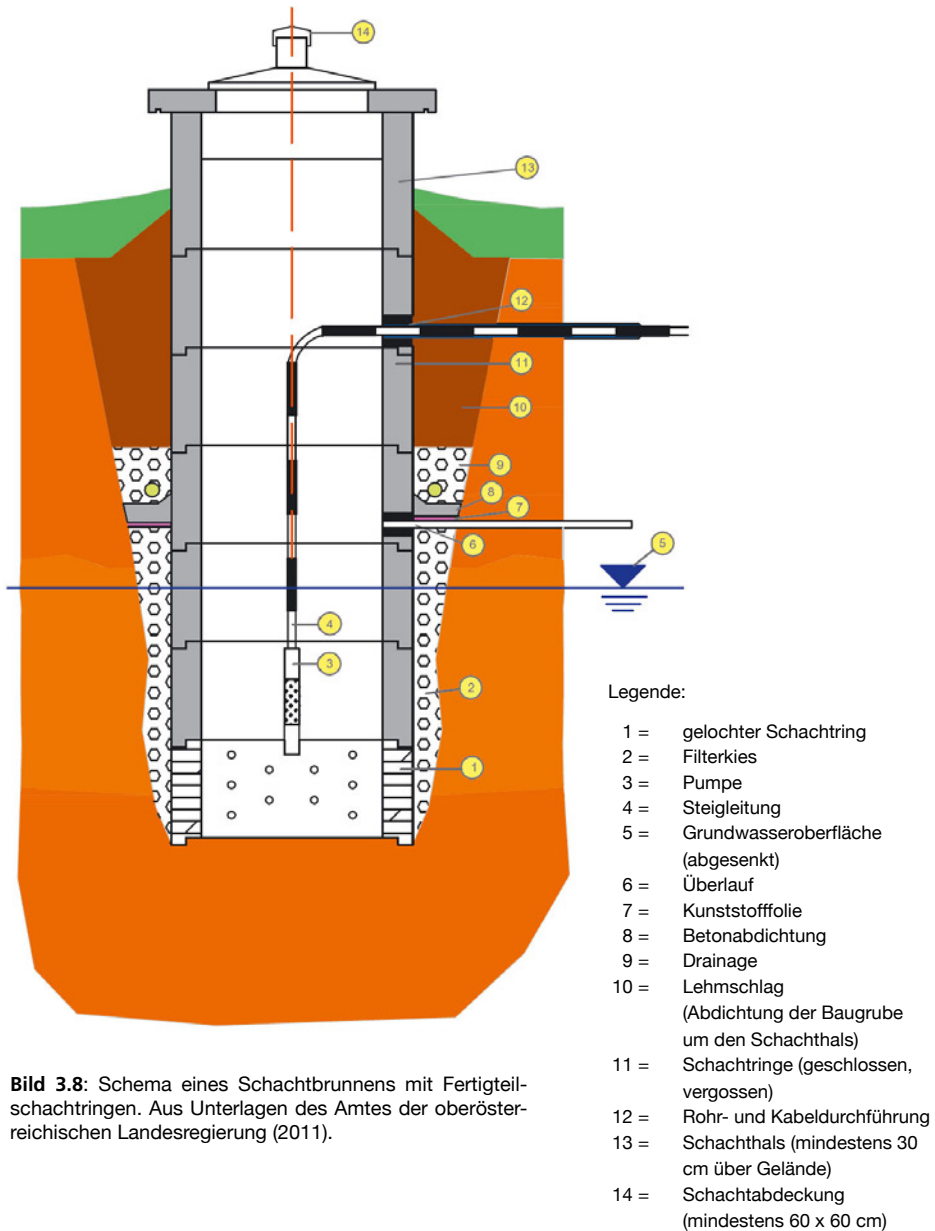
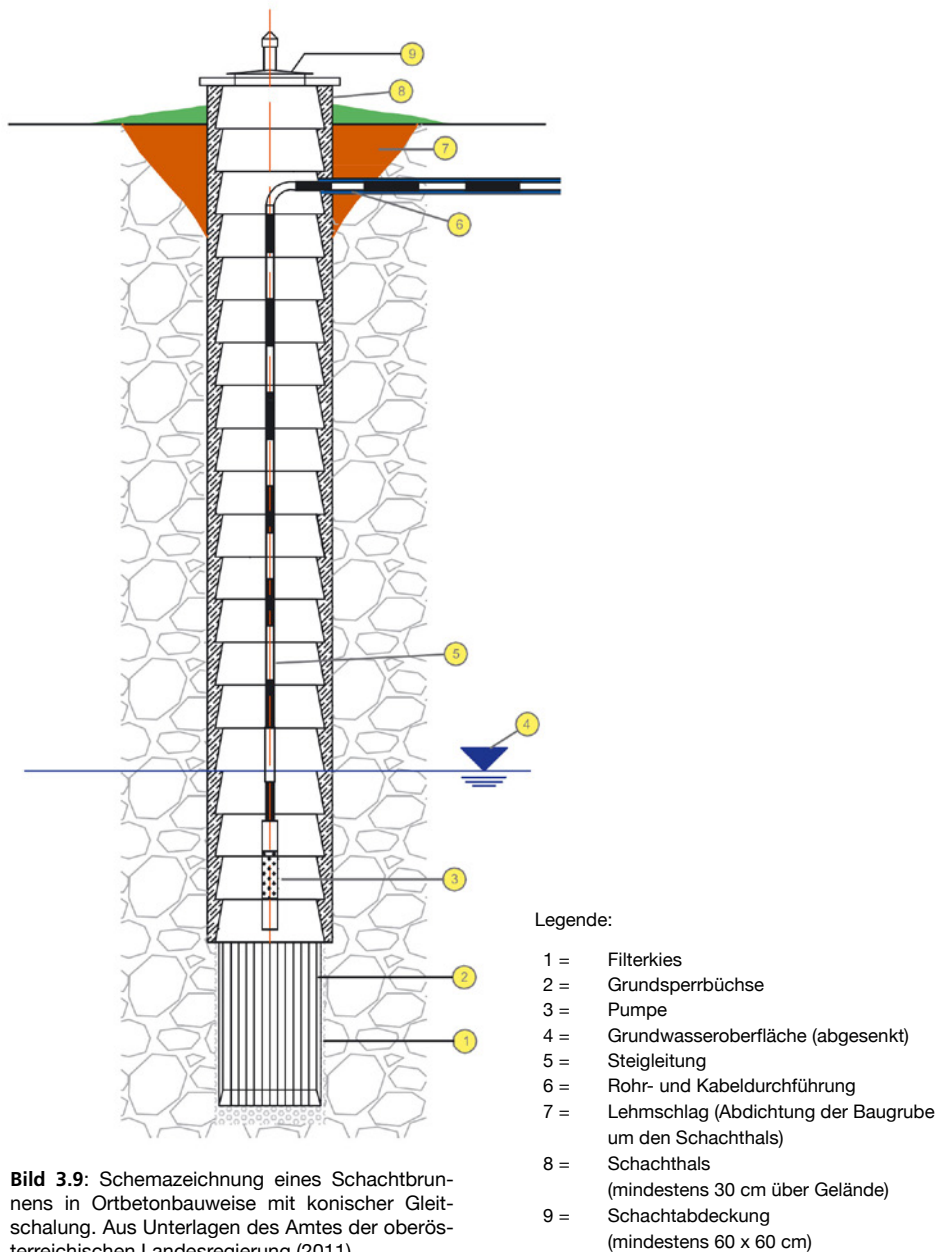


Bild 3.8: Schema eines Schachtbrunnens mit Fertigteilschachtringen. Aus Unterlagen des Amtes der oberösterreichischen Landesregierung (2011).



LEHR- UND HANDBUCH FÜR DEN BRUNNENBAU



Dieses Buch gibt konkrete Handlungsempfehlungen:

- Für alle im Brunnenbau und -betrieb sowie bei der Regenerierung und Sanierung anfallenden Herausforderungen
- Für Wartung, Regenerierung, Sanierung und Rückbau
- Mit vollständiger Formelsammlung, Schemazeichnungen, Tabellen, Fotos aus der praktischen Anwendung

Jetzt im
Shop bestellen
und Wissen sichern!

www.vulkan-shop.de



Georg Houben / Christoph Treskatis

3. Auflage 2020

Artikelnummer: 73885

Auch als eBook erhältlich.

Preis: € 98,-

VULKAN VERLAG. **FÜR ALLE, DIE MEHR WISSEN WOLLEN.**

www.vulkan-verlag.de

Hinweise zur Bemessung von einzelnen Bauelementen eines Schachtbrunnens, wie z.B. der Schüttung an der Schachtsohle, finden sich bei Treskatis & Tauchmann (2018). Bei Bieske (1965) wurden die damals verwendeten Bautechniken und Werkzeuge sowie Materialien eingehend beschrieben. Für die Sanierung von älteren Schachtbrunnen bietet dieses frühe Standardwerk des Brunnenbaus wertvolle Hinweise und Informationen für Planer und Brunnenbauer.

