



Merkblatt Nr. 3.8/6

Stand: 17. Februar 2010

alte Nummer: 3.8/6 vom 17. Mai 2002

Ansprechpartner: Referate 95 und 92

Entnahme und Untersuchung von Wasserproben bei Altlasten, schädlichen Bodenveränderungen und Gewässerverunreinigungen

Inhalt

1	Allgemeine Hinweise.....	3
1.1	Anwendungsbereich.....	3
1.2	Anforderungen an Untersuchungsstellen.....	3
2	Errichtung von Grundwassermessstellen	4
2.1	Lage und Anzahl	5
2.2	Bohrverfahren	6
2.3	Bohrdurchmesser.....	6
2.4	Bohrtiefe.....	6
2.5	Bohrproben	7
2.6	Ausbau	7
2.6.1	Filterstrecken.....	8
2.6.2	Vollrohrstrecken	8
2.6.3	Ringraum.....	9
2.6.4	Messstellenabschluss	10
2.6.5	Ausbauvarianten	10
2.7	Klarpumpen.....	11
2.8	Einmessen und Dokumentation der Bohrungen und Messstellen.....	11
2.9	Überprüfung von Grundwassermessstellen.....	12
2.9.1	Kontrollen während des Baus	12
2.9.2	Abnahme und Erstuntersuchung nach Fertigstellung.....	12
2.9.3	Routinekontrollen während des Betriebs	12
2.10	Sanierung und Rückbau von Grundwassermessstellen bzw. Bohrlochverfüllung.....	13

3	Entnahme von Grundwasserproben.....	14
3.1	Planung und Vorbereitung der Probenahme	14
3.2	Entnahme- und Messgeräte.....	15
3.3	Durchführung der Probenahme	16
3.3.1	Allgemeines.....	16
3.3.2	Ruhewasserspiegelmessung und Lotung der Messstelle.....	17
3.3.3	Abpumpen, Förderrate	17
3.3.4	Vor-Ort-Messungen.....	18
3.3.5	Abfüllen der Proben, Filtration	19
3.3.6	Entsorgung des Förderwassers	20
3.3.7	Reinigung der Geräte.....	20
3.4	Probenbehälter, Konservierung und Haltbarkeit der Proben.....	20
3.4.1	Probenbehälter.....	21
3.4.2	Probenvorbehandlung und -konservierung, Haltbarkeit	23
3.5	Tiefenorientierte Probenahme aus Grundwassermessstellen	26
3.6	Passive Probenahmeverfahren.....	26
3.7	Dokumentation der Probenahme	27
3.8	Plausibilitätskontrollen.....	27
4	Direct-push-Verfahren	28
4.1	Definition	28
4.2	Vortrieb.....	28
4.3	Beprobungslose Erkundung durch geotechnische und schadstoffdetektierende Sonden	28
4.4	Grundwasserentnahme.....	29
4.5	Vorgehensweise bei der Standorterkundung mit Direct-Push-Verfahren.....	29
4.6	Qualitätssicherung, Dokumentation	30
5	Probenahme von Oberflächenwasser	31
6	Entnahme von Bodensickerwasser	31
7	Analytik von Wasserproben	32
7.1	Allgemeines.....	32
7.2	Zusammenstellung von Analysemethoden	32
8	Literaturverzeichnis	43
ANHANG 1:	Abkürzungsverzeichnis	49
ANHANG 2:	Normenverzeichnis zur Wasseranalytik	53
ANHANG 3:	Checkliste zur Qualitätssicherung (Wasserprobenahme).....	61
ANHANG 4:	Muster-Messstellenpass für Grundwassermessstellen	63
ANHANG 5:	Muster-Probenahmeprotokoll für Grundwasser	65

Dieses Merkblatt ersetzt das Merkblatt Nr. 3.8/6 vom 17. Mai 2002

1 Allgemeine Hinweise

1.1 Anwendungsbereich

Dieses Merkblatt enthält Vorgaben und Hinweise für die fachgerechte Probenahme und Untersuchung von Gewässern in Fällen möglicher Verunreinigungen durch Altlasten, schädlichen Bodenveränderungen oder durch direkte Stoffeinträge (z. B. Unfälle mit wassergefährdenden Stoffen). Für die Probenahme von Oberflächenwasser ergeben sich andere Anforderungen als bei der Probenahme aus Bodensickerwasser und Grundwasser. Das Merkblatt beschäftigt sich schwerpunktmäßig mit der Probenahme von Grundwasser. Auf die Probenahme von Oberflächenwasser (Kapitel 5) und Bodensickerwasser (Kapitel 6) wird daher nur kurz eingegangen. Für die Probenahme von Grundwasser kommen Brunnen, gefasste und ungefasste Quellen, aufgedecktes Grundwasser (vor allem Baggerseen) sowie vorhandene oder zum Zweck der Schadensuntersuchung eingerichtete Grundwassermessstellen in Frage. Einen Sonderfall stellen Sickerwasseraustritte dar. Da bei der Untersuchung von Altlasten in der Regel gezielt neue Grundwassermessstellen errichten werden, widmet sich das Kapitel 2 ausführlich den dabei zu beachtenden Anforderungen. Die direkte Untersuchung von Grundwasser mittels Direct-Push-Verfahren wird in einem eigenen Kapitel (4) behandelt.

Aussagekräftige Untersuchungsergebnisse setzt die Entnahme von repräsentativen Proben voraus. Vor allem bei Stoffkonzentrationen im Spurenbereich können Fehler beim Messstellenbau und bei der Probenahme die Fehler bei der analytischen Bestimmung um Größenordnungen übertreffen. Dieses Merkblatt soll durch **einheitliche Vorgaben** zur Errichtung von Messstellen, zur Entnahme von Proben und zu deren Untersuchung, die Vergleichbarkeit, Reproduzierbarkeit und Aussagekraft von Untersuchungsergebnissen erhöhen.

