

Fachsektion Hydrogeologie e.V.

in der DGGV e.V.

Schriftenreihe Heft 4, 2023

Arbeitskreis Grubenwasser der FH-DGGV

Praxisleitfaden Grubenwasser Teil 1: Beprobung und Vor-Ort-Untersuchung



Fachsektion Hydrogeologie e. V.

in der DGGV e. V.

Schriftenreihe Heft 4, 2023

Praxisleitfaden Grubenwasser Teil 1: Beprobung und Vor-Ort-Untersuchung

Arbeitskreis Grubenwasser der FH-DGGV:

Diana Burghardt

Wilhelm G. Coldewey

Christian Melchers

Johannes Meßer

Michael Paul

Thomas Walter

Dominik Wesche

Sebastian Westermann

Georg Wieber

Christian Wolkersdorfer

Schriftenreihe der FH-DGGV, Heft 4

Herausgeber: Fachsektion Hydrogeologie e. V. in der DGGV e. V.
Emmy-Noether-Str. 17, 76131 Karlsruhe
www.fh-dggv.de

Redaktion: Maike Rüsgen
Layout: FH-DGGV e. V.
Druck: Druckerei Birghan, Neustadt/Wstr.
ISBN: 978-3-926775-78-8

Haftungsausschluss

Die Inhalte dieser Schrift dienen der fachlichen Information, Bildung und Weiterbildung. Diese Schrift ist das Produkt ehrenamtlicher Tätigkeit und wurde mit größtmöglicher Sorgfalt erstellt. Die FH-DGGV übernimmt keine Gewährleistung für die Richtigkeit der Inhalte. Jegliche Haftung für Folgen aus der Anwendung dieser Schrift wird ausgeschlossen. Durch die Anwendung entzieht sich niemand der Verantwortung für eigenes Handeln im konkreten Fall.

Umschlagabbildungen von Diana Burghardt (Aufnahmedatum 2018): Abschlag des Roten Grabens in Freiberg (obere Reihe), Reiche-Empfängnis-Stolln in Annaberg-Buchholz (u.l.), Tiefer Wolf-Stolln in Siebenlehn (u. r.).

**Vorwort des
Vorsitzenden der
FH-DGGV**

Die Fachsektion Hydrogeologie (FH) in der Deutschen Geologischen Gesellschaft – Geologische Vereinigung (DGGV) lebt von den Ideen, Initiativen und Aktivitäten ihrer rund 1200 Mitglieder aus der akademischen Forschung und der beruflichen Praxis. Hierbei sind insbesondere die aktuell acht ehrenamtlichen Arbeitskreise (AK) in der FH-DGGV zu nennen, die zu aktuellen und relevanten Themen der Hydrogeologie neue Methoden, Konzepte, Aktivitäten und konkrete Produkte entwickeln, beispielsweise Leitfäden, Fachbücher, Buchkapitel und sonstige Publikationen, aber auch Fortbildungskurse, Workshops und Websites.

Der seit 2015 bestehende AK Grubenwasser und dieser Praxisleitfaden Grubenwasser sind hierfür gute Beispiele. In vielen Teilen der Welt geht vom Bergbau eine erhebliche Gefahr für Mensch und Umwelt aus, insbesondere auch für die Wasserressourcen. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, Grubenwässer systematisch und mit einheitlichen Methoden zu beproben und zu charakterisieren. Hier kann der vorliegende Leitfaden einen wichtigen Beitrag leisten. Ich wünsche diesem Leitfaden daher eine weite Verbreitung und danke den Mitgliedern des Arbeitskreises für die geleistete Arbeit.

Prof. Dr. Nico Goldscheider

**Vorwort des
Arbeitskreisgründers**

Über die Probenahme von Grundwasser im Gelände gibt es umfangreiche Literatur sowie entsprechende Richtlinien. Hingegen ist die Probenahme von Grubenwasser komplex und bedarf häufig einiger Vorbereitungen sowie Ideenreichtum und Flexibilität in der Anwendung der verschiedenen Mess- und Probenahmeverfahren. Dieser Umstand ist begründet durch die geologischen, hydrogeologischen und bergbaulichen Situationen im Bereich der Probenahme. Dabei ist entsprechender Sachverstand gefragt, um eine Probe fachgerecht und repräsentativ zu entnehmen. Des Weiteren sind aufgrund der Grubenwasserqualität die materiellen Anforderungen an die Messgeräte und Probenahmegeräte zu berücksichtigen sowie die Sicherheitsrichtlinien zu beachten.

Der Arbeitskreis Grubenwasser der Fachsektion Hydrogeologie e. V. in der DGGV e. V. hat den Sachverstand seiner Mitglieder auf dem Gebiet der Probenahme von Grubenwässern in dem vorliegenden Leitfaden zusammengetragen.

Möge dieser Leitfaden dazu beitragen, die Qualität der Probenahme in der Montanhydrogeologie zu verbessern und somit repräsentative Ergebnisse hervorzubringen.

Glückauf

Prof. Dr. Wilhelm G. Coldewey

**Vorwort des
Arbeitskreissprechers**

Nach dem Glossar „Bergmännische Wasserwirtschaft“ aus dem Jahr 2017 ist der vorliegende „Praxisleitfaden Grubenwasser“ die zweite Veröffentlichung des Arbeitskreises Grubenwasser. Wie der Untertitel „Teil 1“ erkennen lässt, ist bereits ein zweiter Teil geplant. Im vorliegenden Teil 1 wird die „Beprobung und Vor-Ort-Untersuchung“ behandelt. Dabei werden konkrete Handlungsempfehlungen und Hinweise zur Thematik gegeben. Zudem dokumentiert der Praxisleitfaden die vielfältigen und langjährigen Erfahrungen der Mitglieder des AK Grubenwasser. Zudem trägt er dem Missstand Rechnung, dass bis heute keine allgemeinen Empfehlungen in der gesonderten Probenahme von Grubenwasser existieren. Derzeit setzt sich der AK Grubenwasser aus den folgenden Mitgliedern zusammen:

- Dr.-Ing. Diana Burghardt, TU Dresden
- Prof. Dr. Wilhelm Georg Coldewey, Westfälische Wilhelms-Universität Münster
- Dr. Johannes Meßer, Emscher Wassertechnik GmbH, Essen
- Prof. Dr. Christian Melchers, TH Georg Agricola, Bochum
- Dr. Michael Paul, Wismut GmbH, Chemnitz
- Dipl.-Geol. Thomas Walter, MUV Saarland, Saarbrücken
- Dr.-Ing. Dominik Wesche, Geologischer Dienst NRW (Fachbereich Hydrogeologie, Bodenschutz)
- Dr.-Ing. Sebastian Westermann, TH Georg Agricola, Bochum
- Prof. Dr. Georg Wieber, LGB Rheinland-Pfalz, Mainz
- Prof. Dr. Christian Wolkersdorfer, Tshwane University of Technology, Südafrika

Im geplanten Teil 2 des „Praxisleitfaden Grubenwasser“ soll der Schwerpunkt auf der Aus- und Bewertung von Grubenwasseranalysen liegen und dabei insbesondere die speziellen Anforderungen der hydrochemischen Beurteilung von Grubenwässern thematisieren.

Allen Mitgliedern des AK Grubenwasser gilt mein herzlicher Dank für die konstruktive und bereichernde Zusammenarbeit. Sie haben dazu beigetragen, dass mit dem „Praxisleitfaden Grubenwasser“ Teil 1 nunmehr erstmalig eine einheitliche Empfehlung zur Grubenwasserprobenahme vorliegt.

Ein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. Wilhelm G. Coldewey und Herrn Dr.-Ing. Sebastian Westermann für das Redigieren des Leitfadens. Herrn Prof. Dr. Christian Wolkersdorfer und Herrn Dr.-Ing. Dominik Wesche ist außerdem für die textliche Umsetzung gedankt.

Für den Arbeitskreis Grubenwasser

Prof. Dr. Christian Melchers

Dank

Von den folgenden, externen Fachleuten wurden Informationen aus ihren jeweiligen, speziellen Fachgebieten eingebracht:

- Dipl.-Ing. Tassilo Terwelp, ehem. Bezirksregierung Arnsberg, Abt. 6
- Michael Kirchner, ehem. Bezirksregierung Arnsberg, Abt. 6
- Dr. Bastian Reker, TH Georg Agricola, Bochum

Der Praxisleitfaden wurde durch die folgenden Fachkollegen begutachtet:

- Prof. Dr. Tobias Licha, Ruhr-Universität Bochum
- Prof. Dr. Maria-Theresia Schafmeister, Universität Greifswald

Ihnen gilt ein besonderer Dank.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	7
2	Grundlagen	9
2.1	Begriffserläuterungen	9
2.2	Gesetzliche Rahmenbedingungen	11
2.2.1	Betretungsberechtigung für die Probenahmestelle	11
2.2.2	Qualität von Grund- und Oberflächenwässern	13
3	Beprobung und Untersuchung von Grubenwässern	16
3.1	Lagebestimmung von Tagesöffnungen des Bergbaus	16
3.2	Auswahl der Probenahmestelle und deren Zugänglichkeit	20
3.3	Normen und Regelwerke für die Probenahme	22
3.4	Untersuchung von Grubenwässern	23
3.4.1	Geräte und Ausrüstung für die Probenahme und Abflussmessung	23
3.4.2	Besonderheiten bei der Probenahme in untertägigen Bergwerksanlagen	25
3.4.3	Vor-Ort-Untersuchung	27
3.4.4	Probenvolumina und Probenpräparation für die instrumentelle Analytik	33
3.4.5	Analytik weiterer Parameter	34
3.5	Empfehlungen zur Dokumentation	35
3.6	Probenbezeichnung	37
3.7	Abflussmessungen	38
4	Zusammenfassung	43
5	Quellenverzeichnis	44
5.1	Literatur	44
5.2	DIN	46
5.3	Regelwerke, Richtlinien	46
5.4	Gesetze, Verordnungen	47
6	Anhang	48
6.1	Parameterpaket	48
6.2	Beispiel einer Checkliste für die Wasserprobenahme	50

6.3	Relevante Normen und Regelwerke für die Untersuchung und Beprobung von Stollenwässern	52
6.4	Vorlage für ein Probenahmeprotokoll für Grubenwasser	56
6.5	Adressen der Bergbehörden in Deutschland.....	58
6.6	Fallbeispiele.....	59
6.6.1	Sachsen [Diana Burghardt]	59
6.6.2	Bayerische Pechkohlenmulde [Christian Wolkersdorfer]	64
6.6.3	Finnland [Christian Wolkersdorfer]	66

1 Einleitung

In vielen Gebieten Deutschlands wurde in den vergangenen Jahrhunderten intensiv Bergbau betrieben. Durch die damit einhergehende Massenverlagerung von geologischem Material hat der Mensch z. T. massiv in geodynamische Vorgänge eingegriffen und Verwitterungs-, Erosions- und Sedimentationsprozesse beschleunigt. Gleichzeitig können durch das Fördern der Rohstoffe geologische Barrieren aufgehoben werden und infolgedessen irreversible Veränderungen der Geosphäre auftreten (WIEBER 1994, WOLKERSDORFER 2008, YOUNGER et al. 2002).