3.2.3 Schwachstellen eines Schachtbrunnens

Schachtbrunnen sind aufgrund ihres Herstellungsprinzips und der Lage in oberflächennahen Grundwasservorkommen oft durch Starkniederschläge, Überflutungen und längere Trockenzeiten in ihrer Funktion eingeschränkt. Dadurch ergeben sich oft mikrobiologische Verunreinigungen, Trübungseinbrüche und Wassermangelsituationen für die angeschlossenen Verbraucher. Mikrobiologische Belastungen treten in Rohwässern aus dieser Bauform öfter auf als in Bohrbrunnen, was vor allen auf fehlende oder zu gering bemessene Abdichtungen gegenüber Fremdwässern zurückzuführen ist. Der Ringraum zwischen den Stützringen und dem Gebirge wird bei der Fertigteilbauweise mit Bohrgut oder Füllkies verfüllt – sofern er nicht schon bei der Herstellung verstäurzt. Daher stellt er eine gute vertikale Sickerwasser-



Bild 3.10: Direkter Zugang über der offenen Grundwasseroberfläche eines Schachtbrunnens
(Foto: C. Treskatis)

wegsamkeit dar. Ein Letten- oder Lehmschlag im oberen Teil der Baugrube ist die einzige Möglichkeit, eine wirksame Abdichtung unter der Anböschung des oberflächennahen Teils der Baugrube einzubauen. Konstruktiv bedingte Schwachstellen, wie das Fehlen der Lehmschläge oder Undichtigkeiten bei den Gleitschalringen oder Fertigteilschachtringen, sind in vielen älteren Schachtbrunnen anzutreffen, in denen keine laufenden Instandhaltungsarbeiten stattfinden. Folgende Phänomene schränken in Schachtbrunnen deren Nutzung und Betriebssicherheit ein (→ Treskatis & Tauchmann 2013, 2018):

- Wasserzuflüsse durch die Sohle oder durch Lochungen in den Betonringen, die nicht genau dem Grundwasserleiter zugeordnet werden können (Kurzschlussströmungen, Fremdwasserzutritte aus dem Liegenden),
- fehlende Kenntnisse zur spezifischen Brunnenleistung,
- bei fallenden Wasserspiegeln aufgrund saisonaler Effekte ist ein Tieferhängen der Pumpe vielfach nicht möglich,
- Verwendung von ungeeigneten, veralteten Materialien (Korrosion),
- keine hydraulisch gegenüber Sickerwasser oder Tagwasser wirksame Ringraumabdichtung (rascher Zutritt von oberflächenbürtigem Fremdwasser, Überflutungsgefahr mit Eintrag von bakteriologischen Belastungen und Trübungen),
- konstruktive Mängel wie z. B: direkter Zugang zum Grundwasser unterhalb des Einstiegs (Bild 3.10); keine Abdeckung der Wasseroberfläche gegenüber hineinfallenden Verschmutzungen (Laub, Grasmahd, Werkzeuge, herabfallender Schmutz vom Schuhwerk des Wartungspersonals aufgrund fehlender Ruhepodeste usw.),
- nicht regenerierfähig im Sinne einer Leistungswiederherstellung (Versandungsgefahr bei übermäßiger Absenkung der Grundwasseroberfläche),



Bild 3.11: Zutritt von Tagwasser in einen Schachtbrunnen (Foto: C. Treskatis)



Bild 3.12: Korrosion im Zugangsbereich eines Schachtbrunnens (Foto: C. Treskatis)



Bild 3.13: Unfachmännische Reparaturen und Materialmix in einem Schachtbrunnen (Foto: C. Treskatis)



Bild 3.14: Schachtbrunnen einer ländlichen Wassergenossenschaft ohne Einzäunung des Fassungs Bereichs innerhalb einer Ortschaft (Foto: C. Treskatis)

- Fugen der Schachtringe oder Schachtdeckel sowie Schachtwanddurchführungen aufgrund mangelhafter Ausführung und Wartung oft undicht gegenüber Tagwasser (Bild 3.11),
- mangelhafte Wartung und Instandhaltung fördern den Verschleiß und die Alterung der Bauteile (Korrosion, Bild 3.12) sowie die Verschlammung des Brunnens,
- unfachmännische Reparaturen an veralteter Bausubstanz, meist aus wirtschaftlichen Gründen („Nachbessern“ statt Austausch defekter Einbauten, Bild 3.13),
- unzureichende oder fehlende Einzäunung; kein ausreichender Schutz des hygienisch sensiblen Fassungs Bereichs vor unbefugtem Zutritt (Bild 3.14).

3.2.4 Anforderungen an den Bau von Schachtbrunnen

Schachtbrunnen sind öfter von unerwünschten Fremdwasserzutritten betroffen als Bohrbrunnen, weil es konstruktionsbedingt mehr Zutrittsmöglichkeiten für Fremdwässer mit der Folge von Verkeimungen oder Trübungseinbrüchen gibt. Meist fördert eine gealterte Bausubstanz hygienische Unzulänglichkeiten bei dieser Brunnenbauform (Treskatis 2012a). Im Vergleich dazu sind Bohrbrunnen vor allem von Mängeln bei der Herstellung und Instandhaltung betroffen, die zu einer Funktionsstörung oder Qualitätseinschränkung in der geförderten Rohwasserbeschaffenheit bis hin zum Ergiebigkeitsverlust führen können.

Oft ist ein Ersatz eines sanierungsbedürftigen Schachtbrunnens durch einen Bohrbrunnen geologisch nicht möglich oder unwirtschaftlich. In dezentralen Wassergewinnungsstrukturen können daher vorhandene Schachtbrunnen durch eine dem Stand der Technik angepasste Sanierung analog zu den technischen Regeln bei der Herstellung und Sanierung von Bohrbrunnen (→ DVGW W 135) wieder betriebssicher gestaltet werden (Treskatis & Tauchmann 2013, 2018).

Schachtbrunnen sind sanierungsfähig im Sinne des DVGW W 135 wenn eine Sicherstellung der erforderlichen Wassermenge und -qualität sowie eine Sicherung des Bauwerkes gegen Fremdwasserzuflüsse möglich ist. Eine den örtlichen hydrogeologischen Verhältnissen angepasste Wasserschutzzone erleichtert den Schutz des Schachtbrunnens vor oberflächenbürtigen Fremdwasserzutritten und Qualitätsbeeinträchtigungen des Grundwassers (→ 6.11). Im Vergleich zu Bohrbrunnen wird bei Schachtbrunnen auf eine Entwicklung oder Regenerierung im Sinne des DVGW-Regelwerkes (DVGW W 119 und W 130) verzichtet. Meist werden die Brunnen nur bei der Inbetriebnahme ausgepumpt und versanden dann an der Sohle und in den Schachtringöffnungen, wenn nicht regelmäßig der Schachtboden oder die Zulauföffnungen gereinigt werden. Daher ist der Weiterbetrieb oder die Errichtung eines Schachtbrunnens vor allem unter dem Aspekt der späteren Instandhaltungsfähigkeit zu prüfen. Da die meisten älteren Schachtbrunnen bakteriologische Belastungen nach Starkregenereignissen, wie sie im Jahr 2021 am bayerischen Alpenrand, im Ruhrgebiet, im Münsterland und im nördlichen Rheinland-Pfalz aufgetreten sind, oder eine nachlassende Ergiebigkeit bei längerer Trockenheit zeigen, ist vor der Sanierung und dem Neubau eine Ursachenforschung zu den brunnen-spezifischen Problemen durchzuführen. Die Prüfung der Sanierungsfähigkeit umfasst nach Treskatis & Tauchmann (2013, 2018):

- Analyse des allgemeinen Bauzustandes (z.B. Zustand des Betons, der Einbauten, des Schachtdeckels, Zustand der Zulauföffnungen und deren Hinterfüllung sowie der Schachtsohle),
- Analyse der externen Abdichtungen (Versickerungsversuche, Aufgrabungen),
- Analyse des Grundwasserzuflusses (Pumpversuch, Kamerabefahrung bei Betrieb des Brunnens mit Beobachtung der Zutrittsöffnungen),
- Analyse der Beschaffenheit bei verschiedenen Witterungsbedingungen (Auswertung der chemischen und mikrobiologischen Analysen aus der Vergangenheit mit Korrelation zum Wettergeschehen),
- Analyse der Oberflächenentwässerung (Dränagen),
- Bestimmung der Vulnerabilität und der Grundwasserüberdeckung,
- Überprüfung der Abgrenzung des Wasserschutzgebietes, insbesondere der Schutz-zonen I (Fassungsbereich) und II (mikrobiologische, bakteriologische Schutzzone) nach DVGW W 101 (→ 6.11),
- Überprüfung der Vertiefungsmöglichkeiten zur Erhöhung der Pumpenüberdeckung bei Trockenheit (Erkundungsbedarf durch geeignete Aufschlussbohrungen).

Neben den brunnenbautechnischen Randbedingungen sind die standörtlichen hydrogeologischen Verhältnisse ausschlaggebend für eine wirtschaftliche und nachhaltige Sanierungs- und Neubaumöglichkeit von Schachtbrunnen.

3.3 Bohrbrunnen

3.3.1 Allgemeines

Bohrbrunnen sind Wassergewinnungsanlagen, die durch eine lotrechte Bohrung die Erschließung von Grundwasser in jeder gewünschten Tiefe möglich machen. Der Fachnormenausschuss Brunnenbau im Deutschen Normenausschuss hat bereits in seiner Sitzung vom 6. März 1943 festgelegt, dass anstelle der Bezeichnung „Rohrbrunnen“ (Bieske 1929, 1938) die Bezeichnung „Bohrbrunnen“ tritt (Bieske 1953, Bieske 1983b). Ganz allgemein sollte die Art der Abteufung im Namen der Brunnenbauform Ausdruck finden. Man sagte demgemäß auch „Schachtbrunnen“ für ausgeschachtete Brunnen (früher vielfach „Kesselbrunnen“) und „Rammbrunnen“, d.h. eingerammte Brunnen (früher vielfach „Abessinierbrunnen“ genannt, Bilder 3.15 und 3.16).