1.2 Anforderungen an Untersuchungsstellen

Die Aufgaben nach dem Bundes-Bodenschutzgesetz [BBodSCHG, 1998] und nach dem Bayerischen Bodenschutzgesetz [BAYBodSCHG, 1999] sollen in der Regel von nach § 18 BBodSchG zugelassenen Sachverständigen und Untersuchungsstellen wahrgenommen werden. Die entsprechende Zulassung nach der Verordnung über Sachverständige und Untersuchungsstellen für den Bodenschutz und die Altlastenbearbeitung in Bayern (VSU Boden und Altlasten) [VSU, 2001] erfolgt durch das Bayerische Landesamt für Umwelt (LfU). Näheres regelt die Verfahrensordnung zur Überprüfung und Bekanntgabe von Sachverständigen und Untersuchungsstellen (VerfO, [LFU VERFO, 2002]) nach § 18 BBodSchV. Aktuelle Informationen zu umweltrechtlichen Vorschriften können im Infozentrum UmweltWirtschaft des LfU [IZU LfU] erhalten werden.

Für die Entnahme und Untersuchung von Wasserproben bei der Untersuchung von Altlastverdachtsflächen im Rahmen der Amtsermittlung sind von den Wasserwirtschaftsämtern ausschließlich nach VSU zugelassene Untersuchungsstellen zu beauftragen. Das LfU empfiehlt jedoch zur Gewährleistung einer hinreichenden Qualitätssicherung und damit eines effizienten und zügigen Verfahrens auch in den übrigen Verfahrensschritten (Detailuntersuchung, Sanierung) ausdrücklich, nur nach VSU zugelassene Untersuchungsstellen mit der Entnahme und Untersuchung von Wasserproben zu beauftragen. Dies kann nach § 9 Abs. 2 Satz 2 BBodSchG von der Kreisverwaltungsbehörde (KVB) gefordert werden.

Gemäß § 14 VSU Boden und Altlasten muss eine Untersuchungsstelle unter anderem definierte personelle und gerätetechnische Voraussetzungen erfüllen. Zulassungsvoraussetzung für die Probenahme und Vor-Ort-Analytik von Grund-, Sicker- und Oberflächenwasser (Untersuchungsbereich 4a) ist auch die Erfüllung der in der Anlage 2 Teil A VSU Boden und Altlasten ausgeführten Anforderungen an die Kompetenz von Untersuchungsstellen. Anlage 3 der VerfO des LfU zeigt für die jeweils beantragten Untersuchungsbereiche die entsprechenden Verfahrensweisen und Methoden auf, die von der Untersuchungsstelle nachweislich zu beherrschen und routinemäßig anzuwenden sind. Die für die Zulassung erforderliche gerätetechnische Mindestausstattung zur Durchführung der Probenahme von

Grund-, Sicker- und Oberflächenwasser wird durch Teil C VSU Boden und Altlasten festgelegt. Die fachlichen Anforderungen an die Probenahme und Untersuchung von Wasserproben in konkreten Einzelfällen werden durch die **Vorgaben** dieses Merkblatts bestimmt.

Zur Überprüfung der Einhaltung der Merkblatt-Anforderungen zur Probenahme dient die im Anhang 3 aufgeführte **Checkliste**.

Hinweise für die Vergabe von Leistungen durch die Verwaltung im Rahmen der Amtsermittlung bei der Orientierenden Untersuchung, also auch bezüglich der Probenahme, enthält das [LFU-MERKBLATT NR. 3.8/2, 2009].

2 Errichtung von Grundwassermessstellen

Für die Gewinnung von Grundwasserproben werden im Regelfall Grundwassermessstellen errichtet. Die Festlegung der Lage und Tiefe der dafür erforderlichen Bohrungen ist ausschließlich von Personal mit einschlägigen Erfahrungen im Bereich Hydrogeologie vorzunehmen, da eine fachgemäße Beurteilung der geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse für den Untersuchungserfolg maßgebend ist. Auf die Anzeigepflicht von Bohrungen nach Art. 34 (1 in Verbindung mit 3) [BAYWG, 1994] wird hingewiesen. Zuständig ist die jeweilige Kreisverwaltungsbehörde, Fachbehörde ist das örtlich zuständige Wasserwirtschaftsamt. Bei Bohrungen > 100 Meter Tiefe wird auf die erforderliche bergrechtliche Behandlung nach § 127 [BBERG, 1980] hingewiesen.

Die Errichtung von Grundwassermessstellen ist von Bohrunternehmen durchzuführen, die als Fachbetrieb nach [DVGW W 120, 2005] zertifiziert sind oder vergleichbare Qualifikationskriterien nachweisen können. Bei Bohrunternehmen, die eine entsprechende Qualifikation nicht nachweisen können, ist die Bauleitung durch ein hydrogeologisch arbeitendes Fachbüro erforderlich. Bei den Arbeiten sind die Arbeitsschutz- und Unfallverhütungsvorschriften zu beachten. Nähere Ausführungen hierzu sind den BG-Regeln BGR 161, Arbeiten im Spezialtiefbau, [BG BAU, 2006] zu entnehmen.

Bei ungeklärten hydrogeologischen Verhältnissen sind geeignete Voruntersuchungen (z. B. Aufschlussbohrungen, geophysikalische Untersuchungen) erforderlich, um die Grundwassermessstellen optimal zu planen bzw. zu platzieren. Dennoch ist es vielfach notwendig, die ersten Grundwassermessstellen nach Auswertung der hydrogeologischen und hydrochemischen Daten später – und ggf. schrittweise – durch zusätzliche Messstellen zu ergänzen.