Vor allem Steinkohle, Erze und Salz, aber auch Steine und Erden werden in untätigen Bergwerken abgebaut. Für den Abbaubetrieb ist mit zunehmender Teufe eine Wasserhaltung erforderlich. Nach Einstellung des Bergbaus wird die Wasserhaltung oft aufgegeben und die untätigen Hohlräume füllen sich dann mit Grund- und Grubenwasser. Dieses geschah in der Bundesrepublik Deutschland bis zur Einführung des Bundesberggesetzes (BBergG 1980) in weit zurückliegenden Zeiten häufig unkontrolliert und ohne weitergehende Qualitätsanforderungen oder Überwachung. Das Wasser steigt dabei meistens bis auf das Niveau eines Wasserlösestollens an, von wo aus es im freien Gefälle an dem häufig im Taltiefsten befindlichen Stollenmundloch über Tage austritt und entweder direkt oder nach kurzem Fließweg in den Vorfluter entwässert.

Nach heutiger Rechtslage sind zur Einleitung von Grubenwässern in die Vorfluter wasserrechtliche Erlaubnisse erforderlich (WHG 2009). Dabei sind nach Inkrafttreten der entsprechenden Regelung im Wasserhaushaltsgesetz (WHG) und Bundesberggesetz (BBergG 1980) konkrete Anforderungen an Menge und hydrochemische Beschaffenheit der einzuleitenden Wässer zum Schutz der Fließ- und Grundwässer zu beachten.

Seit Inkrafttreten der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie (EU-WRRL) sind die Mitgliedsstaaten verpflichtet, den ökologischen und chemischen Zustand ihrer Gewässer zu erfassen und zu beurteilen (EU-WRRL 2000/60/EU; UMWELTBUNDESAMT 2006). Für die Überwachung und Beurteilung der Qualität der oberirdischen Gewässer und Grundwässer sind in Deutschland die jeweiligen Bundesländer zuständig. Im Rahmen der hierzu erforderlichen Untersuchungen können zur Beurteilung potenzieller Belastungen zusätzliche Anforderungen im Rahmen von Monitoringprogrammen erforderlich werden. Dabei erfolgen die Festlegungen der zu überwachenden Parameter in der Regel auf Grundlage bergbehördlicher Betriebsplanzulassungen.

In Nordrhein-Westfalen beispielsweise wurde zwischen dem Ministerium für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen (MWIDE), dem Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MULNV) und der RAG Aktiengesellschaft (RAG) die Errichtung

und Durchführung eines integralen Monitorings für den Grubenwasseranstieg in NRW vereinbart. Dieses soll in regelmäßigen Abständen mit den am Monitoring Beteiligten ggf. weiterentwickelt und angepasst werden kann (BEZIRKSREGIERUNG ARNSBERG 2020). Gleiches ist für den Grubenwasseranstieg im Saarland geplant.

Ziel dieses Leitfadens ist es, Erfahrungen aus der Praxis zu bündeln und Empfehlungen für Geländeuntersuchungen von Grubenwässern hinsichtlich der Quantität und Qualität zusammenzustellen. Dadurch soll die Vergleichbarkeit von Messergebnissen sichergestellt werden.

2 Grundlagen

2.1 Begriffserläuterungen

Nachfolgend sind einige wichtige bergmännische sowie hydrometrische Begriffe erläutert, die in diesem Praxisleitfaden verwendet werden.

Bergmännische Begriffe

Berechtsamsbuch	wird bei der zuständigen Behörde angelegt und geführt; hierin sind Erlaubnisse, Bewilligungen, Bergwerkseigentum und nach § 149 aufrechterhaltene Bergbauberechtigungen und deren Änderungen (durch Vereinigung, Teilung, Austausch oder Zerlegung) einzutragen. Die Eintragungen werden von Amts wegen vorgenommen (§ 75 BBergG).
Berechtsamskarte	wird bei der zuständigen Behörde angelegt und geführt; hierin sind die Felder, auf die sich die im Berechtsamsbuch genannten Bergbauberechtigungen beziehen, und deren Veränderungen sowie Baubeschränkungsgebiete einzutragen. Die Eintragungen werden von Amts wegen vorgenommen (§ 75 BBergG).
Grubenwasser	bergmännisch für alles Wasser, was mit Tief- oder Tagebauen in Kontakt stand oder steht
Grubenbau	bergmännisch für einen durch bergmännische Tätigkeit geschaffenen Hohlraum
Mundloch	bergmännisch für Tagesöffnung eines Stollens
Mündung	Ort des Zuflusses eines Stollenwassers in ein Fließgewässer
Pinge	1. Mulden- oder trichterförmige Vertiefung an der Tagesoberfläche, entstanden durch Zubruchgehen oberflächennaher untertägiger Grubenbaue („Tagesbruch“), 2. Oberirdischer Abbau oder Abgrabung
Rösche	1. Abflaufrösche: untertägiger Graben in Form einer rinnenartigen Vertiefung in der Sohle von horizontalen Grubenbauen zur Ab- oder Zuführung von Grubenwasser, 2. Stollenrösche: Stollen geringen Querschnitts zur Wasserführung, nach Inbetriebnahme meist nicht mehr befahrbar, 3. Tagesrösche:

übertägiger Wassergraben zur Ableitung von Grubenwasser aus einem Stollen (oft abgedeckt), 4. Wetterrösche: Aussparung im Versatz oder zwischen Versatz und anstehendem Gebirge zur Wetterführung

Schacht meist senkrechter (seigerer), seltener auch schräger (tonnlägiger) Grubenbau, der das übrige Grubengebäude mit der Tagesoberfläche bzw. zwei oder mehrere Sohlen miteinander verbindet

Stollen auch Stolln genannt, bergmännisch für einen streckenartigen horizontalen, von der Tagesoberfläche aus leicht ansteigend aufgefahrenen untertägigen Grubenbau zur Sicherung eines freien Wasserabflusses und der Bewetterung; je nach Funktion werden Entwässerungs-, Erb-, Wetter- oder Förderstollen unterschieden

Stollenwasser bergmännisch für Grubenwasser, das aus einem Stollen im freien Gefälle ausfließt

Tagwasser Oberflächenbürtiges Wasser, das einem Bergwerk über Poren- und Trennflächenhohlräumen sowie Tagesöffnungen (Schächte, Stollen, Bohrlöcher) zufließt

Hydrometrische Begriffe

Abfluss, Durchfluss (allgemein) unter dem Einfluss der Schwerkraft auf und unter der Landoberfläche sich bewegendes Wasser

Abflussrate, Durchflussrate, Volumenstrom (quantitativ) Quotient aus Wasservolumen, das einen bestimmten Fließquerschnitt durchfließt und der dazu benötigten Zeit (messpunktbezogen)

Abfluss(mess)-querschnitt ausgewählter Querschnitt eines Fließgewässers normal zur Hauptströmungsrichtung, in dem Fließgeschwindigkeiten zur Ermittlung des Abflusses bzw. Durchflusses bestimmt werden

Bewertungsgrundlagen

Grenzwert	in Gesetzen und Verordnungen durch den Gesetzgeber festgelegte Höchstkonzentrationen für natürliche Inhaltsstoffe, Wirkstoffrückstände und Umweltkontaminanten. Sie unterliegen naturwissenschaftlichen und ökonomischen Kriterien und werden durch politische Prozesse bestimmt. Grenzwerte sind einzuhalten; bei Nichteinhaltung drohen Sanktionen
Richtwert	Messwert, der einzuhalten ist und nach dem man sich richten soll. Es handelt sich dabei um eine nachdrückliche Empfehlung. Ein Richtwert kann Toleranzgrenzen haben, in denen u. a. Messungenauigkeiten enthalten sind. Handelt man ohne triftigen Grund gegen Richtwerte kann dies unter Umständen fahrlässig oder grob fahrlässig sein
Schwellenwert	auch Prüfwert genannt; stellt eine Schadstoffkonzentration dar, die der Beurteilung über weitere Untersuchungen oder Sicherungs- und Sanierungsmaßnahmen dient. In der Regel beziehen sich diese Werte auf bestimmte Nutzungen und Gefährdungspfade. Bei Überschreitung kann im Einzelfall ein nicht tolerierbares Risiko bestehen

Weitere Begriffe finden sich im „Glossar Bergmännische Wasserwirtschaft“ (BURGHARDT et al. 2017).

Wenn Sie weiterlesen wollen, wenden Sie sich zur Bestellung bitte an

Leitung FH-DGGV-Geschäftsstelle

Dr. Maike Rüsgen

**Geschäftsstelle der FH-DGGV
c/o cloudflight Raumstation
Emmy-Noether-Str. 17
76131 Karlsruhe**

Tel.: +49 721 48070470

E-Mail: maike.ruesgen@fh-dggv.de

E-Mail: geschaeftsstelle@fh-dggv.de

4 Zusammenfassung

Seit Inkrafttreten der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie (EU-WRRL) sind die Mitgliedsstaaten verpflichtet, den ökologischen und chemischen Zustand ihrer Gewässer zu erfassen und zu beurteilen (EU-WRRL 2014/101/EU). Da es in Deutschland bisher keine einheitliche Handlungsanleitung zur Beurteilung der potenziell von Bergwerken ausgehenden Kontaminationen gibt, sollte es Gegenstand dieses Leitfadens sein, Empfehlungen für eine repräsentative Beprobung und Untersuchung von Grubenwässern zusammenzustellen. Dies soll eine gleichbleibende Qualität und Vergleichbarkeit von Messprogrammen sicherstellen.

Nach einer Zusammenstellung der gesetzlichen Grundlagen zur Beurteilung der Qualität von Grund- und Oberflächenwässern in Deutschland befasst sich der Leitfaden schwerpunktmäßig mit der Beprobung und Analyse von Grubenwässern. Diese treten die in der Regel über Stollenmundlöcher zu Tage und münden von dort auf mehr oder weniger kurzem Weg in einen Vorfluter.

Je nach Zielsetzung müssen repräsentative Probenahmestellen ausgewählt werden. Steht die Beschaffenheit des Grubenwassers im Fokus, so muss unmittelbar bzw. so nah wie sicherheitstechnisch möglich am Stollenmundloch beprobt werden. Soll jedoch der Einfluss der Grubenwasserbeschaffenheit auf den Vorfluter beurteilt werden, so ist es empfehlenswert (1) unmittelbar vor der Mündung des Grubenwassers in den Vorfluter und (2) im Vorfluter kurz vor dem Zustrom (oberstromig) des Grubenwassers zu beprobieren. Die abstromige Probenahme nach ausreichender Durchmischungsstrecke ist vor allem dann relevant für die Ermittlung des Grubenwassereinflusses, wenn die Abflussraten nicht hinreichend genau ermittelbar sind.

Für die praktische Durchführung der Vor-Ort-Untersuchung, Probenentnahme für die Analytik bergbautypischer Wasserinhaltsstoffe und Messung der Abflussrate wurden im Dokument Gerätelisten zusammengestellt, relevante Parameter bzw. Abflussmessverfahren erläutert und Muster zu Probenahmeprotokollen dargestellt. Ebenso werden Empfehlungen für die Erstellung von Lageblättern und Datenblättern gegeben, die für ein langfristiges Monitoring sinnvoll sind bzw. dessen Ergebnisse übersichtlich bündeln können.