Bohrbrunnen folgten mit der heute noch verwendeten Ausprägung den Schachtbrunnen, die sich als erste „Brunnenbauform“ aus dem gegrabenen, unverbauten „Wasserloch“ oder einer natürlichen Quelle entwickelten (→ 3.2.1). Im Gegensatz zum Schachtbrunnen wird der Bohrbrunnen durch eine maschinell ausgeführte, vertikale Bohrung hergestellt (Bild 3.17). Dabei finden verschiedene Bohrverfahren Anwendung (→ 8.2.1), im Lockergestein meist als verrohrtes oder unverrohrtes Drehbohren (z. B. Trockendrehbohren, Saugbohren oder Lufthebebohren) und im Festgestein oft auch als Schlagbohren (z. B. mit dem sogenannten

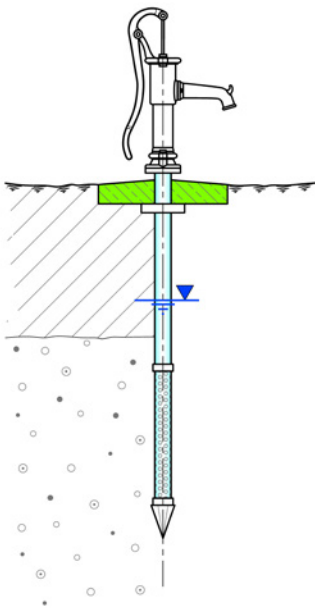


Bild 3.15: Schematischer Ausbauplan eines Rammbrunnens



Bild 3.16: Handpumpe mit Schwengel eines Rammbrunnens im Alpenvorland (Foto: C. Treskatis)



Bild 3.17: Seilbagger mit Verrohrungsanlage für eine Trockendrehbohrung (Foto: C. Treskatis)

„Imlochhammer-Bohrverfahren“). Nach Durchteufen eines Grundwasserleiters von ausreichender Mächtigkeit und Wasserführung wird in die Bohrung ein Filterrohr mit oder ohne Sumpfrohr (→ 5.5.6) möglichst lotrecht eingebaut, mit Filterkies oder Glaskugeln umschüttet (→ 5.6) und mit einem bis zur Geländeoberfläche reichenden Vollwandrohr (Brunnenrohr) versehen. Der über der Filterschüttung anstehende Ringraum wird entweder mit einem Sperrrohr oder mit hydraulisch dichtenden Medien verfüllt (→ 5.7). Der heute übliche Name „Vertikalfilterbrunnen“ resultiert aus dieser Anordnung der Einbauten in einem Bohrbrunnen.

Die Tiefe eines Bohrbrunnens richtet sich nach der Tiefenlage des Grundwasserleiters und dessen Überdeckung. Der Brunnen soll dabei nach Möglichkeit mit seinen hydraulischen Funktionsteilen die ganze Mächtigkeit des wassererfüllten Grundwasserraums, unter Berücksichtigung der Absenkung und der brunnenbautechnischen Notwendigkeiten (→ DVGW W 123), wie z.B. einer Über- und Unterschüttung (→ 5.3) sowie der Position der Zuflusszonen (→ 6.4.5), erschließen.

Wird die wasserführende Schicht soweit möglich in ihrer ganzen Mächtigkeit erschlossen, d. h. bis zur wassertragenden, undurchlässigen Sohle, ist der Bohrbrunnen geohydraulisch als „vollkommener“ Brunnen anzusprechen. „Unvollkommene“ Brunnen erschließen nur definierte Teile eines Grundwasserleiters. Das erschlossene Wasser von Bohrbrunnen ist Grundwasser von i.d.R. hygienisch und chemisch einwandfreier Beschaffenheit. Beeinträchtigungen der Grundwasserqualität sind oft ursächlich mit fehlerhaften Ausbauten von Brunnen oder mit dem nicht ordnungsgemäßen Umgang mit wassergefährdenden Stoffen, wie z.B. Gülle oder Pestizide, im Einzugs- oder Wasserschutzgebiet verbunden.

Da sich Bohrbrunnen im Gegensatz zu Schachtbrunnen an der Erdoberfläche und im Ringraum stets so ausbilden lassen, dass Verunreinigungen irgendwelcher Art nicht ins Brunneninnere oder über den Ringraum in den Grundwasserleiter gelangen können (→ 5.7),



Bild 3.18: Abschlussbauwerke einer Mehrbrunnenanlage (Foto: C. Treskatis)

ist ein sachgemäß erstellter Bohrbrunnen das Vorbild einer Grundwasserfassung, bei der sich alle hygienischen Anforderungen an das Rohwasser einer Trinkwasserversorgung erfüllen lassen. Diese Tatsache in Verbindung mit der technisch und hygienisch einwandfreien Ausführung als Kiesschüttungsbrunnen (→ 5.2) hat den Bohrbrunnen zum Haupttypus der Versorgungsbrunnen von Grundwasserwerken werden lassen. Er wird dabei in Mehrbrunnenanlagen (Brunnenreihen, Bild 3.18) nicht nur zur Gewinnung echten (landseitigen) Grundwassers verwendet, sondern auch zur Erschließung uferfiltrierter Wassermengen an den Ufern von Flussläufen oder größeren Seen. Er wird ferner bei geeigneten, ausreichend aufnahmefähigen Grundwasserleitern als Schluckbrunnen verwendet (→ 4.4).

Daneben hat der Bohrbrunnen im Bauwesen als Entwässerungs- oder Polderbrunnen bei Grundwasserabsenkungen und Wasserhaltungen bei temporären Baumaßnahmen (Bild 3.19), im Bergbau oder in Bergsenkungsgebieten (Bild 3.20) Bedeutung erlangt.

Je nach Verwendungszweck haben sich in den letzten Dekaden verschiedenste Bohrbrunnenausführungen ausgeprägt (→ 5.2). Dabei spielten die Tiefenlage der zu erschließenden Grundwasserleiter, die Gesteinsbeschaffenheit und die Materialverfügbarkeit für die Ausbauten eine entscheidende Rolle bei der Entwicklung des Brunnendesigns. Materialentwicklungen und hydraulische Kenntnisse zur Brunnenanströmung (→ 6.2) und zum Grundwasserfluss, die die Funktion des Brunnens in qualitativer und quantitativer Hinsicht in einem hydrogeologischen Grundwasserleitersystem beschreiben konnten, unterstützten die Designentwicklungen, deren Grundprinzipien sich aus der Hydrogeologie heraus entwickelten und im DVGW-Regelwerk Eingang gefunden haben.

Die Durchmesser eines Bohrbrunnens fallen je nach Aufgabe des Fassungsbauwerkes unterschiedlich aus. Wird der Brunnen im standfesten Gestein (Festgestein) niedergebracht, werden meist Bohrdurchmesser von ca. 300 bis ca. 600 mm und Filterrohrdurchmesser von ca. 150 bis ca. 400 mm geplant. In den geologisch jüngeren Formationen aus Locker-



Bild 3.19: Vakuumbrunnenreihe für die Wasserhaltung einer Baugrube (Foto: C. Treskatis)



Bild 3.20: Polderbrunnen auf der Luftseite des Rheindeiches am Niederrhein (Foto: C. Treskatis)

gesteinen, in denen Kiese und Sande mit ihren oft großen Ergiebigkeiten erschlossen werden können, sind bei mittleren Tiefen bis ca. 300 m Bohrdurchmesser von ca. 600 bis ca. 1.200 mm und mehr durchaus üblich und dementsprechend Filterrohrdurchmesser von ca. 400 bis 800 mm anzutreffen.

Die genannten Durchmesser beziehen sich auf Versorgungsbrunnen mit vergleichsweise großen Leistungen (Bild 3.21). Für geringeren Bedarf und Wasserandrang werden Bohrbrunnen in kleineren Abmessungen hergestellt (Bild 3.22). Der Bohrbrunnen erschließt – im Gegensatz zum Schachtbrunnen – in jedem Fall das Wasser eines Grundwasserstromes,



Bild 3.21: Axialer Blick in einen großkalibrigen Brunnen für die Wasserversorgung eines Zweckverbandes (ausgestattet mit zwei Pumpen)
(Foto: C. Treskatis)



Bild 3.22: Kleinkalibriger Brunnen für eine Wassergenossenschaft (Foto: C. Treskatis)

wie er in einiger Tiefe und entsprechender Ausdehnung im Untergrund fließt. Sieht man von Aquiferen in Flusstälern ab, werden langfristig nutzbare Grundwasservorkommen von ausreichender Wasserhöffigkeit immer erst in gewisser Tiefe in Funktion des Hohlraumgefüges und der Hohlraumvernetzung (Klüfte, Poren und Karsthohlräume) anzutreffen sein (→ 6.1.5).