Die nachfolgenden Erläuterungen geben grundlegende Hinweise zur Vorgehensweise bei der Errichtung von Grundwassermessstellen unter Berücksichtigung der besonderen Anforderungen bei Altlasten, schädlichen Bodenveränderungen und Gewässerverunreinigungen. Ausführlichere Informationen, auch zu speziellen Problemstellungen, können unter anderem der im Kapitel 8 zusammengestellten Literatur entnommen werden. Für den Bau und Ausbau von Grundwassermessstellen ist vor allem die Technische Regel [DVGW W 121, 2003] einschlägig. Hinzuweisen ist im Übrigen auch auf das [LFW-MERKBLATT NR. 2.1/7, 2003] „Bau von Grundwassermessstellen“, das sich schwerpunktmäßig mit der Ausschreibung und Vergabe bei gewässerkundlichen Grundwassermessstellen befasst. In den Anlagen zu diesem Merkblatt finden sich unter anderem Musterpläne für Messstellenköpfe.

Der Ausbaudurchmesser von Grundwassermessstellen soll in der Regel mindestens DN 125 (= 5") betragen, Näheres dazu wird in Kapitel 2.3 ausgeführt. Die gezielte Errichtung von kleinkalibrigen Grundwassermessstellen, meist 2"-Grundwassermessstellen – je nach Zielsetzung auch als temporäre Grundwassermessstellen bezeichnet – soll der Ausnahmefall bleiben. Derartige Grundwassermessstellen eignen sich vorrangig zur Messung der Grundwasserstände, z. B. wenn die Grundwasserfließrichtung nicht bekannt ist oder Pumpversuche beobachtet werden sollen. Sie sind auf flache und homogen aufgebaute Grundwasserleiter des obersten Grundwasserstockwerks zu beschränken (keine sichere Abdichtung von Trennschichten möglich).

Für die Grundwasserprobenahme kommen kleinkalibrige Grundwassermessstellen nur in Frage, wenn

- es sich um filterstabile Lockergesteine handelt,
- bei feinkörnigen Böden – soweit hier ein Ausbau überhaupt sinnvoll ist – eine Filterkiesschüttung eingebracht wird, und
- der Ausbau mit PVC- oder PE-HD-Rohren erfolgt (keine Rammfilterbrunnen mit Gewebefilter).

Klarpumpen und Probenahme sind mit einer leistungsfähigen 2“-Tauchpumpe durchzuführen. Saugpumpen sind für Probenahmen in der Regel nicht geeignet. Auf mögliche Probleme beim Ein- und Ausbau von Tauchpumpen bei geringen Ausbaudurchmessern ist hinzuweisen. Die erhaltenen chemischen Untersuchungsbefunde sind im Hinblick auf ihre Repräsentativität kritisch zu bewerten. Für Pumpversuche sind derartige Messstellen wegen der geringen erzielbaren Entnahmeraten ungeeignet. Wenn zu einem frühen Zeitpunkt bereits mit einem Sanierungsbedarf zu rechnen ist, ist der Einsatz von temporären Grundwassermessstellen in der Regel nicht sinnvoll, da die Errichtung von Sanierungsbrunnen und stationären Grundwassermessstellen für Monitoringzwecke ohnehin zu erwarten ist.

2.1 Lage und Anzahl

Anzahl und Lage der Grundwassermessstellen sind abhängig von der Untersuchungsphase, vom jeweiligen Untersuchungsziel und Kenntnisstand. Die Grundsätze der Untersuchungsstrategie sind im [LFW-MERKBLATT NR. 3.8/1, 2001] näher erläutert.

Zur Erfassung der Konzentration im unmittelbaren Grundwasserabstrom von Verdachtsflächen bzw. **Kontaminationszentren** kann **eine** Grundwassermessstelle ausreichend sein, wenn es sich um kleinräumige Kontaminationen handelt und ausreichende Kenntnisse zur Grundwasserfließrichtung vorliegen. Ist Letzteres nicht der Fall, sind im nahen Umfeld der zu bewertenden Fläche mindestens drei Grundwassermessstellen zu errichten und die Grundwasserfließrichtung im Rahmen einer Stichtagsmessung zu ermitteln. Dabei ist sicherzustellen, dass diese Grundwassermessstellen im selben Grundwasserleiter verfiltert sind. Bei komplexen Grundwasserverunreinigungen und zur Ermittlung der **räumlichen Ausdehnung** von Grundwasserkontaminationen sind generell mehrere Grundwassermessstellen zu errichten. Deren Lage richtet sich nach den hydrogeologischen Gegebenheiten. Im Rahmen der Detailuntersuchung sollte im Idealfall eine lückenlose Erfassung der Grundwasserabstrombreite durch überlappende Entnahmebereiche erreicht werden. Eine Anordnung der Grundwassermessstellen entlang von einer oder mehreren Kontrollebenen senkrecht zur Grundwasserfließrichtung ist dabei zweckmäßig. Bei der Anordnung sind die schadstoff- und untergrundabhängigen Fahnenlängen zu beachten. In der Praxis wird aber oft nur ein Teil der Grundwasserabstrombreite erfassbar sein. Konkrete Vorgaben (z. B. [LUBW, 2008]: mindestens 50 % der Abstrombreite bei Detailuntersuchungen) können hier nicht gemacht werden, da viele Einflussgrößen und ggf. Einschränkungen zu beachten sind (vor allem erzielbare Förderraten), die eine Einzelfallentscheidung erfordern. Sollen aber Immissionspumpversuche durchgeführt werden, die bei komplexen Schadensfällen (mehrere Schadstoffquellen, unterschiedliche Schadstoffe, inhomogener Untergrund) eine integrale Untersuchung der Schadstofffahne ermöglichen, ist die vollständige Erfassung der Fahne auf Höhe der Kontrollebene anzustreben [STADT STUTTGART, 2008].