Der Praxisleitfaden wird durch eine abschließende Darlegung von drei Fallstudien aus den Bundesländern Sachsen und Bayern sowie Finnland abgerundet.

5 Quellenverzeichnis

5.1 Literatur

- ACKMAN, T. E.: An Introduction to the Use of Airborne Technologies for Watershed Characterization in Mined Areas. *Mine Water Environ.*, **22**(2), 62–68 (2003)
- BEZIRKSREGIERUNG ARNSBERG: Integrales Monitoring für den Grubenwasseranstieg im Steinkohlenbergbau in Nordrhein-Westfalen. Konzeptbeschreibung. 10 S. (2020)
- BLA-GEO & LAWA: Hydrogeochemische Hintergrundwerte im Grundwasser und ihre Bedeutung für die Wasserwirtschaft. 22 S., www.bgr.bund.de/DE/Themen/Wasser/Projekte/abgeschlossen/Beratung/Hintergrundwerte/sgd&lawa2015.pdf. Zugriffen: 29.4.2020 (2015)
- BURGHARDT, D., COLDEWEY, W. G., MELCHERS, C., MESSER, J., PAUL, M., WALTER, T., WESCHE, D., WESTERMANN, S., WIEBER, G., WISOTZKY, F., WOLKERSDORFER, CH.: Glossar Bergmännische Wasserwirtschaft. COLDEWEY, W. G. [Hrsg.]: 79 S.; Neustadt/Wstr. (Fachsektion Hydrogeologie in der DGGV) (2017)
- COLDEWEY, W. G., GÖBEL, P.: Hydrogeologische Gelände- und Kartiermethoden. - 221 S.; Springer, Heidelberg (2015)
- DLR DEUTSCHES ZENTRUM FÜR LUFT- UND RAUMFAHRT E. V.: Erdbeobachtungsprogramme. - online im Internet unter: <https://www.d-copernicus.de/programm/erdbeobachtungsprogramme/>. Zugriffen: 16.10.2020 (2020)
- ERMITE CONSORTIUM, YOUNGER, P. L., WOLKERSDORFER, CH.: Mining Impacts on the Fresh Water Environment: Technical and Managerial Guidelines for Catchment Scale Management. *Mine Water Environ.*, **23**, 2–80; Springer, Heidelberg (2004)
- FGE EMS: Internationaler Bewirtschaftungsplan nach Artikel 13 Wasserrahmenrichtlinie für die Flussgebietseinheit Ems, Bewirtschaftungszeitraum 2010–2015, www.ems-eems.de/fileadmin/co_theme/Default/Media/pdfs/2009_bwp_ems_de.pdf; Zugriffen: 14.10.2019 (2010)
- HEDIN, R. S., NAIRN, R. W., KLEINMANN, R. L. P.: Passive Treatment of Coal Mine Drainage. *Bur. Mines Inf. Circ.*, **IC-9389**, 1–35 (1994)
- iDA: Interdisziplinäre Daten und Auswertungen, Datenportal iDA: www.umwelt.sachsen.de/umwelt/infosysteme/ida; Zugriffen: 29.4.2020.
- KAISER, S.: Priorisierung von Wasserlösestollen des ehemaligen sächsischen Erzbergbaus für ein Monitoring der Abflussmengen vorflutbelastender Stollenwässer. Masterarbeit am Institut für Grundwasserwirtschaft der TU Dresden (2018)
- KÄSS, W.: Geohydrologische Markierungstechnik. In: MATTHESS, G. (Hrsg.): Lehrbuch der Hydrogeologie, **9**, 557 S.; Borntraeger, Berlin, Stuttgart (2004)
- KIRBY, C. S., CRAVOTTA, C. A., III: Net alkalinity and net acidity 1: Theoretical consideration. *Appl. Geochem.*, **20**(10), 1920–1940, doi:10.1016/j.apgeochem.2005.07.002 (2005a)
- KIRBY, C. S., CRAVOTTA, C. A., III: Net alkalinity and net acidity 2: Practical considerations. *Appl. Geochem.*, **20**(10), 1941–1961, doi:10.1016/j.apgeochem.2005.07.003 (2005b)
- KLÖCKNER, T.: Airborne Laserscanning als ergänzende Erkundungsmethodik von bergbaubedingten Kleinformen im Bochumer Süden (Ruhrgebiet). *scriptum online*, **8**, 1–47, Krefeld (2019)
- LEGLER, CH., BREITIG, G., STEPPUHN, G., VOBACH, V.: Ausgewählte Methoden der Wasseruntersuchung. - **Bd. I**, Chemische, physikalisch-chemische und physikalische Methoden. *Inst. f. Wasserwirtschaft*, Berlin [Hrsg.]: 517 S.; VEB Gustav Fischer, Jena (1986)

- LfULG: Hydrologisches Handbuch Haupttabelle der mittleren Durchflusswerte Teil 4–6. Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG) (2017)
- LfULG: WRRL- in Sachsen (3. Bewirtschaftungszeitraum) – Bergbaubelastete Oberflächenwasserkörper. - www.bergbaufolgen.sachsen.de/download/bbb_OWK_Nov_2021c.pdf. Zugriffen: 04.07.2023, Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG) (2021)
- LMBV – LAUSITZER UND MITTELDEUTSCHE BERGBAU-VERWALTUNGSGESELLSCHAFT MBH.: Merkblatt - Montanhydrologisches Monitoring in der LMBV mbH. 35 S., Senftenberg (Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbau-Verwaltungsgesellschaft mbH) (2019)
- MACLEOD, G.: Innovative Uses of LIDAR Technology to assist in the Remediation of former Coal Mine Sites. In: WOLKERSDORFER, CH., FREUND, A. [Hrsg.]: Mine Water and Innovative Thinking - International Mine Water Association Symposium. 433–437; Cape Breton University Press, Sydney, NS (2010)
- MCLEMORE, V. T., SMITH, K. S., RUSSELL, C. C.: Sampling and Monitoring for the Mine Life Cycle: Management Technologies for Metal Mining Influenced Water, **6**, 191 S.; SME, Littleton (2014)
- MOORE, R. D.: Introduction to salt dilution gauging for streamflow measurement. Part 3: Slug injection using salt in solution. Trans. Am. Mech. Eng., **45**, 285–341 (2005)
- MORGENSCHWEIS, G.: Hydrometrie – Theorie und Praxis der Durchflussmessung in offenen Gerinnen - 2. Auflage; Springer, Berlin (2018)
- MUGOVA, E., WOLKERSDORFER, CH.: Identifying potential groundwater contamination by mining influenced water (MIW) using flow measurements in a sub-catchment of the „Cradle of Humankind“ UNESCO World Heritage Site, South Africa. - Environmental Earth Sciences, **81(104)**, 12 S. (2022)
- OERTEL, S.: Grubenwasseraustritte und potentielle Grundwassergefährdungen in Bayern. 61 S., Bachelor-Arbeit an der Ludwig-Maximilians-Universität München (2007)
- REUMANN, G. M.: Erarbeitung einer MS-Access-Datenbank und eines WebGIS-fähigen, automatisch erzeugbaren Datenblattes für die Charakterisierung von Wasserlöseestollen des Erzbergbaus. Bachelorarbeit am Institut für Grundwasserwirtschaft der TU Dresden in Kooperation mit dem Sächsischen Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (2015)
- REUMANN, G. M., BURGHARDT, D.: Erarbeitung von Datenblättern zu charakteristischen Daten, Lage und empfohlenen Messpunkt für bedeutsame Grubenwasseraustritte in Sachsen (unveröffentlicht; Übergabe an das LfULG) (2019)
- SÄCHSISCHES OBERBERGAMT: Wichtige Wasserlöseestolln in Sachsen. - www.bergbaufolgen.sachsen.de/download/2023_02_KarteWasserloesestolln.pdf. Zugriffen: 04.07.2023 (2023)
- SIOTKA, B.: Hydrogeochemische Untersuchung der Grubenwasseraustritte des ehemaligen bayerischen Pechkohlebergbaus. 90 S., Bachelorarbeit an der Ludwig-Maximilians-Universität (2008)
- STEUER, H., ZIMMERMANN, U.: Alter Bergbau in Deutschland: Archäologie in Deutschland - SH 1993. 127 S.; Nikol, Hamburg (2000)
- WENZEL, A., SCHLICH, K., SHEMOTYUK, L., NENDZA, M.: Revision der Umweltqualitätsnormen der Bundes-Oberflächengewässerverordnung nach Ende der Übergangsfrist für Richtlinie 2006/11/EG und Fortschreibung der europäischen Umweltqualitätsziele für prioritäre Stoffe. - Umweltbundesamt [Hrsg.]: **UBA-Texte 47**, 193 S.; Dessau-Roßlau (UBA) (2015)
- VARMA, A.: The copper-zinc ore deposits of Aijala and Metsämonttu. Geol. Tutkimuslaitos, **55**, 20–24 (1954)
- WAGNER, B., BEER, A., BITZER, F., BROSE, D., BRÜCKNER, L., BUDZIAK, D., CLOS, P., FRITSCHKE, H. G., HÖRMANN, U., HÜBSCHMANN, M., MOOSMANN, L., NOMMENSEN, B., PANTELEIT, B., PETERS, A., PRESTEL, R., SCHUSTER, H., SCHWERTFEGGER, B., WALTER, T., WOLTER, R.: Erläuterung zum Web Map Service (WMS) „Hintergrundwerte Grundwasser“. 24 S.; Hof (2014)

- WIEBER, G.: Das ehemalige Erzrevier an der Unteren Lahn: hydro- und geochemische sowie umweltgeologische Verhältnisse unter Berücksichtigung der Rückstände aus der Erzaufbereitung. Gießener Geologische Schriften, **52**, 284 S.; Gießen (1994)
- WIEBER, G.: Hydrogeologie und Wärmefluss der gefluteten Grube Mercur in Bad Ems, Rheinisches Schiefergebirge. Jber. Mitt. Oberrhein. Geol. Ver., **N. F. 96**, 361–377; Stuttgart (2014)
- WOLKERSDORFER, CH., BANTELE, M.: Die Oberbayerische Pechkohlenmulde – Hydrogeochemische Untersuchungen der Grubenwässer. Grundwasser, **18(3)**, 185–196; Heidelberg (2013)
- WOLKERSDORFER, CH.: Water Management at Abandoned Flooded Underground Mines – Fundamentals, Tracer Tests, Modelling, Water Treatment. 466 S.; Springer, Heidelberg (2008)
- WOLKERSDORFER, CH.: Grubenwasserreinigung - Beschreibung und Bewertung von Verfahren. 314 S.; Springer, Heidelberg (2021)
- YOUNGER, P. L., BANWART, S. A., HEDIN, R. S.: Mine Water - Hydrology, Pollution, Remediation. 464 S.; Kluwer, Dordrecht (2002)

5.2 DIN

Relevante Normen für die Untersuchung und Beprobung von (Stollen-)Wässern sind im Anhang 6.3 zusammengestellt.