3.3.2 Entwicklungen in der Gestaltung des Bohrbrunnens

Das Design von Bohrbrunnen hat sich in den letzten Jahrzehnten nur unwesentlich geändert. Die spezifische Wassermenge, die mit einem Brunnen gewonnen werden kann, wird auch heute noch überwiegend durch die hydraulischen und hydrogeologischen Eigenschaften des Grundwasserleiters und bohrtechnischen Einflüsse (Skineffekt, Kolmation der Bohrlochwand durch Spülungsreste usw.) bestimmt. Viele Ausbildungen des Bohrbrunnens (Bild 3.23) sind der technischen Entwicklung zum Opfer gefallen, konnten sich aus wirtschaftlichen Gründen nicht durchsetzen oder wurden durch weiterführende Entwicklungen bei Materialien und Ausbautechniken abgelöst (Treskatis 2012b). Auch heute werden an Bohrbrunnen Ausführungsdetails „neu“ erfunden, weiterentwickelt, diskutiert oder wieder fallen gelassen. Hierzu zählt z.B. die Diskussion um die einfache und doppelte Kiesschüttung und die Wirkung von Grenzflächen zwischen dem Bohrloch und dem Gebirge bei der Brunnenentwicklung und Regenerierung (Houben & Treskatis 2012, 2020).

Die lokale Struktur der Wassergewinnung, deren Standortabhängigkeit und das im Vergleich zur Wasseraufbereitung und Verteilung geringe Budget für den Neubau und die Instandhaltung von Brunnen förderten individuelle Gestaltungsfreiräume beim Brunnendesign. Entwicklungen, Anschauungsunterschiede oder Neuerungen im Brunnendesign, in der Brunneninstandhaltung oder bei der Brunnenregenerierung werden immer noch lebhaft, oft auch emotional diskutiert, als „Innovation“ in den Himmel gehoben, verteidigt oder durch Lobbyarbeit herabgewürdigt, so dass die Diskussion der essentiellen

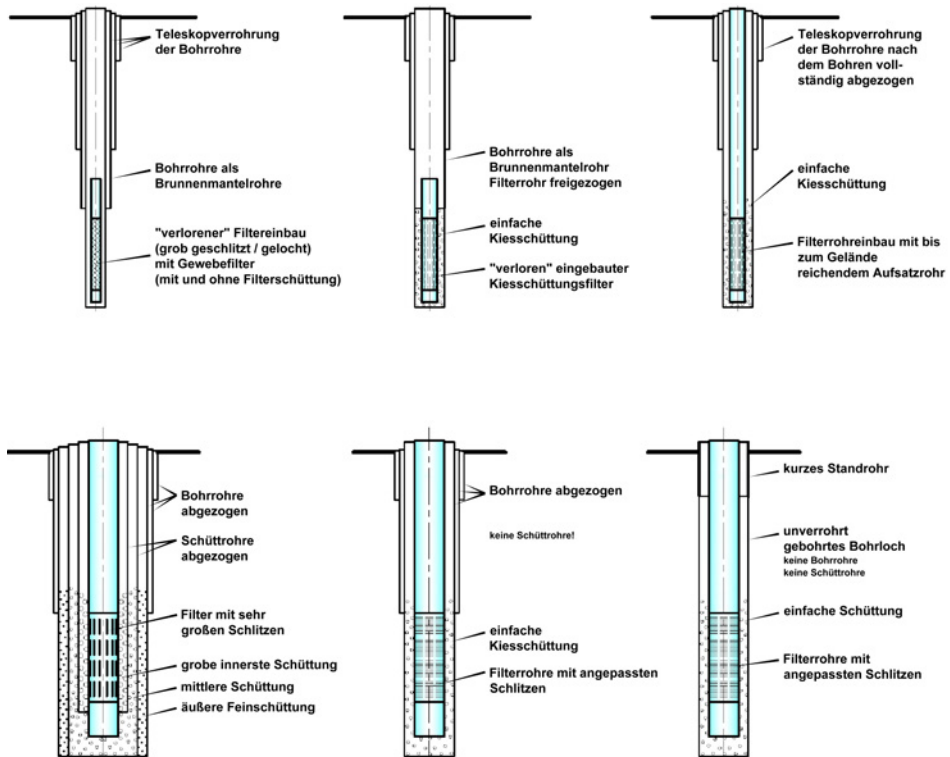


Bild 3.23: Technische Entwicklungsschritte des Bohrbrunnens bis zum Kiesschüttungsbrunnen. Aus: Bieske (1983b).

Detailfragen zur Brunnenbemessung, zum Brunnenausbau, Brunnenentwicklung oder zur Brunnenregenerierung dem Außenstehenden oftmals wie „Glaubensfragen“ vorzukommen. Ein „guter“ Bohrbrunnen ist aber von den unveränderlichen naturgegebenen Faktoren und von den damit verbundenen individuellen Anforderungsprofilen abhängig. Diese lassen sich nicht in ein einheitliches Schema pressen, das allgemeingültig auf alle geologischen Standortsituationen oder Bauwerke übertragen werden kann. Daher sind Brunnen auch in größeren Brunnengalerien immer individuell zu planen, zu bewirtschaften und instandzuhalten.

Standortspezifisch hängt die einem Einzelbrunnen zuströmende Wassermenge ausschließlich von der Durchlässigkeit des Grundwasserleiters ab, die wiederum vom unterirdischen Hohlraumgefüge und dessen räumlicher Vernetzung beeinflusst wird. Bei Mehrbrunnenanlagen ist der Abstand der Brunnen untereinander eine zusätzliche Einflussgröße auf die individuelle Ergiebigkeit. Die Brunnenplanung kann diese natürlichen Randbedingungen nicht verändern und beschränkt sich somit auf die Dimensionierung und Wahl des Schüttmaterials, der Filterrohre sowie des Durchmessers des Bohrloches und der einzubauenden Pumpe. Dabei spielt der Begriff der „hydraulischen Kette“ bei der Bemessung

des Schüttkorndurchmessers eine große Bedeutung (→ 5.6.4.3). Insgesamt machen die Durchlässigkeit des Grundwasserleiters und der bohrtechnisch beeinflussbare Skineffekt mehr als 95% der Eintrittswiderstände und damit der Brunnenergiebigkeit aus (Klauder & Treskatis 2011). Nur ca. 5% der Ergiebigkeit eines Bohrbrunnens werden durch die Wahl der Filterrohrtypen, der Schüttkornmaterialien und der Durchmesser von Bohrung und Ausbaurohren beeinflusst. Dennoch ist deren Einfluss auf die Lebenszeit und Funktion des Bohrbrunnens nicht zu unterschätzen.

Bei feinkörnigen Grundwasserleitern beeinflussen die Material- und Schüttkornwahl sowie die Methode der Brunnenentwicklung vor allem die Betriebssicherheit, die spätere Instandhaltung und die Regenerierfähigkeit des Brunnens sowie die Standzeit des Bohrbrunnens nachhaltiger im Vergleich zu grobkörnigen, sehr gut durchlässigen Grundwasserleitern. Die Auswirkungen von Bemessungsfehlern werden in feinsandigen und gemischtkörnigen, fluvio-glazialen Grundwasserleitern wesentlich stärker ergiebigkeits- und lebenszeitwirksam, als in hoch wasserdurchlässigen Karst- und Schotteraquiferen. Das Brunnendesign beschäftigt sich somit nur mit wenigen veränderlichen und technisch ausführbaren Steuergrößen, die den Brunnenbetrieb und die Ergiebigkeit zusätzlich zu den gegebenen Untergrundeigenschaften positiv oder negativ beeinflussen können (→ 5.3). Die Bohrtechnik und die handwerklichen Fähigkeiten des Brunnenbauers können im Vergleich dazu wesentlich nachhaltiger auf den Erfolg einer Brunnenbaumaßnahme wirken als z. B. die Materialwahl bei Rohren und Ringraumschüttungen

Anhand der historischen Entwicklung des Bohrbrunnens aus dem Schachtbrunnen sei dieser Einfluss verdeutlicht:

Der Schachtbrunnen begrenzte die Aufschlusstiefe und Gewinnung von größeren Volumenströmen aus dem Grundwasser erheblich. Die Herstellung war auch von wenig spezialisierten Handwerkern und Arbeitskräften machbar. Diese Brunnenbauform musste bei fallenden Wasserspiegeln immer wieder vertieft und stabilisiert werden. Bohrbrunnen ermöglichten durch größere Aufschlusstiefen und den Einbau von Pumpen in stabilisierte Bohrungen höhere Volumenströme, die Erschließung tieferer Grundwasserleiter und erforderten spezialisierte und gut ausgebildete Arbeitskräfte und Geräte. In der historischen Entwicklung des Bohrbrunnens wurden zunächst Gewebefilter eingesetzt, die aus grob geschlitzten Rohren mit einer feinen Gewebeummantelung bestanden. Rasch bemerkte man, dass die feinmaschige Gewebeummantelung eher zu einer Filtration mit anschließender leistungsmindernder Kolmation führte, so dass sich daraus der heute noch gebräuchliche Kiesschüttungsbrunnen entwickelte (→ Bild 3.23). Früh erkannte man daher, dass man mit der Passage eines gewissen Anteils von mobilisierbaren Partikeln aus dem Grundwasserleiter in den Brunnen, also durch eine hydraulisch sinnvolle „Bemessung“ der Ringraumschüttung, eine anschließende hydraulische Entwicklung, früher auch ausschließlich „Entsandung“ genannt, und den Betrieb des Brunnens mit regelmäßigen Regenerierungen den ursprünglichen Zielen eines „Brunnenfilters“ am nächsten kam.