Werden Ergebnisse aus Grundwasseruntersuchungen zur Ermittlung der Sickerwasserkonzentration am Ort der Beurteilung (im Sinn der BBodSchV) verwendet, sollte sich die Lage der dazu herangezogenen Messstellen im Zentrum oder unmittelbaren Abstrom des Kontaminationszentrums befinden.

Die Verwendung bereits vorhandener Grundwassermessstellen richtet sich nach den Erfordernissen eines jeden Einzelfalls. Ihre Eignung muss anhand der Bohr- und Ausbauprofile und bereits durchgeführter Betriebskontrollen geprüft werden. Liegen Letztere nicht vor, sollte die Eignung nach Einmes-

sen der Messstellentiefe und des Wasserstands durch einen ausreichend dimensionierten Pumpversuch ermittelt werden. Bei unvollständigen oder fehlenden Unterlagen (vgl. Datensatz aus „Muster-Messstellenpass“ im Anhang 4) sollte der Messstellenausbau durch geophysikalische Messungen und/oder Kamerabefahrungen geprüft werden, da Grundwasseruntersuchungen sonst unter Umständen nur bedingt aussagekräftig sind.

2.2 Bohrverfahren

Das Bohrverfahren richtet sich nach den speziellen Erfordernissen. Grundsätzlich sind nur **Trockenbohrverfahren** anzuwenden. Wenn die Untergrundbeschaffenheit nicht in ausreichendem Maße bekannt ist, sind Kernbohrungen ggf. mit horizontierter Beprobung und Untersuchung der Bohrkerne vorzuziehen.

Sind Spülbohrungen unvermeidlich, so ist als Spülflüssigkeit nur unbelastetes Wasser in Trinkwasserqualität (d. h. auch ohne Spülzusätze) zu verwenden. Das Vorgehen ist vor den Bohrungen mit dem jeweils zuständigen Wasserwirtschaftsamt abzustimmen. Zu einzelnen Bohrverfahren wird auf das [LFU-MERKBLATT NR. 3.8/4, 2010] verwiesen. Um Verschleppungen zu vermeiden, dürfen nur ausreichend gereinigte Bohreräte verwendet werden.

Es muss sichergestellt sein, dass durch die Bohrungen keine Schadstoffverfrachtungen in den Untergrund stattfinden können.

2.3 Bohrdurchmesser

Der Bohrdurchmesser richtet sich nach dem geplanten Ausbaudurchmesser der Grundwassermessstelle. Der Ausbaudurchmesser (Innendurchmesser) für Grundwassermessstellen zur chemisch-physikalischen Untersuchung des Grundwassers sollte die Nennweite DN 125 (= 5") nicht unterschreiten. Bei Grundwassersanierungen wird ein Ausbaudurchmesser von mindestens DN 150 (= 6") empfohlen.

Als Faustregel zur Ermittlung des Bohrdurchmessers kann nachstehende Formel herangezogen werden:

$$\text{Bohrdurchmesser [mm]} = \text{Außendurchmesser des Ausbaurohres [mm]} + 2 * 80 \text{ mm}$$

Beispiel: Für eine 5"-Grundwassermessstelle (DN 125: Innendurchmesser 125 mm, Außendurchmesser 140 mm) errechnet sich ein Bohrdurchmesser von 300 mm.

Bei der Ermittlung des Bohrdurchmessers ist der Außendurchmesser des Ausbaurohres über der Muffe maßgeblich. Kleinere als die nach der Formel errechneten Bohrdurchmesser lassen erfahrungsgemäß keine sachgerechte Verfüllung des Ringraums (Raum zwischen Bohrlochwand und Einbaurohren) zu. Insbesondere bei tiefen Grundwassermessstellen sollten daher der Filterkies über Schüttleitungen eingespült werden. Wie im [LFW-MERKBLATT NR. 2.1/7, 2003] beschrieben, ist daher bei tiefen Grundwassermessstellen ein Mindestdurchmesser der Bohrung von 400 mm vorzusehen.

2.4 Bohrtiefe

Die Bohrungen sind bei geringmächtigen Grundwasserleitern möglichst bis zur Grundwassersohlschicht abzuteufen. Bei mächtigen Grundwasserleitern sollte eine Bohrtiefe bis möglichst 20 Meter unter den Grundwasserspiegel (bezogen auf den Niedrigwasserstand) bzw. bei gespannten Grundwasserverhältnissen ab Grundwasseranschnitt erreicht werden. Bei Verdacht auf Vorliegen von Schadstoffphasen auf dem Grundwasserstauer (DNAPL) ist dies jedoch nicht ausreichend. Hier ist in Absprache mit dem zuständigen Wasserwirtschaftsamt zu entscheiden, bis zu welcher Tiefe im Bereich der Grundwassersohlschicht die Bohrungen reichen und wie der spätere Ausbau erfolgen soll. Sind dagegen die höchsten Schadstoffkonzentrationen im obersten Bereich des Grundwasserleiters zu erwarten, kann die Bohrtiefe reduziert werden. Eine Bohrtiefe von fünf Meter unterhalb des tiefsten

Grundwasserspiegels sollte hierbei nicht unterschritten werden, wobei die Absenkung des Grundwasserspiegels bei der beabsichtigten Förderrate zu berücksichtigen ist.