5.3 Regelwerke, Richtlinien

- EU-GWRL: Richtlinie 2014/80/EU der Kommission vom 20. Juni 2014 zur Änderung von Anhang II der Richtlinie 2006/118/EG des Europäischen Parlaments und des Rates zum Schutz des Grundwassers vor Verschmutzung und Verschlechterung (ABl. L 182 vom 21.6.2014), 52–55 (2014)
- EU-WRRL: Richtlinie 2014/101/EU der Kommission vom 30. Oktober 2014 zur Änderung der Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik (ABl. L 311 vom 31.10.2014), 32–35 (2014)
- LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG: Durchflussermittlung mit der Salzverdünnungsmethode: Arbeitsanleitung Pegel- und Datendienst Baden-Württemberg. 66 S.; Karlsruhe (Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg) (2002)
- LAWA: Grundwasser-Richtlinien für Beobachtung und Auswertung, 1, Grundwasserstand. 44 S., BUND/LÄNDER-ARBEITSGEMEINSCHAFT WASSER; Woeste, Essen (1984)
- LAWA: Pegelvorschrift – Richtlinie für das Messen und Ermitteln von Abflüssen und Durchflüssen. BUND/LÄNDER-ARBEITSGEMEINSCHAFT WASSER; Parey, Hamburg (1991)
- LAWA: Grundwasser – Richtlinien für Beobachtung und Auswertung, 4, Quellen. – 63 S., 22 Abb., 4Tab., 2 Anl.; BUND/LÄNDER-ARBEITSGEMEINSCHAFT; Woeste, Essen (1995)
- LAWA: Ableitung von Geringfügigkeitsschwellenwerten für das Grundwasser. 23 S.; Düsseldorf (2004)
- LAWA: Ableitung von Geringfügigkeitsschwellenwerten für das Grundwasser – Aktualisierte und überarbeitete Fassung 2016. 23 S.; Stuttgart (2017)
- NLWKN: Leitfaden für die Bewertung des chemischen Zustands der Grundwasserkörper nach EG-WRRL, Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz, 39 S.; Norden (2009)
- UMWELTBUNDESAMT: Wasserrahmenrichtlinie. www.umweltbundesamt.de/wasserrahmenrichtlinie vom 20. Juni 2016 (BGBl. S. 1373) (2016)

Weitere relevante Regelwerke für die Untersuchung und Beprobung von (Stollen-)Wässern sind im Anhang 6.3 zusammengestellt.

5.4 Gesetze, Verordnungen

BBERGG: Bundesberggesetz vom 13. August 1980 (BGBl. I S. 1310), zuletzt geändert durch Verordnung vom 19. Juni 2020 (BGBl. I S. 1328) (1980)

GRWV: Verordnung zum Schutz des Grundwassers. Grundwasserverordnung in der Fassung vom 9. November 2010 (BGBl. I S. 1513), zuletzt geändert durch Verordnung vom 4. Mai 2017 (BGBl. I S. 1044) (2010)

OBG NRW: Gesetz über Aufbau und Befugnisse der Ordnungsbehörden – Ordnungsbehördengesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 13. Mai 1980 GV. NW. 1980 S. 528, zuletzt geändert durch Gesetz vom 30. Juni 2020 (GV. NRW. S. 456a) (1980)

OGEWV: Oberflächengewässerverordnung vom 20. Juni 2016 (BGBl. I S. 1373), zuletzt geändert durch Verordnung vom 19. Juni 2020 (BGBl. I S. 1328) (2016)

SÄCHSHOHLRVO: Sächsische Hohlraumverordnung vom 20. Februar 2012 (SächsGVBl. S. 191) (2012)

WHG: Wasserhaushaltsgesetz vom 31. Juli 2009 (BGBl. I S. 2585), geändert zuletzt durch Gesetz vom 19. Juni 2020 (BGBl. I S. 1408) (2009)

6 Anhang

6.1 Parameterpaket

Empfohlener Analysenumfang für verschiedene Arten von Grubenwasseruntersuchungen. Fettgedruckte Parameter sind vor Ort zu bestimmen. Zusätzliche Parameter sollten je nach geologischen Verhältnissen oder vermuteter Geschichte des Bergwerks analysiert werden (ergänzt aus WOLKERSDORFER 2021, verändert aus ERMITE CONSORTIUM et al. 2004).

Parameter	Vor- untersuchung	Geochemische Untersuchungen	für Grubenwasser- reinigung	Zusätzliche Parameter
pH	X	X	X	
elektrische Leitfähigkeit	X	X	X	
Temperatur	X	X	X	
$K_{S4,3}$ oder $K_{S8,2}$		X	X	
$K_{B8,2}$ oder $K_{B4,3}$		X	X	
Sauerstoffkonzentration	X	X	X	X
Redox-Spannung (korr.)	X	X	X	
Organoleptik	X	X		
Ca		X		
Mg		X		
Na		X		
K		X		
Cl		X		
SO_4^{2-}	X	X	X	
NO_3^-		X		X
NH_4^+		X		X
PO_4^{3-}		X		
HCO_3^-	X	X	X	X
Li				X
Fe^{2+} , Fe_{ges}	X	X	X	
Mn		X	X	
Al		X	X	
Cu				X
Zn		X		X
Cd				X
Ni				X
Co				X
As				X

Parameter	Vor- untersuchung	Geochemische Untersuchungen	für Grubenwasser- reinigung	Zusätzliche Parameter
U			X	X
Cr				X
Pb				X
Hg				X
Se				X
Ra				X
Rn				X
CN ⁻				X
TOC / DOC / TIC				X
Organika (z. B. PCB)				X
Zusätzliche je nach Aufgabenstellung	X			X
Ionenbilanz (speziiert)		X		

6.2 Beispiel einer Checkliste für die Wasserprobenahme

Allgemeines Zubehör

- Lageplan, Karte, Navigationsgerät (Bestimmung des Rechts- und Hochwertes mit geodätischem Datum)
- analoges oder digitales Feld- oder Geländebuch (langfristige Dokumentation)
- Laptop
- Probenahmeprotokoll
- wasserfester Stift
- Aufkleber
- Messprotokolle
- Zollstock
- Bandmaß
- Kabellichtlot
- Uhr, Stoppuhr

- Verbandskasten
- Helm
- Gummistiefel
- Watstiefel, Wathose
- Einweghandschuhe
- Taschen-, Stirn- oder Grubenlampe mitsamt Ladegerät
- Spaten
- Spitzhacke
- Werkzeugkoffer für Kleinreparaturen
- Reinigungstücher, Reinigungsmittel
- Abfallbehälter

- Kabel (elektronisch)
- Kabeltrommel
- Eimer oder Messbecher mit Messskalierung, 5 – 10 L

Abflussmessung

- Durchflussmessgerät, Akku
- Messflügel
- Messwehr (Plastikhammer, Peilstab)
- Salz
- Uranin
- Wannen

Probenahme Wasser

- Spritzflasche mit destilliertem Wasser und Ersatzkanister
- Kühlboxen mit Kühllakus und Flaschensätzen für Probenahme (ggf. vorbereitet und vorbeschriftet)
- Messzylinder _____ mL
- Messkolben _____ mL
- Messbecher
- Becher- bzw. Probenahmegläser Glas
- Probenahmegläser Kunststoff (50 mL – 500 mL) für Hauptionen
- Probenahmegläser Kunststoff (50 mL) für Spurenelemente
- Einwegspritzen
- Spritzvorsatzfilter, Membranfilter bzw. Vakuumfiltrationseinheit
 - 0,20 µm
 - 0,45 µm
- Schöpfbecher (zur Probenahme aus geringen Tiefen)
- Schöpfgerät (zur Probenahme aus größeren Tiefen)
- Seil mit Karabinerhaken

Vor-Ort-Untersuchung Beschaffenheit

- Feldmessgeräte mit dazu gehörigen (vorher kalibrierten) Messsonden und (Ersatz-)Batterien:
 - elektrische Leitfähigkeit
 - Temperatur
 - Sauerstoffkonzentration
 - pH-Wert
 - Redox-Spannung
- Multiparametermessgerät (2- bzw. 4-Parametersonde)
- Fluorometer
- Küvetten
- Filtergerät mit Schlauch und Pumpe
- Photometer oder Kolorimeter für die Eisenbestimmung
- Nachweisreagenzien für Eisen
 - Fe^{2+}
 - $\text{Fe}_{\text{gesamt}}$
- Nachweisreagenzien für Sulfat
- Büretten (HCl bzw. NaOH), besser ein Handtitrator
- ggf. Trübungsmessgerät
- Kaliumchlorid (zur Sonden Aufbewahrung)
- Salpetersäure (zum Ansäuern von Proben)

Pumpenzubehör (zusätzlich bei Erfordernis)

- Datenlogger
- Differenzdruckaufnehmer
- Batterie für Datenlogger Fluorimeter
- Seilwinde
- Seilwindenhalterung
- Dreibein
- Stahlseile _____m
- Stahlseilhalterungen
- Schlauch _____m
- Schlauchklemmen
- Magnetventile
- Verteilerköpfe mit Zubehör
- Speicherkarte

6.3 Relevante Normen und Regelwerke für die Untersuchung und Beprobung von Stollenwässern

Vorschrift	Titel	Version
Probenahme und Konservierung		
AQS-Merkblatt P-8/2	Probenahme von Grundwasser	1995
DIN 38402-A13	Probenahme aus Grundwasserleitern	2016
DIN 38402-A24	Anleitung zur Probenahme von Schwebstoffen	2007
DIN-EN ISO 5667-1	Wasserbeschaffenheit – Probenahme – Teil 1: Anleitung zur Erstellung von Probenahmeprogrammen und Probenahmetechniken	2007
DIN EN ISO 5667-3	Wasserbeschaffenheit – Probenahme – Teil 3: Konservierung und Handhabung von Wasserproben	2019
DIN EN ISO 5667-6	Anleitung zur Probenahme aus Fließgewässern	2016
DIN-EN ISO 5667-11	Wasserbeschaffenheit – Probenahme – Teil 11: Hinweise zur Probenahme von Grundwasser	2009
DIN-EN ISO 5667-14	Wasserbeschaffenheit – Probenahme – Teil 14: Anleitung zur Qualitätssicherung und Qualitätskontrolle bei der Entnahme und Handhabung von Wasserproben	2014
DVGW W 112 Arbeitsblatt	Grundsätze der Grundwasserprobenahme aus Grundwassermessstellen	2011
DWA-A 909	Grundsätze der Grundwasserprobenahme aus Grundwassermessstellen	2011
LAWA 1993	Grundwasser, Richtlinien für Beobachtung und Auswertung, Teil 3: Grundwasserbeschaffenheit	1993