Die Entwicklung bis zum heutigen Kiesschüttungsbrunnen mit einheitlicher oder differenzierter (Mehrfach-)Schüttung, mit oder ohne Sperrrohr sowie mit verlorenem oder vollständigem Filterrohrabau war vor allem von bohrtechnischen und materialtech-

nischen sowie wirtschaftlichen Entwicklungen und der Spezialisierung des Brunnenbauerhandwerks geprägt. Die Brunnenbemessung und das Brunnendesign waren in dieser Zeit mehr von bohr- und entnahmetechnischen Vorgaben des Betreibers und der Ausrüstung des Brunnenbauers als von ingenieur- oder naturwissenschaftlichen Erkenntnissen geprägt. Wichtigste Bemessungsgrundlagen waren bei Kiesschüttungsbrunnen erstmals die Abstimmung der Ausbauten auf die Kornzusammensetzung eines (Poren-)Grundwasserleiters, wobei die Grenzflächen zwischen dem Brunnenfilterrohr und der Schüttung im Ringraum sowie zur Bohrlochwand für die Brunnenenergiebigkeit, den Brunnenbetrieb und die Brunneninstandhaltung schon immer wichtige planerisch und bohrtechnisch beeinflussbare Steuerfaktoren darstellten (→ 5.3).

Die Filterrohre und die Ringraumschüttung bilden gemeinsam das hydraulische *Fassungsorgan* des Brunnens. Sie stellen eine nicht zu trennende Einheit dar und können daher nicht unabhängig voneinander geplant werden. Bei Bieske (1953, 1983a) wurde bereits auf diesen Zusammenhang verwiesen und hervorgehoben, dass die Aufgabe des Brunnenfilters und Filterkieses keineswegs eine Filtration des Wassers ist, sondern dass diese Einbauten in eine Bohrung das Wasser möglichst verlustarm und ohne Unterkorn aus dem Grundwasserleiter in die Brunnenverrohrung eintreten lassen sollen. Diese grundlegende Zielstellung hat sich heute nicht geändert und wird unter dem Begriff der „hydraulischen Kette“ in der Brunnenbemessung berücksichtigt (→ 5.6.4.3). Hinzu kamen seit den 1990er Jahren nicht nur mengenwirtschaftliche Aspekte, sondern auch betriebliche Gesichtspunkte, die den Bohrbrunnen in seiner Designentwicklung beeinflussten. Ursache waren die Veränderungen im Wasserbedarf der Versorgungsunternehmen und Industrie, wirtschaftliche Budgetbegrenzungen und der Zwang, aus wasserrechtlichen Gründen den Neubau von Brunnen in bisher ungenutzten Einzugsgebieten zugunsten der Regenerierung und Sanierung von Bestandsbrunnen einzuschränken (Treskatis 2012b). Damit wurden für das Design und die Standzeit des Bohrbrunnens der regenerierfähige Ausbau, eine nachhaltige Brunnenbemessung und -entwicklung sowie eine regelmäßige Instandhaltung bedeutsam. Seit einigen Jahren ist das Überbohren von defekten und nicht mehr regenerierfähigen Altausbauten eine bewährte Methode zur Sanierung von Brunnen und wichtiger Bestandteil einer vor allem wasserrechtlich und schutzzonentechnisch motivierten Standorterhaltung von Einzelbrunnen (→ DVGW W 135, → Houben & Treskatis 2020).

3.3.3 Heutige Anforderungsprofile an Bohrbrunnen

In der Entwicklungsgeschichte des Kiesschüttungsbrunnens wurden für die Ausbaumaterialien und die Herstellphasen eines Bohrbrunnens vom Bohren bis zur Abnahme Anforderungsprofile erarbeitet und in Regelwerke und Normen umgesetzt (Bild 3.24). Dabei wurden Brunnen nach ihrer Funktion und Bedeutung in Trinkwasser- und Betriebswasserbrunnen unterschieden. Das Funktionsprinzip sowie die Aufgabenstellung an die Brunnenbemessung und das Brunnendesign haben sich seitdem nicht wesentlich geändert, auch wenn Brunnen heute je nach Standort und Betreiber individuell in unterschiedlicher Weise betrieben und genutzt werden. Folgende prinzipielle Anforderungen werden heute an einen Bohrbrunnen gestellt, die in den verschiedenen Arbeitsblättern des DVGW-Regelwerks „Wasser“ verankert und unabhängig von einer individuellen Betreiberphilosophie gelten sollen:

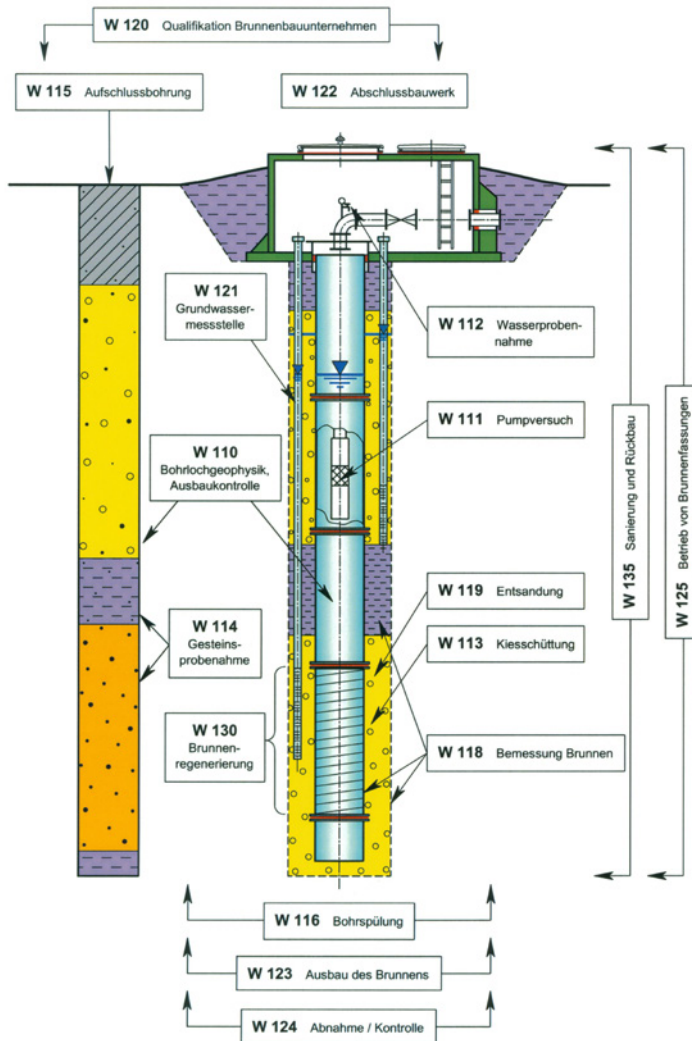


Bild 3.24: DVGW-Regeln für jede Designkomponente an Bohrbrunnen. Aus Treskatis (2012b).

- Filterrohre und Ringraumschüttungen müssen einen sandfreien Wasserzutritt ermöglichen.
- Geringe Eintrittswiderstände beim Übergang des Grundwassers aus dem Grundwasserleiter in die Bohrung.
- Materialien in Brunnenbohrungen müssen korrosionsbeständig und trinkwasserhygienisch einwandfrei sein.

- Der Ausbau des Brunnens muss einen sicheren und wirtschaftlichen Brunnenbetrieb erlauben (Einbaubarkeit der Brunnenpumpe, Durchmesserstabilität, keine wesentliche Abweichung von der Lotrechten usw.).
- Der Brunnenausbau muss mechanisch stabil bemessen werden (gegenüber dynamischen und statischen Belastungen der Rohre und Rohrverbindungen beim Ausbau der Bohrung und bei Betrieb des Brunnens).
- Die Brunnenrohre, die Rohrverbindungen und der nicht der Wasserförderung dienende Teil des Ringraums über dem genutzten Grundwasserleiter müssen dicht gegenüber Fremdwasserzutritten sein.
- Der komplette hydraulisch wirksame Ausbau einer Brunnenbohrung muss regenerierungsfähig und sanierungsfähig sein.
- Die Rückbaubarkeit des Brunnens muss schadlos für Natur und Umwelt gewährleistet werden.

Die hydraulische Funktion und Leistungsfähigkeit eines Bohrbrunnens wird nicht nur von den Ausbaumaterialien sondern auch vom Wasserandrang aus dem Grundwasserleiter und durch die Herstellung der Bohrung beeinflusst. Dazu gehören z.B. die Wahl des Bohrverfahrens, der sinnvolle Einsatz von Bohrsuspensionen und eines geeigneten Entwicklungsverfahrens und nicht zuletzt die handwerklichen Fähigkeiten des Brunnenbauers. Eine Reduzierung der Anforderungsprofile an einen Bohrbrunnen auf die Materialfrage allein ist im Gegensatz zu den in der Vergangenheit diskutierten rein mengenwirtschaftlichen Ansätzen nicht zielführend, da sich die Handlungsstränge bei der Brunnenplanung und beim Brunnendesign nicht mehr ohne Weiteres trennen lassen. Sie erfordern daher eine gesamtheitliche Vorgehensweise beim Design und bei der Diskussion, was eigentlich einen „guten“ Bohrbrunnen ausmacht (Treskatis 2012b).

In der Tabelle 3.1 sind einige immer wieder aktuell diskutierte Fragen zum Brunnendesign zusammengestellt worden. Die Aufzählung ist ohne Wertung oder weitere Kommentierung zu lesen, da sie klarmacht, dass es für jeden Designansatz oder „Änderung“ oder „Abweichung“ vom Regelwerk gute Gründe dafür oder dagegen gibt.