Ein Durchbohren schwer durchlässiger **Deck- oder Trennschichten** zwischen verschiedenen Grundwasserstockwerken ist bei der Erkundung des obersten Grundwasserleiters zu vermeiden. Ein Abteufen in **tieferen Grundwasserstockwerke** darf nur nach sorgfältiger Abwägung erfolgen, wenn nicht ausgeschlossen werden kann, dass ein Stofftransport dorthin bereits erfolgt ist (z. B. bei Vorliegen von DNAPL in Phase im obersten Grundwasserstockwerk). Dies gilt auch für hydraulisch und hydrochemisch abgrenzbare Grundwasserleiter (insbesondere Tiefengrundwasser), auch wenn keine eindeutigen Trennschichten vorhanden sind. Ist das Erbohren eines tieferen Grundwasserleiters notwendig, muss ein hydraulischer Kurzschluss mit dem darüber liegenden Grundwasserleiter durch entsprechende Abdichtungen ausgeschlossen werden. Insbesondere im Bereich hoch kontaminierter Bohrstandorte darf bei Vorliegen der oben genannten Voraussetzungen das tiefer gelegene Grundwasserstockwerk bzw. der tiefere Grundwasserleiter erst nach Setzen einer entsprechenden Abdichtung (z. B. Sperrrohr und Zementierung) angeschnitten werden. Treten Unklarheiten auf oder wurden Deck- bzw. Trennschichten versehentlich durchbohrt, ist dies unverzüglich dem zuständigen Wasserwirtschaftsamt zu melden, um das weitere Vorgehen abzustimmen.

2.5 Bohrproben

Die Bodenprobenahme ist nach dem [LFU-MERKBLATT NR. 3.8/4, 2010], die Untersuchung der Bodenproben ist nach den Anforderungen im [LFW-MERKBLATT NR. 3.8/5, 2002] durchzuführen.

2.6 Ausbau

Neben den geologischen und hydrogeologischen Verhältnissen und der jeweiligen Fragestellung richtet sich der Ausbau einer Grundwassermessstelle insbesondere nach den örtlichen Gegebenheiten (z. B. Nutzung des Geländes) und der stofflichen Belastung im Boden und Grundwasser.

Die Ausbauverrohrung muss beständig sein gegen mechanische Beanspruchung (z. B. beim Einbau oder durch Gebirgsdruck) und chemisch-physikalische Einflüsse (z. B. Schadstoffangriff). Im Normalfall sind **Verrohrungen aus PVC oder PE-HD üblich**. Bei verstärktem chemischem Angriff werden PE-HD-, für extreme Anwendungen PTFE- (Teflon) oder Edelstahlrohre empfohlen. Eine Übersicht möglicher Wechselwirkungen zwischen (Schad-)Stoffen und Ausbaumaterialien enthält [DVWK M 20, 1990].

Beim Ausbau von Grundwassermessstellen ist zwischen einer vollständigen Verfilterung (vollkommener Ausbau) und einer tiefenorientierten Verfilterung (unvollkommener Ausbau) zu unterscheiden.

Vollständig verfilterte Grundwassermessstellen erlauben in erster Linie eine tiefenintegrierte Aussage zur Grundwasserbeschaffenheit. Hinweise zu tiefenorientierter Beprobung von vollständig verfilterten Grundwassermessstellen sind in Kapitel 3.5 aufgeführt. Nachteilig ist diese Ausbaulariate aus folgenden Gründen:

- Wenn horizontierte Konzentrationsunterschiede von Schadstoffen bestehen, werden diese ohne Zuhilfenahme spezieller Probenahmesysteme beim Abpumpen in der Regel nicht erkannt. Eine tiefenorientierte Beprobung ist dann nicht bzw. nur eingeschränkt möglich. Es besteht zudem die Gefahr der Verschleppung von Schadstoffen im Zuge der Probenahme in andere Horizonte.
- Beim Vorhandensein von vertikalen Druckgradienten kann es zu einer permanenten Durchströmung des verfilterten Abschnitts mit entsprechender Stoffverlagerung kommen. Dies ist vor allem bei einem abwärts gerichteten Gradienten problematisch.

Aus diesen Gründen sollten voll verfilterte Grundwassermessstellen nur ausgeführt werden,

- bei geringmächtigen und homogenen Grundwasserleitern
- bei inhomogenem Untergrundaufbau nur, wenn in der Bohrung keine Vertikalströmungen zu erwarten sind bzw. gemessen wurden. Mit vertikalen Druckgradienten ist beispielweise zu rechnen, wenn sich die hydraulischen Durchlässigkeiten zwischen zwei Bereichen des Grundwasserleiters deutlich unterscheiden (mehr als zwei Größenordnungen).
- wenn aufgrund des Schadstoffinventars nicht mit einem, durch höhere Stoffdichten induzierten, Transport über die Messstelle in tiefere Schichten zu rechnen ist.

Die Filterstrecken sollten aus den oben genannten Gründen eher kurz gehalten werden.

Bei tiefen Grundwassermessstellen kann aus Gründen der Stabilität eine Aufteilung in mehrere Filterabschnitte mit Zwischenabdichtungen geboten sein.

Tiefenorientiert verfilterte Grundwassermessstellen sollten errichtet werden, wenn die oben genannten Voraussetzungen nicht vorliegen oder wenn gezielt tiefenorientierte Proben gewonnen werden sollen. Dies ist beispielsweise im Rahmen der Detailuntersuchung/Sanierungsuntersuchung der Fall. Hinweise zu den verschiedenen Ausbauvarianten enthält Kapitel 2.6.5.