Vorschrift	Titel	Version
Vor-Ort-Parameter		
DIN 38404-C4	Bestimmung der Temperatur	1976
DIN 38404-C6	Bestimmung der Redox-Spannung	1984
DIN 38404-C6	Bestimmung der Redox-Spannung, Berichtigung 1	2018
DIN 38409-H7	Bestimmung der Säure- und Basenkapazität	2005
DIN EN 27888	Bestimmung der elektrischen Leitfähigkeit	1993
DIN EN ISO 9963	Bestimmung der Alkalinität	1996
DIN EN ISO 7027 (C2)	Wasserbeschaffenheit – Bestimmung der Trübung	1999
DIN EN ISO 10523 (C5)	Wasserbeschaffenheit – Bestimmung des pH-Wertes	2012
DIN ISO 17289 (G25)	Wasserbeschaffenheit – Bestimmung von gelöstem Sauerstoff mit optischem Sensor	2014
Analytik von Beschaffenheitsparametern		
DIN 32645	Chemische Analytik – Nachweis -, Erfassungs- und Bestimmungsgrenzen	2008
DIN 38402-51	Kalibrierung von Analyseverfahren – Lineare Kalibrierfunktion	2017
DIN 38402-62	Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung – Allgemeine Angaben (Gruppe A) – Teil 62: Plausibilitätskontrolle von Analysendaten durch Ionenbilanzierung (A 62)	2014
DIN 38409-H1	Bestimmung des Gesamttrockenrückstandes, des Filtrat-trockenrückstandes und des Glührückstandes	1987
DIN 38409-6	Härte eines Wassers	1986
DIN 38414-20	Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung – Schlamm und Sedimente (Gruppe S) – Teil 20: Bestimmung von 6 polychlorierten Biphenylen (PCB) (S 20)	1996
DIN EN 1483	Wasserbeschaffenheit – Bestimmung von Quecksilber – Verfahren mittels Atomabsorptionsspektrometrie	2007
DIN EN 1484	Wasseranalytik – Anleitung zur Bestimmung des gesamten organischen Kohlenstoffs (TOC) und des gelösten organischen Kohlenstoffs (DOC)	2019
DIN EN ISO 7027-1	Wasserbeschaffenheit – Bestimmung der Trübung	2016
DIN EN ISO 7887-B	Wasserbeschaffenheit – Untersuchung und Bestimmung der Färbung mit optischen Geräten bei den Wellenlängen $\lambda = 436 \text{ nm}$, $\lambda = 525 \text{ nm}$, $\lambda = 620 \text{ nm}$	2012
DIN EN ISO 10304-1	Wasserbeschaffenheit – Bestimmung von gelösten Anionen mittels Flüssigkeits-Ionenchromatographie – Teil 1: Bestimmung von Bromid, Chlorid, Fluorid, Nitrat, Nitrit, Phosphat und Sulfat	2009

Vorschrift	Titel	Version
DIN EN ISO 11732	Wasserbeschaffenheit – Bestimmung von Ammoniumstickstoff – Verfahren mittels Fließanalytik (CFA und FIA) und spektrometrischer Detektion	2005
DIN EN ISO 11885	Wasserbeschaffenheit – Bestimmung von ausgewählten Elementen durch induktiv gekoppelte Plasma-Atom-Emissionsspektroskopie (Al, Sb, As, Ba, Be, Bi, B, Cd, Ca, Cr, Co, Cu, Ga, In, Fe, Pb, Li, Mg, Mn, Mo, Ni, P, K, Se, Si, Ag, Na, Sr, S, Sn, Ti, W, V, Zn, Zr)	2009
DIN EN ISO 12846	Wasserbeschaffenheit – Bestimmung von Quecksilber – Verfahren mittels Atomabsorptionsspektrometrie (AAS) mit und ohne Anreicherung	2012
DIN EN ISO 13395	Wasserbeschaffenheit – Bestimmung von Nitritstickstoff, Nitratstickstoff und der Summe von beiden mit der Fließanalytik (CFA und FIA) und spektrometrischer Detektion	1996
DIN EN ISO 14403-1	Wasserbeschaffenheit – Bestimmung von Gesamtcyanid und freiem Cyanid mittels Fließanalytik (FIA und CFA) – Teil 1: Verfahren mittels Fließinjektionsanalyse	2012
DIN EN ISO 14911	Wasserbeschaffenheit – Bestimmung der gelösten Kationen Li^+ , Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Mn^{2+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Sr^{2+} und Ba^{2+} mittels Ionenchromatographie	1999
DIN EN ISO 15681-1	Wasserbeschaffenheit – Bestimmung von Orthophosphat und Gesamtphosphor mittels Fließanalytik (FIA und CFA)	2005
DIN EN ISO 17294-2	Wasserbeschaffenheit – Anwendung der induktiv gekoppelten Plasma-Massenspektrometrie (ICP-MS) – Teil 2: Bestimmung von ausgewählten Elementen einschließlich Uran-Isotope (Al, Sb, As, Ba, Be, Bi, B, Cd, Cs, Ca, Ce, Cr, Co, Cu, Dy, Er, Gd, Ga, Ge, Au, Hf, Ho, In, Ir, Fe, La, Pb, Li, Lu, Mg, Mn, Hg, Mo, Nd, Ni, Pd, P, Pt, K, Pr, Rb, Re, Rh, Ru, Sm, Sc, Se, Ag, Na, Sr, Tb, Te, Th, Tl, Tm, Sn, W, U und seiner Isotope, V, Y, Yb, Zn, Zr)	2016
DIN EN ISO 38405-D 13-1	Bestimmung von Cyaniden	2011
DIN ISO 28540	Wasserbeschaffenheit – Bestimmung von 16 polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) in Wasser – Verfahren mittels Gaschromatographie und massenspektrometrischer Detektion (GC-MS)	2014
Messung der Abfluss- und Durchflussrate		
ATV-DVWK M 604	Messeinrichtung an Quellen	2002
DIN 4049-1	Hydrologie; Grundbegriffe	1992
DIN 4049-2	Hydrologie; Begriffe der Gewässerbeschaffenheit	1990

Vorschrift	Titel	Version
DIN 19559-1	Durchflussmessung von Abwasser in offen Gerinnen und Freispiegleleitungen	1983
DIN EN ISO 748	Hydrometrie – Durchflussmessung in offenen Gerinnen mittels Fließgeschwindigkeitsmessgeräten oder Schwimmern	2008
DIN EN ISO 6416	Hydrometrie – Messungen des Durchflusses mit dem Ultraschall-Laufzeitverfahren (Transit-time/Time-of-flight-Verfahren)	2019
ISO 9555	Measurement of Liquid Flow in Open Channels. Tracer Dilution Methods for the Measurement of Steady Flow	1994
ISO 9123	Abflussmessung in offenen Gerinnen – Wasserstands-Abflussbeziehungen (Englisch)	2017
DVWK-Merkblätter und Schriften		
DVWK-Material 1/1994	Bewertung und Auswertung hydrochemischer Grundwasseruntersuchungen	1994
DVWK-Merkblatt 203	Entnahme von Proben für hydrogeologische Grundwasseruntersuchungen	1982
DVWK-Regel 111	Empfehlungen zu Umfang, Inhalt und Genauigkeitsanforderungen bei chemischen Grundwasseruntersuchungen	1979
DVWK-Regel 128	Entnahme und Untersuchungsumfang von Grundwasserproben	1992
DVWK-Schriften 89	Methodensammlung zur Auswertung und Darstellung von Grundwasserbeschaffenheitsdaten	1990
DVWK-Schriften 107	Grundwassermessgeräte	1994

6.4 Vorlage für ein Probenahmeprotokoll für Grubenwasser

Probenahmeprotokoll für Grubenwasser

Seite 1/2

<div style="border-bottom: 1px solid black; height: 20px; margin-bottom: 5px;"></div> Name des Bergwerks	<div style="border-bottom: 1px solid black; height: 20px; margin-bottom: 5px;"></div> Probenummer
<div style="border-bottom: 1px solid black; height: 20px; margin-bottom: 5px;"></div> Bezeichnung der Messstelle	<div style="border-bottom: 1px solid black; height: 20px; margin-bottom: 5px;"></div> Projektname
<div style="border-bottom: 1px solid black; height: 20px; margin-bottom: 5px;"></div> Gemeinde / Ortsteil	<div style="border-bottom: 1px solid black; height: 20px; margin-bottom: 5px;"></div> Landkreis
<div style="display: flex; justify-content: space-between; margin-bottom: 5px;"> <div style="border-bottom: 1px solid black; width: 20%;"></div> <div style="border-bottom: 1px solid black; width: 20%;"></div> <div style="border-bottom: 1px solid black; width: 20%;"></div> </div> R-Koordinaten H-Koordinaten geodätisches Datum	<div style="border-bottom: 1px solid black; height: 20px; margin-bottom: 5px;"></div> Projektnummer
<div style="display: flex; justify-content: space-between; margin-bottom: 5px;"> <div style="border-bottom: 1px solid black; width: 20%;"></div> <div style="margin-left: 10px;"><input type="checkbox"/> müNHN</div> <div style="margin-left: 10px;"><input type="checkbox"/> „GPS“-Höhe</div> </div> Geländehöhe	<div style="display: flex; justify-content: space-between; margin-bottom: 5px;"> <div style="border-bottom: 1px solid black; width: 40%;"></div> <div style="border-bottom: 1px solid black; width: 40%;"></div> </div> Datum Uhrzeit
<div style="display: flex; justify-content: space-between; margin-bottom: 5px;"> <div style="border-bottom: 1px solid black; width: 30%;"></div> <div style="border-bottom: 1px solid black; width: 30%;"></div> </div> Messpunkthöhe TK Nummer	<div style="display: flex; justify-content: space-between; margin-bottom: 5px;"> <div style="border-bottom: 1px solid black; width: 40%;"></div> <div style="border-bottom: 1px solid black; width: 40%; text-align: right;">°C</div> </div> Witterung Lufttemperatur
<div style="border-bottom: 1px solid black; height: 20px; margin-bottom: 5px;"></div> Name und ggf. Qualifikation der Probenehmer	<div style="border-bottom: 1px solid black; height: 20px; margin-bottom: 5px;"></div> Institution der Probenehmer

Beschreibung der Probenahmestelle

☐ Rösche
 ☐ Rohr
 ☐ Rinne
 ☐ Sickerwasseraustritt

☐ Schacht
 ☐ Quelle
 ☐ freier Auslauf
 ☐ Grundwassermessstelle
 ☐ Anderes

Ausbau der Entnahmestelle

☐ Mauerwerk
 ☐ Kunststoffrohr
 ☐ verzinktes Rohr
 cm

☐ Steinzeug
 ☐ Stahlrohr
 ☐ Gerinne ohne Ausbau
 Rohr/Schachtdurchmesser

Art der Probenahme

☐ Schöpfbecher
 ☐ Schöpfapparat
 ☐ Plastik
 ☐ Metall
 L
 m

☐ Pumpprobe (Saug- bzw. Unterwasserpumpe)
 Probenvolumen
 Entnahmetiefe

Probengefäße und Probenkonservierung

<div style="border-bottom: 1px solid black; height: 20px; margin-bottom: 5px;"></div> Anzahl / Volumen der Gefäße Porengröße Filter	<div style="border-bottom: 1px solid black; height: 20px; margin-bottom: 5px;"></div> Anzahl / Volumen der Gefäße Porengröße Filter
<input type="checkbox"/> Glas, hell <input type="checkbox"/> Glas, dunkel <input type="checkbox"/> Kunststoff	<input type="checkbox"/> Glas, hell <input type="checkbox"/> Glas, dunkel <input type="checkbox"/> Kunststoff
<input type="checkbox"/> gefiltert <input type="checkbox"/> ungefiltert <input type="checkbox"/> angesäuert	<input type="checkbox"/> gefiltert <input type="checkbox"/> ungefiltert <input type="checkbox"/> angesäuert