Bohrbrunnen sind trotz ihrer sehr weiten Verbreitung im Gegensatz zu Reihenhäusern oder baugleichen Hochbauten keine „Reihenbauwerke“ mit immer gleichen hydraulischen, geohydrologischen und hydrochemischen Randbedingungen. Die standörtlichen und betrieblichen Eigenschaften und Erfordernisse können mit Hilfe der heutigen Bautechniken und Materialien sowie den bewährten Methoden bei der Bemessung und Herstellung von Bohrbrunnen besonders gut berücksichtigt werden, erfordern aber eine dezidierte Auseinandersetzung mit der Individualität jedes einzelnen Fassungsbauwerkes.

Tabelle 3.1: Aktuelle Diskussionsgegenstände für unterschiedliche Details beim Brunnendesign

Gegenstand der Diskussion	Pro	Contra
Doppelte oder einfache Kiesschüttung?	Schaffung eines zusätzlichen präferenziellen Fließweges entlang der Filterstrecke; Vergleichmäßigung der Filteranströmung.	Zusätzliche Grenzfläche, die eine effiziente Entwicklung der äußeren Schüttung und der Bohraureole durch den hohen Durchlässigkeitskontrast zwischen den Schüttungen und dem Gebirge erschwert.
Filterkies oder Glaskugeln?	Verockerungsvorgänge können unter gewissen Randbedingungen bei Glaskugeln durch die geringere innere Oberfläche und den gleichmäßigeren Nutzporenraum verzögert werden; Filterkiese haben oft hohe Unterkornanteile und bei den feinen Körnungen eine geringere hydraulische Durchlässigkeit und Nutzporosität im Vergleich zu Glaskugeln.	Hohe Kosten der Glaskugeln im Vergleich zum Filterkies; keine differenzierte Schüttung bei Glaskugeln zu empfehlen; Vermischungsgefahr mit der Überschüttung bei einer zu hohen hydraulischen und energetischen Beanspruchung der Ringraummedien z.B. bei der Brunnenentwicklung und Regenerierung.
Entwicklungstechnik mit oder ohne Impulseintrag?	Schaffung von kurzzeitig wirksamen intergranularen Wegsamkeiten in der Schüttung und an der Bohrlochwand durch den Impulseintrag; Entwicklung eines graduellen hydraulischen Übergangs von der Bohraureole zum Filterkies möglich (abhängig von der Ringraumstärke und den standörtlichen Zuflussrandbedingungen).	Bei mechanisch instabilen Ausbauten und geringen Ungleichförmigkeitsgraden des anstehenden Sedimentes nicht zu empfehlen (Setzungsgefahr durch Mobilisierung des gesamten Kornspektrums, Gefahr dynamischer Druckstöße beim Anfahren der Pumpe, Gefahr der inneren Kolmation und damit Reduktion der spezifischen Ergiebigkeit und damit Verkürzung der Standzeiten des Bohrbrunnens).
Regeneriertechniken mit/ohne Chemieunterstützung?	Entfernung von mechanisch nicht lösbaren oder erreichbaren Ablagerungen.	Behördlicher Genehmigungsbedarf; unsachgemäße Anwendung kann Korrosion oder mikrobiologische Probleme erzeugen.
Sumpfrohr ja oder nein?	Wegfall der Unterschüttung und einer Zone, die für Entsandungs- und Entwicklungsarbeiten nicht mehr erreichbar ist.	Bei Wegfall des Sumpfrohrs besteht bei der Entwicklung und Regenerierung das Problem, dass der untere Filterabschnitt nicht ausreichend bearbeitet werden kann.
Einschubverrohungen bei der Brunnensanierung?	Rasche und preisgünstige Variante zur Stabilisierung mechanisch defekter Ausbauten.	Entwicklung und Regenerierung der Schüttung hinter dem UrsprungsfILTER nicht mehr möglich.

Gegenstand der Diskussion	Pro	Contra
Einbau eines Peilrohres in die Ringraumsschüttung?	Messung des Eintrittswiderstandes nach DVGW W 130 möglich	Einbaubarkeit des Peilrohrs bei „schlanken“ Brunnen nicht möglich; Verdrillungsgefahr beim Ablassen des Rohrstranges; Undichtigkeiten im Rohrstrang; nicht ohne zusätzliche Aufwendungen instandzuhalten – dadurch werden Messwerte aus Peilrohren anzweifelbar
Neubau oder Überbohrung von Altbrunnen?	Durch den Neubau werden der Bohr- und Ausbaudurchmesser frei wählbar und unkalkulierbare bohrtechnische Risiken beim Überbohren vermieden.	Ein Neubau ist in der Brunnensanierung immer mit dem Rückbau des Altbrunnens verbunden, die Aufwendungen und Kosten wie ein weiterer Neubau erzeugen kann.
Größerer Bohrdurchmesser als beim Altbrunnen?	Nach Regelwerk ist der Überbohrdurchmesser größer als der Durchmesser des Altbrunnens anzusetzen; dadurch werden Ablagerungen an der Bohrlochwand (Skin) entfernt.	Mit größer werdendem Bohrdurchmesser muss der Ausbaudurchmesser mit „wachsen“, um eine Entwicklung des Brunnens zu ermöglichen (unwirtschaftlich, erhöhte Aufwendungen für die Brunnenentwicklung).

3.4 Sickerrohrleitungen

3.4.1 Sickerrohrleitungen im Lockergestein

Zur Erschließung sehr flach anstehender, sählig liegender und nur gering mächtiger, aber genügend ausgedehnter wasserführender geologischer Schichten dienen horizontale Sickerrohrleitungen (Bild 3.25), die sich ursprünglich aus offenen Sickergräben und den Quelfassungssträngen (Treskatis & Tauchmann 2013, 2018) entwickelt haben. Diese Art der Wassergewinnung über mit Pumpen bewirtschafteten Sickerrohrleitungen unterscheidet sich in hydraulischer Hinsicht signifikant von den nicht bepumpten Dränagen oder Sickerleitungen. Die Funktion von voll- oder teilgefüllt betriebenen Dränagen ist das Aufnehmen und Ableiten des frei entwässerbaren Wassers, das sich im Nutzporenraum des oberflächennahen geologischen Untergrundes befindet. Dies kann beispielsweise zum Zweck der Bodenentwässerung in der Landwirtschaft geschehen, oder auch im Rahmen des Gebäudeschutzes in Bergsenkungsgebieten und hochwassergefährdeten Flächen.

Für die Trinkwassergewinnung werden eigenbewirtschaftete Sickerrohrleitungen vor allem in den Talauen der Flüsse, wie z.B. der Ruhr oder am Neckar betrieben. Die früher meist aus gelochtem Steinzeug, Beton, Asbestzement (Bilder 3.26 und 3.27), heute aber vor allem aus korrosionsgeschütztem Stahl oder aus Kunststoff bestehenden Sickerrohre werden in

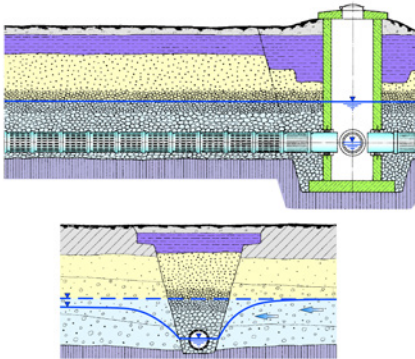


Bild 3.25: Schematische Darstellung einer Sickerrohrleitung mit Schacht



Bild 3.26: Beispiel eines Rohrstückes aus gelochtem Asbestzement, das in einer Sickerleitung im Wasserwerk Neckartailfingen eingebaut wurde (Foto: C. Treskatis)



Bild 3.27: Beispiel einer gemauerten Sickerleitung aus dem Wasserwerk Neckartailfingen (Foto: C. Treskatis)



Bild 3.28: Herstellung des Rohrgrabens zur Aufnahme der Sickerleitung am Übergang zum Schachtbauwerk (Foto: Bieske und Partner GmbH)

ca. 1 m breiten Gräben mit schwachem Gefälle zu einem oder mehreren Sammelshächten hin verlegt (Bild 3.28), dort angeschlossen und mit differenziert klassiertem, analog zum DVGW W 113 mit an den Untergrund angepassten Filterkies umschüttet (Bild 3.29). Der Endstrang kann für eine bessere Zugänglichkeit bei der Entwicklung und Regenerierung bis zur Geländeoberfläche geführt werden (Bild 3.30).

Frühere Sickerleitungen wurden oft aus Ortbetonteilen in offenen Baugruben unter Wasserhaltung zusammengesetzt. Die Sickerrohrstränge von zwei Fassungssträngen im Wasserwerk Neckartailfingen (Filderwasserversorgung) bestehen beispielsweise aus einem U-Kanal mit Betonelementen (→ Bild 3.27), die in offener Grabenbauweise auf dem Niveau einer Mergelsteinschicht an der Basis des eiszeitlichen Talschottergrundwasserleiters aufgestellt und mit Neckarkies ummantelt wurden.