2.6.1 Filterstrecken

Die Filterstrecken einer Grundwassermessstelle sind so einzurichten, dass

- nur **eine** Grundwasser führende Schicht erfasst wird (Ausschluss hydraulischer Kurzschlüsse)
- Grundwasserleiter mit unterschiedlichen chemischen und hydraulischen Eigenschaften getrennt erfasst werden, selbst wenn keine gering durchlässige Schicht zwischen ihnen liegt
- mögliche Schadstoffansammlungen (DNAPL) an der Grundwassersohle erfasst werden
- bei großen Aquifermächtigkeiten die wassergesättigte Zone des Grundwasserleiters in einer Mächtigkeit von möglichst 20 Meter (bezogen auf den Niedrigwasserstand bzw. bei gespannten Grundwasserverhältnissen ab Grundwasseranschnitt) erschlossen wird. Dabei muss ausgeschlossen sein, dass Phasen von DNAPL sich bilden bzw. vorliegen können (siehe auch Kapitel 2.4)
- keine Vertikalströmungen in der Messstelle entstehen, die zu einer Verlagerung der Schadstoffe führen
- der Filter bis ein Meter über dem höchsten anzunehmendem Grundwasserstand reicht, wegen evtl. aufschwimmender Schadstoffphasen und oxidisch gebundener bzw. adsorbierter Schadstoffe. Ist die Höhenlage des Grundwasserspiegels vor der Bohrung nicht genau bekannt, ist in der Bohrung der Ruhewasserspiegel eindeutig zu bestimmen und für die Festlegung der Filterstrecke mit einem ausreichenden Sicherheitszuschlag zu versehen (d. h., es ist bei den Bohrarbeiten eine **entsprechende Wartezeit** einzuplanen, bis sich der Ruhewasserspiegel eingestellt hat)
- bei gespanntem Grundwasser die Filterstrecke auf den Grundwasserleiter zu beschränken ist.

2.6.2 Vollrohrstrecken

Vollrohrstrecken sind einzubauen

- im Bereich zwischen Geländeoberkante (GOK) und einer Tiefe von mindestens 1,5 Meter, um die Bohrung wirkungsvoll gegen den Zutritt von Oberflächenwasser zu sichern

- beim Erschließen tieferer Grundwasserstockwerke im Bereich zwischen GOK und Unterkante des Grundwasserstauers, der den zu erschließenden Grundwasserleiter überdeckt
- bei gespanntem Grundwasser bis an den zu erschließenden Grundwasserleiter.

Auf den Einbau eines Sumpfrohrs ist zu verzichten, da sich dort Schadstoffe anreichern können (z. B. DNAPL), die möglicherweise eine Untersuchung des Grundwassers beeinflussen.

2.6.3 Ringraum

An Ringraumverfüllungen sind folgende Anforderungen zu stellen (siehe auch [DIN 4924, 1998] und [DVGW W 113, 2001]):

- Das **Verfüllmaterial** darf zu keiner chemischen, physikalischen oder biologischen Beeinträchtigung der Grundwasserqualität führen. Die Grundwasserverträglichkeit des verwendeten Materials ist von der Bohrfirma nachzuweisen. Eine Verfüllung mit Bohrgut ist grundsätzlich nicht zulässig.
- Die Wahl der **Filterkieskörnung** und der **Filterschlitzweite** ist in Lockergesteinen auf die Korngrößenverteilung des Aquifers abzustimmen. Die Kieskörnung soll mindestens das Zweifache der Schlitzweiten betragen und nicht zu klein gewählt werden, da unter einer Korngröße < 4 mm die Gefahr der Selbstabdichtung der Messstelle wächst.
- Durch geeignete Maßnahmen (Einsatz gleichkörniger Schüttgüter, Verwendung von Schüttrohren) ist sicherzustellen, dass beim Einbringen des Verfüllmaterials in den Ringraum während des Absinkens im Wasser keine Sortierung von Korngemischen auftreten kann, da dadurch die angestrebten Filter- bzw. Dichteigenschaften der Ringraumverfüllung nicht mehr gegeben sind.
- **Dichtstrecken** sind mit geeigneten Ton-Zement-Gemischen oder quellfähigen Tongranulaten herzustellen, da diese sich zuverlässig der Bohrung anpassen und auch im Falle von Bewegungen im Ringraum ihre Funktion nicht verlieren. In der wasserungesättigten Bodenzone dürfen Tongranulate nur verwendet werden, wenn durch ausreichende Bergfeuchte der Quellvorgang gewährleistet ist. Für Tongranulate sind möglichst kleine Korndurchmesser zu wählen (< 15 mm), um sofort eine möglichst hohe Lagerungsdichte zu erzielen und die Gefahr der Brückenbildung an Engstellen herabzusetzen.
- Das Bedarfsvolumen für die geplanten Verfüllstrecken ist vorab zu ermitteln; als Orientierungshilfe kann die Tabelle 1 herangezogen werden. Das Material ist langsam und unter ständiger Volumenkontrolle (z. B. Verwendung von Schüttkübeln mit definiertem Volumen) einzubauen. Ein bloßes Ausloten des Ringraums zur Ermittlung der Verfüllhöhe ist nicht zulässig. Insbesondere bei tiefen Grundwassermessstellen ist die Einbringung über eine Schüttleitung vorzunehmen. Verfüllfehler können erhebliche Setzungen des Ringraums und die Notwendigkeit eines Rückbaus der Grundwassermessstelle nach sich ziehen. Übergänge zwischen Tonabdichtungen und Filterkies sind stets durch den Einbau von Gegenfiltern gemäß [DIN 4924, 1998] filterstabil herzustellen, um das Vermischen fein- und grobkörniger Partien zu vermeiden.
- Um Setzungseinflüsse im Ringraum zu berücksichtigen, ist der Filterkies in der Regel bis mindestens einen Meter oberhalb der Oberkante des Filterrohres aufzufüllen.