<div style="border-bottom: 1px solid black; height: 20px; margin-bottom: 5px;"></div> Konservierungsmittel Menge	<div style="border-bottom: 1px solid black; height: 20px; margin-bottom: 5px;"></div> Konservierungsmittel Menge
---	---

Transport- und Lagerbedingungen

☐ Kühlung bei < 6 °C
 ☐ Tiefgefroren (< -18 °C)
 ☐ Ohne Kühlung

Übergabe der Proben an die Untersuchungsstelle/Labor

<div style="border-bottom: 1px solid black; height: 20px; margin-bottom: 5px;"></div> Name des Untersuchungslabors	<div style="border-bottom: 1px solid black; height: 20px; margin-bottom: 5px;"></div> Datum Uhrzeit
--	--

Bemerkungen zur Lokalität

Probenahmeprotokoll für Grubenwasser

Seite 2/2

Name der Probennehmer			Probennummer		
Färbung		Geruch		Trübung	
Gasbildung					
°C		μS/cm		–	
mg/L					
Wassertemperatur		Elektrische Leitfähigkeit		pH-Wert	
Sauerstoff		Sauerstoff			
mV		mV		L/s	
Redox-Spannung Messgerät		Redox-Spannung korrigiert		Ab-/Durchfluss	
Messmethode Abfluss					
mg/L		:		mL	
mg/L		:		mL	
Fe _{ges}		Fe _{ges} Verdünnung		Fe ²⁺	
Fe ²⁺ Verdünnung		Messmethode Fe			
Base- oder Säurekapazität (K_b , K_s)					
Titration <input type="checkbox"/> kalt <input type="checkbox"/> heiß					
<input type="checkbox"/> NaOH		<input type="checkbox"/> End-pH 4,3		mL	
<input type="checkbox"/> H ₂ SO ₄ /HCl		<input type="checkbox"/> End-pH 8,2		N	
Probevolumen		Normalität		Volumen Säure/Base	
<input type="checkbox"/> NaOH		<input type="checkbox"/> End-pH 4,3		mL	
<input type="checkbox"/> H ₂ SO ₄ /HCl		<input type="checkbox"/> End-pH 8,2		N	
Probevolumen		Normalität		Volumen Säure/Base	
°C					
Verwendete Elektroden für pH und Redox-Spannung					
Referenztemperatur					
Fotonummern					
Lageskizze und Notizen					
Bemerkungen zur Probenahme und Probe					

6.5 Adressen der Bergbehörden in Deutschland

BADEN-WÜRTTEMBERG

Regierungspräsidium Freiburg
Landesamt für Geologie, Rohstoffe und
Bergbau Baden-Württemberg
Albertstraße 5, 79102 Freiburg/Breisgau
Tel.: 0761 208-3000
www.lgrb.uni-freiburg.de

BAYERN

*Die Aufgaben der Landesbergbehörde
werden im Bayerischen Staatsministe-
rium für Wirtschaft und Medien, Energie
und Technologie wahrgenommen:*
Bayerisches Staatsministerium für
Wirtschaft und Medien, Energie und
Technologie
Prinzregentenstraße 28, 80538 München
Tel.: 089 2162-0
www.stmwi.bayern.de

BERLIN

*Die Aufgaben der Landesbergbehörde in
Berlin übernimmt das Landesbergamt
Brandenburg:*
Landesamt für Bergbau, Geologie und
Rohstoffe Brandenburg
Inselstraße 26, 03046 Cottbus
Tel.: 0355 48640-0
www.lbgr.brandenburg.de

BRANDENBURG

Landesamt für Bergbau, Geologie und
Rohstoffe Brandenburg
Inselstraße 26, 03046 Cottbus
Tel.: 0355 48640-0
www.lbgr.brandenburg.de

BREMEN

*Die Aufgaben der Landesbergbehörde
für Bremen übernimmt das Landesberg-
amt Niedersachsen:*
Landesamt für Bergbau, Energie und
Geologie
Stilleweg 2, 30655 Hannover
Tel.: 0511 643-0
www.lbeg.niedersachsen.de

HAMBURG

*Die Aufgaben der Landesbergbehörde
für Bremen übernimmt das Landesberg-
amt Niedersachsen:*
Landesamt für Bergbau, Energie und
Geologie
Hamburg
Stilleweg 2, 30655 Hannover
Tel.: 0511 643-0
www.lbeg.niedersachsen.de

HESSEN

Regierungspräsidium Darmstadt
Abt. Arbeitsschutz und Umwelt
Wiesbaden Dezernat 44
Lessingstraße 16 – 18, 65189 Wiesbaden
Tel.: 0611 3309-0
www.rp-darmstadt.hessen.de

MECKLENBURG-VORPOMMERN

Bergamt Stralsund
Frankendamm 17, 18439 Stralsund
Tel.: 03831 6121-0
www.bergamt-mv.de

NIEDERSACHSEN

Landesamt für Bergbau, Energie und
Geologie
Stilleweg 2, 30655 Hannover
Tel.: 0511 643-0
www.lbeg.niedersachsen.de

NORDRHEIN-WESTFALEN

Bezirksregierung Arnsberg
Abt. 6 „Bergbau und Energie in NRW“
Goebenstraße 25, 44135 Dortmund
Tel.: 02931 82-0
www.bezreg-arnsberg.nrw.de

SACHSEN

Sächsisches Oberbergamt
Kirchgasse 11, 09599 Freiberg
Tel.: 03731 3720
www.oba.sachsen.de

THÜRINGEN

Thüringer Landesamt für Umwelt,
Bergbau und Naturschutz
Göschwitzer Straße 41,
07745 Jena
www.tluben.thueringen.de

6.6 Fallbeispiele

Die folgenden Fallbeispiele wurden von der Autorin und dem Autor ausgewählt, um spezielle Sachverhalte aufzuzeigen und obliegen deren Verantwortung.

6.6.1 Sachsen [Diana Burghardt]

In Sachsen fand in den vergangenen Jahrhunderten ein intensiver Erzbergbau statt, der zahlreiche Wasserlösestellen mit Arsen- und metallhaltigen Stollen- und Grubenwässern hinterließ. So bedingt die Schadstofffracht aus einigen Wasserlösestellen auch heute noch eine Überschreitung der entsprechenden Umweltqualitätsnormen (UQN) in den Fließgewässern, in die sie münden (Abb. 13, Bereich Altbergbau).

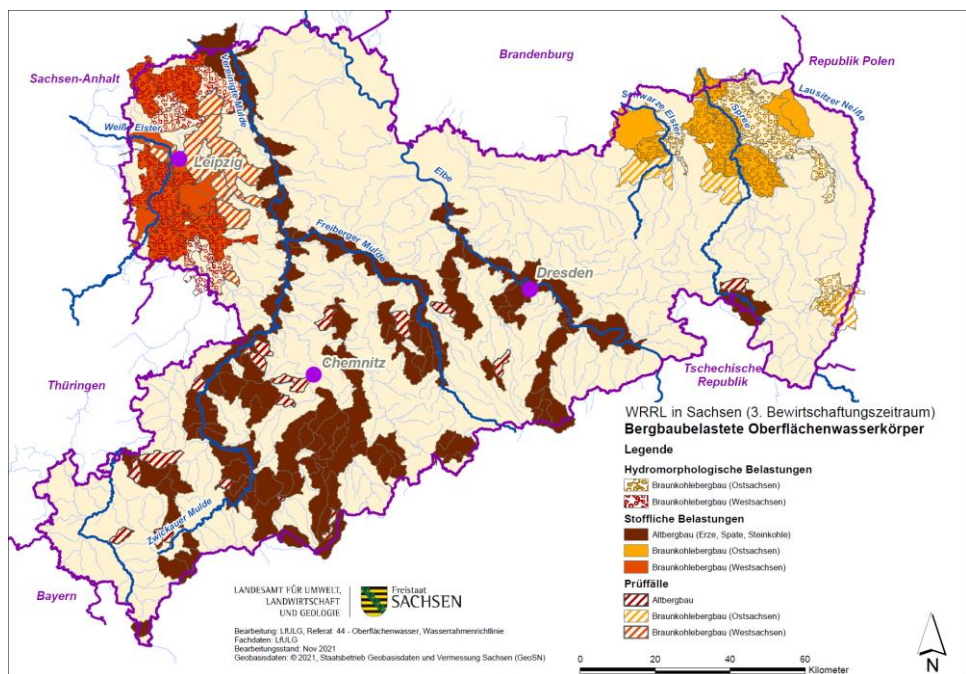


Abb. 13: Bergbaubeeinflusste Oberflächenwasserkörper (LfULG 2021).

Eine Verfehlung des gemäß EU-WRRL bis spätestens 2027 zu erreichenden, guten Zustandes dieser Gewässer ist deshalb zu erwarten. Das Sächsische Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG) lässt deshalb neben der Beschaffenheit der Oberflächengewässer auch an einer priorisierten Auswahl von 54 Stollenmundlöchern (Abb. 14) 4- bis 12-mal jährlich die Beschaffenheit der Stollenwässer analysieren. Diese Daten sind über das Umweltportal „Interdisziplinäre Daten und Auswertung“ (iDA) des Freistaates Sachsen online verfügbar. Der Volumenstrom eines Oberflächengewässers wird mittels amtlicher Pegelmessungen berechnet und ist online einsehbar (LfULG 2017).

Abflussraten der Stollenwässer werden durch das Sächsische Oberbergamt (SOBA) bisher nur stichpunktartig oder überschlägig erfasst und stehen noch nicht öffentlich zur Verfügung. Zudem befinden sich die amtlichen Beschaffenheitsmessstellen der Oberflächengewässer nicht an den Pegeln, die der Bestimmung der Abflussraten dienen.

Die bisher vorliegende Datengrundlage ist somit unzureichend, um Frachtanteile von Schadstoffen aus Stollen zu ihren Vorflutern oder ihre bergbaubürtigen Anteile der Schadstoffe in den Fließgewässern abschätzen zu können. Eine Bilanzierung von Schadstoffquellen für Oberflächenwasserkörper ist jedoch eine wichtige Beurteilungsgrundlage, um Maßnahmen zur Verminderung von Bergbaufolgen zu planen und die Ziele der EU-WRRL zu erreichen. Aufgrund der vorliegenden Datensituation war es Gegenstand einer Studie, die sächsischen Wasserlösestollen für ein Monitoring der Abflussraten nach den folgenden vier Kriterien zu priorisieren (KAISER 2018):

- **K₁** Flussordnungszahl
- **K₂** Abflussratenverhältnis Stollen : Vorfluter
- **K₃** Belastung der Stollenwässer (As, Cd, Zn)
- **K₄** Zugänglichkeit und Repräsentativität einer gemeinsamen Beschaffenheits- und Abflussmessstelle.