Bild 3.29: Anschluss der Sickerrohrleitung (Schlitzbrückenfilter) und teilweise Einkiesung mit Filterkies (Foto: Bieske und Partner GmbH)



Bild 3.30: Einführung der Entwicklungsgarnitur in den übertägigen Anschluss an die Sickerrohrleitung (Foto: Bieske und Partner GmbH)

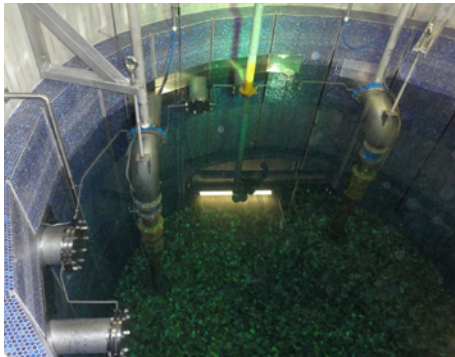


Bild 3.31: Pumpen im zentralen Sammel schacht der Sickerrohranlage im Wasserwerk Neckartailfingen (Foto: C. Treskatis)



Bild 3.32: Pumpensitze im Zwischenpumpwerk am Ende einer Sickerrohrleitung im Wasserwerk Neckartailfingen (Foto: C. Treskatis)

Aus hydrogeologischen Gründen wurden vielfach auch marktübliche Brunnenfilterrohre aus (Guss-)Stahl, Steinzeug oder später auch aus PVC ($\rightarrow$ 5.5) verwendet, die auf dem ganzen Rohrumfang durchlässig ausgebildet sind. Der untere halbe Umfang, der hierbei wie der obere mit Schlitzzen oder Löchern versehen ist, verursacht allerdings gegenüber dem abfließenden Wasser im Rohr eine größere Reibung, die durch stärkeres Gefälle ausgeglichen werden muss.

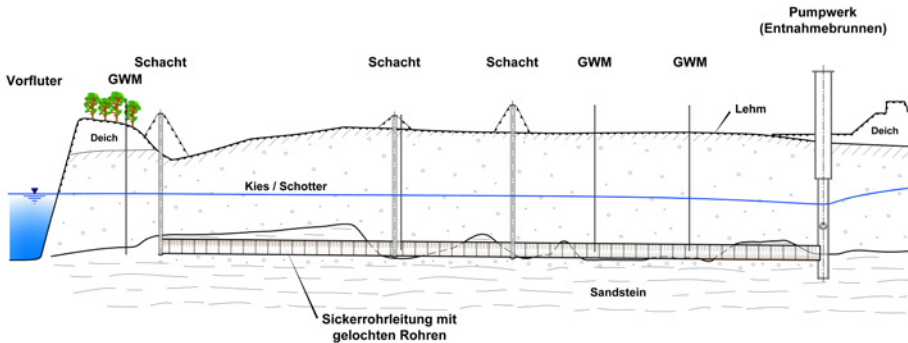


Bild 3.33: Schnitt durch die Sickerrohrleitungsanlage im Wasserwerk Neckartailfingen. Nach Unterlagen der Filderwasserversorgung.

Die Gräben werden nach ihrer Auffüllung durch eine seitlich über den Rohrgraben auskragende Tonlage oder einen Lettenschlag (Lehmabdichtung) gegen Verunreinigung von der Oberfläche her geschützt. Außer dem Sammelschacht (Bild 3.31) werden bei sehr langen Sickerrohrleitungen im Abstand von ca. 50 bis 80 m und an den End- und Knickpunkten Zwischenschächte zur gezielten Bewirtschaftung von Einzelhaltungen oder Einzelsträngen (Bild 3.32), zur Beobachtung der Wasserstände, Probennahme und zum Reinigen der Sickerrohre angelegt. Damit gleichen diese Anlagen hydraulisch und im Aufbau den in Treskatis & Tauchmann (2020) beschriebenen Quellengalerien, die jedoch meist nicht mit Pumpen sondern mittels Freispiegelsystemen bewirtschaftet werden.

Für Einzelversorgungen waren Sickerrohre von 200 bis 400 mm Durchmesser, für Großversorgungen von 500 bis 800 mm Durchmesser gebräuchlich. Die Sickerrohre wurden in durchschnittlich 4 bis 5 m Tiefe dort angeordnet, wo die Sohle der wasserführenden Schicht am tiefsten liegt. Das Bild 3.33 zeigt beispielhaft die hydrogeologische Situation und die Lageposition einer Sickerleitung in einem Flusstal in Süddeutschland.

Die Ergiebigkeit von Sickerrohrsträngen ist von den örtlichen hydrogeologischen Verhältnissen abhängig; sie kann erheblichen Schwankungen unterliegen und in Trockenzeiten sehr zurückgehen. Daher werden Sickerrohrleitungen heute vor allem noch in Wassergewinnungsanlagen in fluvialen Grundwasserleitern kombiniert mit künstlicher Grundwasseranreicherung über offene Anreicherungsbecken oder Sickerschlitzgräben betrieben. Das Bild 3.34 zeigt beispielhaft den Lageplan einer solchen Sickerrohrfassung mit Anreicherungsbecken am Neckar.

Bedenken in hygienischer Hinsicht sind bei dieser Fassungsart nicht von der Hand zu weisen. Auch wenn die landwirtschaftliche Düngung im Fassungsgebiet verboten ist, muss die Sickerrohrleitung – allein wegen des geringen Flurabstandes – als Grundwasserfassung hygienisch immer als gefährdet, zumindest aber als anfällig angesehen werden, sofern sie nicht in voller Längsstrecke von ausreichend mächtigen, schwer wasserdurchlässigen Deckschichten überlagert wird und eine Überflutung durch Oberflächengewässer ausgeschlossen ist (z.B. durch Eindeichung). Abdichtende Maßnahmen sind bei ihrem



Bild 3.34: Schematischer Lageplan der Sickerrohrleitungen und Anreicherungsanlagen im Wasserwerk Neckartailfingen. Nach Unterlagen der Filderwasserversorgung.

Bau mit besonderer Sorgfalt auszuführen. Ebenso ist eine Aufbereitung des Rohwassers aus oberflächennahen Sickerleitungen, die mit künstlich angereichertem Grundwasser bewirtschaftet werden oder einem Oberflächenwassereinfluss ausgesetzt sind, z.B. mittels Membranverfahren, anzuraten.

Ein Vergleich von Sickerrohranlagen mit Bohrbrunnen im Hinblick auf die Ergiebigkeit ist wegen der stark unterschiedlichen hydrogeologischen Gegebenheiten in der Praxis kaum möglich.

3.4.2 Sickerrohrleitungen im Festgestein

Im Festgestein wurden im letzten Jahrhundert vielfach bergmännisch erstellte, oft begehbare Sickerstollen zur Wassergewinnung betrieben. Diese Fassungsstollen gleichen im Bau und Gestaltung vielfach den Quelfassungsstollen, die bei Treskatis & Tauchmann (2013, 2020) beschrieben sind. Stollenfassungen (französisch „mine d'eau“ oder „toure“) funktionieren hydraulisch wie ein Horizontalbrunnen und werden nur im standfesten Gebirge zur Fassung von Schichtquellen gebaut. Dazu werden analog zur

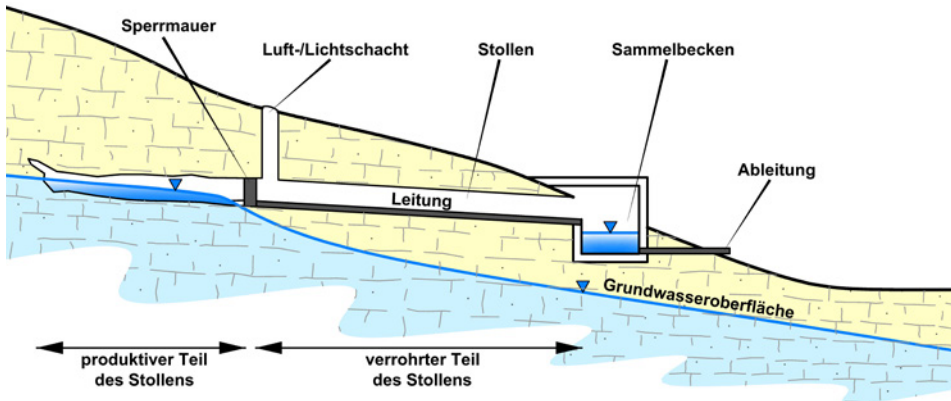


Bild 3.35: Schematischer Schnitt durch eine Stollenfassung im geklüfteten Festgestein. Aus Treskatis & Tauchmann (2013).

Anlage eines Schurfes bergmännisch Stollen über dem Stauer in den wasserführenden Fels vorgetrieben (Bild 3.35). Der Vortrieb erfolgt mit leichter Steigung in den Fels (Bild 3.36), damit das Grundwasser nach Fertigstellung des Stollens im Freispiegel möglichst widerstandsarm in einen Schacht oder in einen Behälter abgeleitet werden kann (Bild 3.37). Dadurch wurde bei günstigen topographischen Verhältnissen der Einsatz von Pumpen überflüssig, wenn z.B. der Behälter oder der Verbraucher geodätisch unterhalb der Fassung angesiedelt ist.



Bild 3.36: Blick in einen Fassungstollen in devonischen Diabasen, der zur Trinkwasserversorgung genutzt wird (Foto: C. Treskatis)



Bild 3.37: Abgehende Leitungen aus dem Fassungsbereich eines Trinkwasserstollens zum Sammelbehälter (Foto: C. Treskatis)

Bei längeren Stollen wurden z.B. im Süden Frankreichs oft zusätzlich vertikale Schächte (sogenannte „puits“) abgeteuft, um eine Bewetterung des Stollens für die Mineure zu ermöglichen und um darüber das gebrochene Material nach Übertage zu fördern. Diese Bauform erinnert an die antiken Qanate, die weite Verbreitung im heutigen Iran, auf der Arabischen Halbinsel aber auch im südlichen Europa gefunden hatten.