Tabelle 1: Füllmengen beim Messstellenbau

Filterrohr (Innenrohr- durchmesser) *) [mm]		Mindestbohr- durchmesser **) [mm]	Füllmengen [Liter/Bohrmeter] bei gängigen Bohrdurchmessern [mm]				
DN	(Zoll)		300	311	318	368	419
125	(5)	300	55	61	64	91	122
150	(6)	325	-	-	-	85	117
200	(8)	385	-	-	-	-	102

*) Außenrohrdurchmesser (abhängig von Wandstärke des Rohres)
= Innenrohrdurchmesser + ca. 2 * 7,5 mm

**) Mindestbohrdurchmesser [mm] = Außenrohrdurchmesser [mm] + 2 * 80 mm

Bei anderen Bohrdurchmessern lässt sich die Füllmenge nach folgender Formel abschätzen:

$$\text{Füllmenge [Liter/Bohrmeter]} = \left[\left(\frac{1}{2} * \text{Bohrdurchmesser [mm]} \right)^2 - \left(\frac{1}{2} * \text{Außenrohrdurchmesser [mm]} \right)^2 \right] * \pi / 1000,$$
 wobei Kreiszahl $\pi \approx 3,14$

2.6.4 Messstellenabschluss

Der Messstellenabschluss muss folgende Kriterien erfüllen:

- Frostsicherheit
- Abschließbarkeit (z. B. durch Verwendung einer verschließbaren Kappe)
- dauerhafte Beschriftung mit der Messstellenbezeichnung
- Tagwasserdichtigkeit
- Schutz vor Beschädigungen

Die Art des Messstellenabschlusses (Über-/Unterflur) richtet sich nach den örtlichen Gegebenheiten und Anforderungen. Die (kostengünstigeren) **Überflurabschlüsse** bestehen in der Regel aus einem verschließbaren, verzinkten (Überflur-)Stahlrohr, das von einem Betonsockel (Pegelstein) bzw. von einem verfüllten Schachtring (Anfahrtschutz) vor Beschädigung geschützt wird. **Unterflurabschlüsse** werden (bodengleich) in den Untergrund einbetoniert. Die Ausführung richtet sich nach den örtlichen Anforderungen (z. B. Befahrbarkeit durch Pkw/Lkw, Tagwasserdichtheit, Platzbedarf für Anschlüsse, z. B. bei Sanierungsmaßnahmen). Musterpläne enthalten die Anlagen zum LfW-Merkblatt Nr. 2.1/7.

2.6.5 Ausbauvarianten

Bei Hinweisen auf ungleichmäßige vertikale Verteilung von Schadstoffen im Grundwasser können durch den Bau spezieller Messstellen bzw. durch spezielle Entnahmetechniken (siehe Kapitel 3.5 „Tiefenorientierte Probenahme aus Grundwassermessstellen“) bestimmte Tiefen(-horizonte) beprobt werden.

Im Merkblatt [DVWK M 245, 1997] sind Ausbauvarianten für die Entnahme von tiefenhorizontierten Proben aus Messstellen bei verschiedenen Fragestellungen beschrieben. Im Einzelnen handelt es sich dabei um

- **mehrfach verfilterte Messstellen** (Messstellen mit mehreren, durch Vollrohrstrecken getrennte Filterbereiche). Bei diesen Messstellen können die gleichen Probleme mit Vertikalströmungen auftreten, wie bei voll verfilterten Messstellen. Die in Kapitel 2.6 beschriebenen Einsatzbe-

schränkungen sind entsprechend zu beachten. Der Vorteil dieser Messstellen ist die Möglichkeit, durch spezielle Packersysteme tiefenhorizontierte Beprobungen durchführen zu können

- **Messstellenbündel** (mehrere Messstellen, die in **einem** Bohrloch eingerichtet sind, jedoch in unterschiedlich tiefen Bereichen verfiltert sind). Wegen der schwierig einzubauenden Abdichtungen und der damit verbundenen Gefahr hydraulischer Kurzschlüsse sollte diese Ausbauvariante nur in Ausnahmefällen zum Einsatz kommen
- **Messstellengruppen** (mehrere Messstellen in **getrennten** Bohrungen mit unterschiedlich tiefen Filterbereichen)
- **Sondermessstellen** (Messstellen mit mehreren, durch Vollrohrstrecken getrennte Filterbereiche und stationär eingerichteten Entnahme- oder Anreicherungstechniken).

2.7 Klarpumpen

Die Messstelle ist solange ggf. mit intermittierendem Pumpbetrieb abzupumpen, bis das geförderte Grundwasser keine Trübstoffe mehr enthält. Schadstoffbelastetes Wasser ist aufzufangen und/oder ggf. nach entsprechender Behandlung schadlos abzuleiten bzw. zu entsorgen (siehe auch Kapitel 3.3.6).

Nach dem Klarpumpen ist der Ruhewasserspiegel in cm-Genauigkeit (bezogen auf NN) einzumessen und zu protokollieren.

2.8 Einmessen und Dokumentation der Bohrungen und Messstellen

Für eine neu errichtete Grundwassermessstelle ist der in Abbildung 1 aufgelistete Datenbestand zu dokumentieren. Hierzu kann der im Anhang 4 aufgeführte Muster-Messstellenpass verwendet werden, der die Mindestanforderungen an zu dokumentierenden Daten enthält.

- Gemarkung, Flurstück, Eigentümer
- Topografische Karte M = 1 : 25.000 (Auszug mit Angabe der Blatt-Nr.) einschließlich Zufahrtswege
- Detaillageplan (aktueller Flurplan des Vermessungsamtes, M = 1 : 1.000 oder genauer)
- Gauß-Krüger- oder UTM-Koordinaten
- Genaue Bezeichnung des Messpunktes, von dem aus der Abstich der Grundwasserstände durchgeführt wird – in der Regel Rohroberkante bei geöffneter Sebakappe. Der Messpunkt sollte farbig markiert sein
- Höhe des Ansatzpunktes für die Messung der Grundwasserstände in Meter über NN. Bei der Messung ist von einem amtlich festgesetzten Höhenfestpunkt (Status 160) auszugehen, der beim örtlichen Vermessungsamt zu erfragen ist. Steht im Einzelfall kein amtlicher Höhenfestpunkt zur Verfügung, kann ausnahmsweise auch ein anderer Bezugspunkt (in Meter über NN) verwendet werden. Die Vermessung ist sachgerecht durch Rückschluss (Rückmessung) auf den Bezugspunkt vorzunehmen und zu dokumentieren
- Schichtenverzeichnis nach [DIN EN ISO 22475-1, 2007], [DIN EN ISO 14688-1, 2003], [DIN EN ISO 14688-2, 2004], [DIN EN ISO 14689-1, 2003] , zeichnerische Darstellung des Bohrprofils nach [DIN 4023, 2006]
- maßstabsgerechter Ausbauplan der Grundwassermessstelle

Anmerkung: Die Korrelation zwischen dem Bohr- und dem Ausbauprofil muss aus den Zeichnungen hervorgehen.