Im ersten Schritt der Arbeit erfolgte eine Aufbereitung des vorliegenden Datenbestandes (Trendanalysen von Beschaffenheitsdatenreihen, Abflussdaten MQ, MNQ aus hydrologischen Handbüchern, Information zum Abfluss und Sanierungsstand der sächsischen Stollenmundlöcher), um über die Ermittlung von Frachtanteilen der Stollen eine erste Vorauswahl für deren Abflussmonitoring treffen zu können. Für diese Stollen erfolgte anschließend eine Befahrung mit Messung der Abflussrate und Beschaffenheitsuntersuchung. Da eine Beschaffenheitsuntersuchung direkt am Mundloch des Stollens oftmals nicht repräsentativ für den tatsächlichen Beitrag der Schadstofffracht des Stollenwassers zum Vorfluter ist, wurden alle Beprobungen der Stollenwasser unmittelbar vor der Mündung des Stollenwassers in den Vorfluter durchgeführt und diese Position protokolliert. Untersuchungen zu einer ausschließlichen Beprobung des Vorfluters unmittelbar vor bzw. nach unterschiedlichen Einmischlängen nach Einmündung des Grubenwassers erbrachten, dass diese Methodik eine sehr aufwändige, standortspezifische Qualitätsprüfung einer vollständigen Einmischung erfordern würde. Da diese Einmischung zusätzlich in Abhängigkeit der hydrologischen Verhältnisse variiert, ist eine alleinige Beschaffenheitsprobenahme im Vorfluter nicht empfehlenswert.

Aus dem Ergebnis der Vorauswahl und der Befahrungen wurde eine Priorisierungsliste gemäß der Kriterien K1 – K3 erstellt (Tab. 8). Dabei betrug der Anteil des Stollenwassers am Gesamtabfluss bei fünf Stollen mehr als 10 %. Insgesamt zehn Stollenwasserzuflüsse waren ursächlich für eine mehrfache (> 1) Überschreitung der zulässigen UQN-Grenzwerte für As, Cd und oder Zn im Vorfluter (Tab. 1) verantwortlich.

Für jeden der Stollen, der für ein regelmäßiges Abflussratenmonitoring vorgeschlagen wurde, wurden detaillierte Informationen zu charakteristischen Daten, Probenahmeort und -stelle sowie räumlicher Einordnung zu den amtlichen Pegeln und Beschaffenheitsmessstellen auf einem Datenblatt (Abb. 15) zusammengestellt (Kriterium K₄; REUMANN UND BURGHARDT 2019).

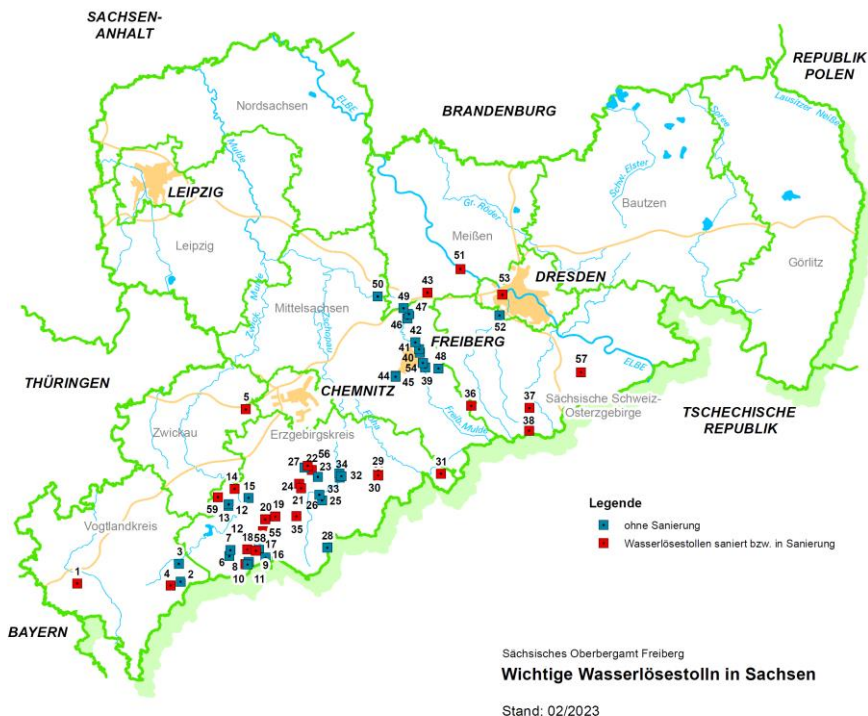


Abb. 14: Darstellung wichtiger Wasserlösestollen in Sachsen (Sächsisches Oberbergamt 2023, verändert; Lfd.-Nr. Stollnbezeichnung: 1 Brüder Einigkeit Stolln, 2 Mühleith Stolln (Dynamostolln), 3 Stolln Jägersgrün, 4 Wasserlösungsstolln zum Maischacht, 5 Lampertusstolln, 6 Eibenstocker Communstolln, 7 Tiefer Riesenberger Stolln, 8 Friedrich August Stolln, 9 Stolln 146, 10 Aaron Stolln, 11 Glück Auf Stolln, St. Georg Stolln, 12 Heßmühlentolln, 13 Unterer Troster Stolln, 14 Markus Semmler Stolln, 15 Tiefer Reichenbach Stolln, 16 Oberer und Tieferer Segen Gottes Stolln (Stolln 336), 17 St. Christoph Stolln, 18 Roter und Weißer Löwe, 19 Frisch Glück Stolln, 20 Treue Freundschaft Stolln, 21 Tiefer Haupt- oder Hüttenstolln, 22 Tiefer Sauberger Stolln, 23 Großvierunger Stolln, 24 Hirtenstolln, 25 Reiche Empfängnis Stolln, 26 Tiefer St. Christoph Stolln, 27 Tiefer König Dänemark Stolln, 28 Stolln 111, 29 Königlich Weißtaubner Tiefer Erbstolln, 30 Walfischstolln, 31 Tiefer Heilige Dreifaltigkeit Stolln, 32 Tropper Stolln, 33 Tiefer Hilfe Gottes Stolln, 34 Neuglück(er) Stolln, 35 Tiefer Erbstolln, 36 Tiefer Friedrich Christoph Erbstolln, 37 Neuer Bielastolln, 38 Tiefe Hilfe Gottes Stolln, 39 Schieferleithe Stolln, 40 Königl. Verträgliche Gesellschaft Stolln, 41 Hauptstolln-Umbruch, 42 Tiefer Lorenz Gegentrum Stolln, 43 Rothschönberger Stolln, 44 Thelersberger Stolln, 45 Sieben Planeten Stolln (Neuer Segen Gottes), 46 Tiefer Hilfe Gottes Stolln, Treue Sachsen Stolln, 47 Emanuel Erbstolln, Z/1750, 48 Friedrich Erbstolln, 49 Tiefer Wolf Stolln, 50 Adam Stolln, Segen Gottes Erbstolln, 51 Neuer König David Hilfsstolln, 52 Tiefer Weißeritz Stolln, 53 Tiefer Elbstolln, 54 Tiefe Morgensterner Abzugsrösche oder Tiefe Hüttenrösche, 55 St. Johannes Erbstolln, 56 Blei- und Silberzecher Stolln, 57 Tiefer Zwiesler Erbstolln, 58 Stollensystem Breitenbrunn, 59 Griefner Stolln).

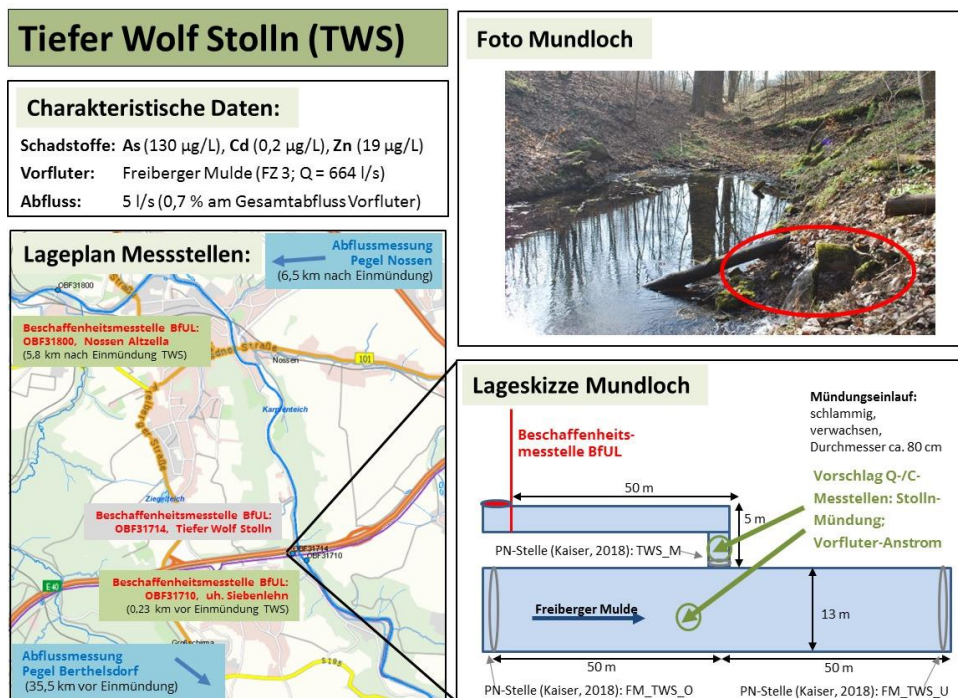


Abb. 15: Beispieldatenblatt nach dem Kriterium K_4 (Zugänglichkeit und Repräsentativität einer gemeinsamen Beschaffenheits- und Abflussmessstelle) für die nach $K_1 - K_3$ priorisierten zehn Stollen.

Tab. 8: Priorisierung der sächsischen Wasserlösestollen für ein Abflussratenmonitoring auf Basis von KAISER (2018) und unter Verwendung von Daten aus dem Datenportal iDA (www.umwelt.sachsen.de).