Mit Pumpen bewirtschaftete Fassungsstollen und Sickergalerien werden aus wirtschaftlichen Gründen heute nicht mehr neu gebaut.

3.5 Horizontalfilterbrunnen

3.5.1 Allgemeines

Horizontalfilterbrunnen (HFB) sind Wassergewinnungsanlagen, die ihr Wasser mit mehreren von einem Schacht sternförmig nach allen Seiten ausgehenden, horizontal gelagerten Fassungssträngen (Filterrohrsträngen) dem Grundwasserleiter entnehmen (Bild 3.38). Der hydrostatische Druck des Grundwassers ermöglicht den Eintritt des Wassers durch die horizontalen Filterrohre in den Sammelschacht. Dort wird das Grundwasser durch Unterwassermotorpumpen entnommen (Bilder 3.39 und 3.40). Die Filterrohre sind über Schieber einzeln bewirtschaftbar (Bilder 3.41 und 3.42). Über die geöffneten Schieber können die Stränge eines Horizontalfilterbrunnens mittels Kamera oder Sonden der Bohrlochgeophysik einzeln befahren werden (Bild 3.44). Hierzu ist in der Regel ein Tauchereinsatz erforderlich (Bild 3.43).

Ein wesentlicher Vorteil der sternförmigen Horizontalfilterbrunnen ist die Erschließung flachgründiger, sölilig lagernder Grundwasserleiter mit geringen wassererfüllten Mächtigkeiten und die Fassung von sehr ergiebigen Grundwasserleitern über nur ein Fassungsorgan. Die Absenkung der Grundwasseroberfläche ist am HFB im Vergleich zu den eingetieften Einzeltrichtern von vertikalen Bohrbrunnen in ihrem Betrag geringer. Dagegen ist der flache „Absenkungsteller“ weiträumiger wirksam.

Die natürliche Überdeckung des Grundwasserleiters über den Fassungssträngen wird bei einem sternförmigen HFB nicht zerstört bzw. muss nicht nachträglich abgedichtet werden. Es wird bei der Herstellung eines HFB nur eine Perforation und Wiederherstellung der Deckschichten an der Schachtwandung, z.B. mittels Injektionsbohrungen und deren Verpressung mit Abdichtungssuspensionen, erforderlich. Dadurch bleibt die Reinigungswirkung des natürlichen, geogen abgelagerten Sedimentes, im Gegensatz zu einer längeren Vertikalbrunnenreihe oder einem Großvertikalfilterbrunnen aus sternförmig angeordneten, überschrittenen Kiesbohrungen und einer Zentralbohrung (auch *INGERLE*-Brunnen genannt, Merkl 2007), flächig erhalten. Die hygienische Sicherheit des Brunnenstandortes wird so im Vergleich zu Mehrbrunnenreihen verbessert.

Weitere hydraulische und wirtschaftliche Vorteile des Horizontalfilterbrunnens können im Einzelfall sein:

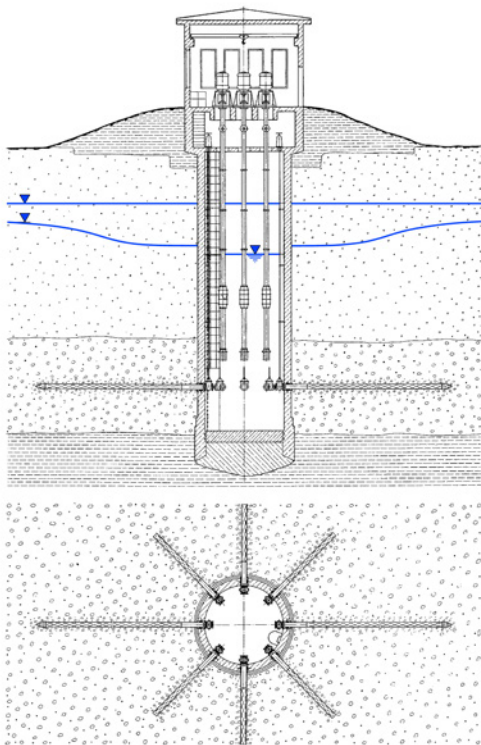


Bild 3.38: Schematische Darstellung eines sternförmigen Horizontalfilterbrunnens (HFB). Aus Bieske et al. (1998).



Bild 3.39: Blick in den Zentralschacht eines Horizontalfilterbrunnens (Foto: C. Treskatis)



Bild 3.40: Brunnenkopf eines Horizontalfilterbrunnens mit 3 Pumpensitzen (Foto: C. Treskatis)



Bild 3.41: Schiebergehäuse mit Zugang zu einem der sternförmig vom Zentralschacht abgehenden Fassungsstränge eines Horizontalfilterbrunnens (Foto: Wasserversorgung Zürich)

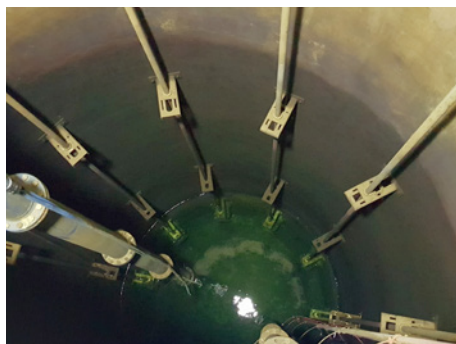


Bild 3.42: Anordnung der vom Abschlussbauwerk aus bedienbaren Schiebergestänge in einem sternförmigen HFB (Foto: C. Treskatis)



Bild 3.43: Tauchereinsatz im Zentralschacht eines Horizontalfilterbrunnens (Foto aus: Treskatis & Betschart 2012)



Bild 3.44: Einführung einer Kamera auf einem Raupenfahrzeug in einen Fassungsstrang eines Horizontalfilterbrunnens (Foto: Wasserversorgung Zürich)

- permanente Wasserüberdeckung der Filterrohrstränge auch bei Volllast und günstiger hydraulischer Anströmung über die gesamte verfilterte Stranglänge (abhängig von der Durchlässigkeit des anstehenden Gesteins),
- Gewinnung größerer Wassermengen an einem Standort (ebenfalls abhängig von der Durchlässigkeit des anstehenden Gesteins),
- weniger Flächenbedarf für das Abschlussbauwerk und die Schutzzone I (Bemessungsgrundlage: Stranglänge zzgl. 10 bis 20 m im Radius je nach Grundwasserüberdeckung) im Vergleich zu einer äquivalenten Vertikalbrunnenreihe,

- wirtschaftlicherer Betrieb und Wartung bei nur einer Betriebsstätte im Vergleich zur Bohrbrunnenreihe (**Aber:** bei Regenerierarbeiten müssen Redundanzen zur Sicherstellung der Wassergewinnung, wie z.B. ein Zweitbrunnen oder Verbund mit benachbarten Versorgungsunternehmen, vorhanden sein, da bei Arbeiten im Brunnen dieser aus hygienischen Gründen außer Betrieb genommen werden muss).

3.5.2 Herstellungsverfahren für die Stränge

Die horizontalen Bohrungen, die sternförmig oder fächerartig (Bild 3.45) vom Zentralschacht in den wasserführenden Untergrund vorgetrieben werden, haben die Aufgabe, die Filterrohre für die Entnahme des Grundwassers aufzunehmen. Das Vortreiben der Bohrungen erfolgt entweder durch die Wand des Zentralschachtes oder durch eine Bohrpfahlwand (Bild 3.46), die zuvor mit Kernbohrungen für die Strangdurchführungen geöffnet werden muss. Bild 3.47 enthält eine Übersicht über die Herstellungs- und Bauformen der bisher entwickelten Horizontalfilterbrunnen in ihrer ursprünglichen Form und in ihren Sondertypen (Bieske 1959). Von diesen hat sich in Deutschland nur der *Preussag-Kiesmantel-Horizontalfilterbrunnen* durchsetzen können; alle übrigen Bauformen sind bei Neubauten mehr oder weniger bedeutungslos geworden.

Es werden in der Horizontalbohrtechnik für sternförmige oder lineare Stranganordnungen folgende Press- oder Verdrängerbohrverfahren unterschieden (→ Bild 3.47):

- Ungesteuertes Pressbohrverfahren nach *Ranney*, das heute aufgrund der geringen Anpassungsmöglichkeiten der dazu notwendigen starkwandigen Bohr-Filterrohre an den Untergrund keine generelle Anwendung mehr findet. Bei diesem Verfahren wurden die Filterrohre als Vortriebsrohre verwendet. Der Aufbau einer autostabilen Stützfilterkornschicht um die Filterrohre erforderte eine genaue Abstimmung der Schlitzweite auf das anstehende Sediment. Dazu waren engmaschig angeordnete Aufschlussbohrungen



Bild 3.45: Blick in einen Horizontalfilterbrunnen-Zentralschacht aus überschrittenen Bohrpfählen und fächerartiger Anordnung der abgehenden Fassungsstränge (Foto: C. Treskatis)



Bild 3.46: Pressbohranlage beim Strangvortrieb im Zentralschacht eines Horizontalfilterbrunnens (Foto: C. Treskatis)