Priorisierungs- kriterium für Abflussraten- monitoring	K ₁ : Flussordnungszahl		K ₂ : Abflussratenverhältnis Stollen : Vorfluter			K ₃ : Belastung der Stollenwässer		
Vorauswahl Wasserlösestollen	Flussordnungszahl/ Vorfluter		Stichtags- messung ^[1]		Anteil Stollenabfluss am Gesamt- abfluss, %	x-fache Überschreitung der für Vorfluter zul. Fracht		
			\dot{V}_{Stollen} L/s	$\dot{V}_{\text{Vorfluter}}$ L/s		As	Cd	Zn
Tiefer Wolf Stolln	3	Freiberger Mulde	5	664	0,7	–	–	–
Glücksilberstolln	3	Freiberger Mulde	0,5 ⁽²⁾	730 ⁽³⁾	0,1	–	–	–
Königlich Verträglicher Gesellschaft Stolln	3	Freiberger Mulde	39	687	5,4	–	14,3	40,4
Hauptstolln- Umbruch	3	Freiberger Mulde	21	687	3,0	–	2,0	7,3
Reiche Empfängnis Stolln	5	Sehma	2	240	0,8	–	–	–
Tiefer St. Christoph Stolln	5	Sehma	40 ⁽²⁾	247	13,9	–	–	–
Tiefer König Dänemark Stolln	4	Zschopau	9	736	1,2	1,0	–	–
Tiefer Sauburger Stolln	5	Wilisch	79	118	40,1	64,4	–	2,3
Walfischstolln	7	Rote Pockau	45	170	20,9	2,3	1,0	2,3
Königlich Weißtaubner Tiefer Erbsstolln	7	Rote Pockau	83	170 ⁽⁴⁾	32,8	4,3	6,3	14,2
Frisch Glück Stolln	6	Oßwaldbach	2	73	2,7	–	1,6	2,4
Treue Freundschaft Stolln	4	Schwarzwasser	23	1.980 ⁽⁵⁾	1,5	–	–	–
Tiefe Reichenbach Hoffnung Stolln	5	Kuttenbach	5	38	11,8	–	1,6	3,8
Stolln 146	4	Schwarzwasser	5	469	1,1	–	–	1,0
Breitenbrunn, St. Christoph Stolln	4	Schwarzwasser	6	469 ⁽⁵⁾	1,3	–	–	2,4

(1) Stichtagsmessungen im Zeitraum von April bis Juli 2018

(2) Messungen aufgrund der hydrologischen Verhältnisse nicht möglich: Schätzung

(3) Messung aufgrund der hydrologischen Verhältnisse nicht möglich: Pegel Berthelsdorf (20.06.2018)⁽¹⁾

(4) Messung aufgrund der hydrologischen Verhältnisse nicht möglich: Abflussrate Walfischstolln übernommen

(5) Messung aufgrund der hydrologischen Verhältnisse nicht möglich: Pegel Aue 1 (20.06.2018)⁽¹⁾

6.6.2 Bayerische Pechkohlenmulde [Christian Wolkersdorfer]

Zur Erfassung sämtlicher Grubenwasseraustritte in der Oberbayerischen Pechkohlenmulde wurden langjährige Untersuchungen durchgeführt (OERTEL 2007, SIOTKA 2008, WOLKERSDORFER UND BANTELE 2013). Zunächst wurde alle verfügbare Literatur ausgewertet, um Anhaltspunkte zu den historischen Bergwerksstollen zu finden. Des Weiteren wurden Bergbauvereine kontaktiert und ehemalige Bergleute befragt. Dadurch ließen sich die noch bekannten Austritte von Grubenwasser oder Stollen der letzten Bergbauperiode bis in die 1970er Jahre auffinden. Ältere Stollen ließen sich nicht lokalisieren. Aus fast 100 Publikationen, die bis 1792 zurückreichen, und Recherchen im Bayerischen Hauptstaatsarchiv, im Bergamt Südbayern sowie der E.ON Energie Deutschland GmbH wurden sämtliche Hinweise auf Stollen zusammengetragen. Vorhandene Karten wurden georeferenziert und in ein GIS übernommen (Abb. 16). Insgesamt ließen sich 44 historische Stollen nachweisen, die im Jahr 2008 teilweise mehrmals befahren wurden. In insgesamt 17 Stollen wurde Grubenwasser angetroffen.

Als problematisch erwies sich der Mangel historischer Grubenrisse oder Lagepläne. Zwar waren die Stollen aus dem 19. und 20. Jahrhundert bei der bergbauinteressierten Bevölkerung weitgehend bekannt, für die Zeit zwischen dem ersten Bergbau auf Pechkohle (ca. 1464 bis etwa 1764) und den ersten planmäßigen Aufzeichnungen fehlten jedoch jegliche Details. So bedurfte es mehrere Versuche, um den in der Literatur beschriebenen Abbau auf Pechkohle im Sulzergraben zu finden. Außer alten anthropogenen Veränderungen (z. B. Halden, Pingen) waren keine ehemaligen Stollen in der Natur zu erkennen (Abb. 17). Auch auf der Lagerstättenkarte von Bayern waren die älteren Stollen nicht verzeichnet.

Für den Bereich des Steinkohlenbergwerks bei Miesbach lagen detaillierte Flözkarten vor (Abb. 16). Dennoch war es nach 145 Jahren nicht mehr möglich, die Schächte oder Grubenwasseraustritte zu lokalisieren.



Abb. 16: Ausschnitt aus der Flözkarte des Bergwerks bei Miesbach (Ende des 19. Jahrhunderts; Archiv Wolfgang Bloch).



Abb. 17: Heutige Situation am Sulzergraben.

In einem Fall war ein Stollen durch eine Deponie überschüttet. Mittels Leitfähigkeitsmessungen in einem Bach, der aus Richtung der Deponie kam, ließ sich jedoch der umgeleitete Grubenwasseraustritt lokalisieren. In einem anderen Fall waren die Unterlagen im Archiv fehlerhaft beschriftet (Leitzach-Stollen anstelle Ventilatorstollen). Im Röhthengraben, dessen Bezeichnung auf „rotes“ Grubenwasser schließen lassen könnte, wurde Grubenwasser von einem Anwohner vermutet. Es zeigte sich allerdings, dass das Oberflächenwasser durch Tannin gefärbt war (Abb. 18).



Abb. 18: Mischung von durch Tannin bräunlich gefärbten Bachwasser aus dem Röthengraben und klarem Wasser des Wilpartinger Grabens.

Erschwerend kam bei den Untersuchungen hinzu, dass die vorhandenen Karten teilweise im SOLDNER-Koordinatensystem, ein heute nicht mehr gebräuchliches, lokales Koordinatensystem vorlagen. Software-gestützte Umrechnungen ergaben abweichende Positionen für die Stollenmundlöcher.

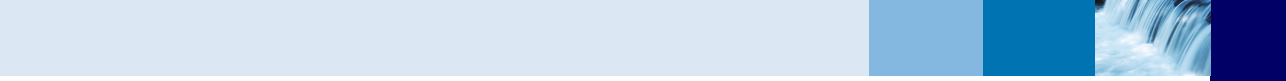
An allen Grubenwasseraustritten wurde die Abflussrate mittels Salzverdünnungsmethode oder einer volumetrischen Methode ermittelt. Darüber hinaus erfolgten mehrere Probenahmekampagnen, um repräsentative Grubenwasseranalysen zu erhalten. Am Ventilatorstollen an der Leitzach ergriff die Bayerische Landesregierung Maßnahmen, um die Wasserqualität zu verbessern.

6.6.3 Finnland [Christian Wolkersdorfer]

Am aufgelassenen Polymetallbergwerk Metsämonttu in Südwestfinnland (VARMA 1954) sollten in zwei Bergwerksschächten die chemischen Wasserparameter erfasst werden. Schacht 1 (Messstelle MSD) weist eine Teufe von etwa 250 m und Schacht 2 (Messstelle MS2) von etwa 650 m auf. Letzterer war zum Zeitpunkt des Abteufens der tiefste Schacht in Finnland. Ein Wasserprobenehmer aus transparentem PVC (PVC BioBailers™) mit einem Verschlussball am Ende des Rohres wurde eingesetzt. Dieser wurde manuell an einer 500 m Seilwinde in den jeweiligen Schacht hinabgelassen. In jeweils vier bis sechs Teufen wurden insgesamt bis zu neun Wasserproben entnommen. Da die chemischen Messergebnisse nicht im Einklang standen mit den Messungen der elektrischen Leitfähigkeit in verschiedenen Teufen, erfolgte zu einem späteren Zeitpunkt eine Vergleichsmessung mit einem Probenehmer aus Edelstahl. Dieser wurde in die gleichen Teufen hinabgelassen, erst bei Erreichen der Teufe geöffnet und war während des Aufholens geschlossen. Wie sich zeigte, liefern die Probenahmen mit dem BioBailer bei den großen Teufen eines Bergwerksschachts keine repräsentativen Ergebnisse (Tab. 9). Nur die stratifizierte Probenahme mit Probenehmern, die schließlich in der entsprechenden Teufe geöffnet werden, kann als zuverlässig angesehen werden.

Tab. 9: Messergebnisse von Teufenprobenahmen mit einem teiloffenen PVC und geschlossenen Edelstahl Wasserprobenehmer am Bergwerk Metsämonttu in Finnland am Schacht 1 und Schacht 2. Konzentrationen in mg/L.

		BioBailer (August 2015)				Edelstahl teufenorientiert (Juni 2018)			
Messtelle	Teufe, m	SO ₄ , mg/L	Cl, mg/L	Ca, mg/L	Fe, mg/L	SO ₄ , mg/L	Cl, mg/L	Ca, mg/L	Fe, mg/L
MSD	15	230	3,8	120	7,8	210	4,8	99	6,8
	65	230	3,7	110	7,7	200	4,0	97	6,5
	145	240	3,8	110	8,0	590	10,0	210	11,0
	214	240	3,9	120	8,2	600	10,0	220	13,0
MS2	13	26	2,5	34	0,6	–	–		
	95	24	2,4	34	0,6	27	2,3	32	0,4
	220	78	3,3	38	0,9	590	9,1	200	9,5
	290	41	3,7	53	2,0	2.800	560	530	34
	350	–	–	–	–	2.800	550	560	36
	500	–	–	–	–	2.800	560	560	36



Der vorliegende Leitfaden gibt einen Überblick über Grundlagen und Methoden zur fachgerechten und repräsentativen Probenahme von Grubenwasser aus Stollen, die sich in langjähriger, nationaler und internationaler Praxis bewährt haben. Vielfältige Hinweise und Empfehlungen sollen dazu beitragen, die Qualität der Probenahme weiter zu verbessern. Der Leitfaden beleuchtet im Wesentlichen die folgenden Aspekte:

- Begriffserläuterungen
- Gesetzliche Rahmenbedingungen
- Normen und Regelwerke
- Auswahl der Probenahmestelle
- Geräte und Ausrüstung für die Probenahme und Abflussmessung
- Besonderheiten bei der Probenahme in untertägigen Bergwerksanlagen
- Vor-Ort-Untersuchung
- Probenvolumina und Probenpräparation für die instrumentelle Analytik
- Analytik weiterer Parameter
- Empfehlungen zur Dokumentation
- Probenbezeichnung
- Abflussmessung

In Bochum wurde im Jahr 2015 der Arbeitskreis Grubenwasser der Fachsektion Hydrogeologie e. V. in der Deutschen Geologischen Gesellschaft - Geologische Vereinigung e. V. (FH-DGGV) gegründet, um das Fachwissen auf dem Gebiet des Grubenwassers zu bündeln und es seinen Mitgliedern und der Öffentlichkeit zugänglich zu machen. Naturwissenschaftler und Ingenieure mit langjähriger Erfahrung im Bereich der universitären Lehre, der Behörden und der Bergbauindustrie wirken darin mit, um das vorgenannte Ziel umzusetzen. So wurde in erstem Schritt im Jahr 2017 das Glossar Bergmännische Wasserwirtschaft erstellt, das über 450 Begriffe aus diesem Tätigkeitsbereich abhandelt.