Abbildung 1: Dokumentation von Grundwassermessstellen

2.9 Überprüfung von Grundwassermessstellen

2.9.1 Kontrollen während des Baus

Während des Messstellenbaus sind laufende Kontrollen erforderlich. Dazu gehört die ständige Aufnahme des Bodenprofils einschließlich Informationen über die Hydrogeologie (z. B. Klüfte) durch einen Sachverständigen. Weiterhin muss die Ermittlung des Wasserstands bei Antreffen des Grundwassers durchgeführt werden. Zu Beginn eines jeden Bohrtages ist die Messung des Wasserstands notwendig. Falls erforderlich, sind geophysikalische Messungen im Bohrloch vorzunehmen (z. B. Ermittlung von Zuflusszonen, Erstreckung von Tonhorizonten).

2.9.2 Abnahme und Erstuntersuchung nach Fertigstellung

Vor der Abnahme ist die Messstelle durch eine Kamerabefahrung (siehe auch [LFW-SCHREIBEN NR. 2.1/5, 1995]) und ggf. geeigneter geophysikalischer Messungen zu überprüfen. Bei der Abnahme erfolgt der Nachweis des hydraulischen Kontaktes der Messstelle durch Abpumpen, Pump- bzw. Auffüllversuche. Die Lage eingebauter Tonsperren kann ggf. mit geophysikalischen Verfahren (siehe [DVGW W 110, 2005]) geprüft werden.

2.9.3 Routinekontrollen während des Betriebs

Während des Messstellenbetriebs ist durch Ausloten der Tiefe (ggf. Hinweis auf eventuelle Verschlammung) bzw. durch Abpumpen und Kontrolle des Zulaufs (Prüfen des hydraulischen Kontaktes) der Zustand der Messstelle zu überprüfen.

Falls Hinweise auf eine eingeschränkte Funktion der Messstellen vorliegen, kann eine Untersuchung der Messstelle durch hydraulische Tests, eine Kamerabefahrung (Überprüfung des Ausbaus bzw. Erkennen von Schäden) und/oder mit geophysikalischen Bohrlochmessungen (Überprüfung der Lage und Wirksamkeit von Dichtungen) erfolgen. Eine Zusammenstellung und Bewertung von ausgewählten Untersuchungsverfahren für Bohrlöcher und Messstellen enthält das Arbeitsblatt [DVGW W 110, 2005].

2.10 Sanierung und Rückbau von Grundwassermessstellen bzw. Bohrlochverfüllung

Schadhafte oder nicht mehr benötigte Grundwassermessstellen müssen entsprechend der hydrogeologischen Situation saniert oder rückgebaut werden. Damit soll die Ausbildung bevorzugter Fließwege im Bereich der Deckschichten und zwischen unterschiedlichen Grundwasserstockwerken bzw. -leitern unterbunden werden.

Detaillierte Hinweise zur Sanierung und Rückbau von Grundwassermessstellen sind im Arbeitsblatt [DVGW W 135, 1998] enthalten.

Für den Rückbau von Grundwassermessstellen sollen nur folgende Maßnahmen angewendet werden:

- Verfüllung (Ausnahmefall, wenn verbleibende Wasserwegsamkeiten zu keiner nachteiligen Veränderung des Grundwassers führen können)
- Entfernen der Ausbauperforierung durch Ziehen ggf. nach Rohrschnitt, Ausräumen des Bohrlochs sowie Verfüllung
- Überbohren der Ausbauperforierung, ggf. Ausräumen des Bohrlochs sowie Verfüllung

Als Verfüllmaterial kommt eine Zement-Bentonit-Suspension, ersatzweise auch ein stark quellender, granulierter Bentonit in Betracht. Eine Bohrlochverfüllung ist vor Durchführung mit dem zuständigen Wasserwirtschaftsamt bzw. Bergamt (bei Tiefen > 100 Meter) abzustimmen (Verfüllplan).

3 Entnahme von Grundwasserproben

Für die Entnahme von Grundwasserproben liegt eine Vielzahl an Regelwerken, Richtlinien, Normen usw. vor. Neben den folgenden Vorgaben und Hinweisen wird insbesondere auf die Ausführungen im dritten Teil der LAWA-Grundwasserrichtlinie [LAWA, 1993] und dem AQS-Merkblatt P-8/2 [LAWA, 1995], auf das DVGW-Arbeitsblatt W 112 (Entwurf) [DVGW W 112, 2009], die Praxishilfe Grundwasserprobenahme [BUWAL, 2003] und auf [ISO 5667-11, 2009] hingewiesen. Weitere einschlägige Vorschriften sind im Literaturverzeichnis (Kapitel 8) zusammengestellt. Darüber hinaus wird auch auf [LANUV, 2006] (Überblick über die Zusammenhänge zwischen Untergrundaufbau, Stoffverhalten, Messstellenausbau und Analysenergebnisse) und [HLUG, 2008] (unter anderem Frachtermittlung im Grundwasser) hingewiesen.

3.1 Planung und Vorbereitung der Probenahme

Grundwasserproben können aus Grundwassermessstellen, Brunnen, Quellen (gefasst oder ungefasst) sowie aus aufgedecktem Grundwasser (z. B. Baggerseen) gewonnen werden. Die Probenahme aus aufgedecktem Grundwasser entspricht grundsätzlich der Probenahme aus Oberflächenwasser und ist dort beschrieben (Kapitel 5). Grundwasserproben sind immer so zu entnehmen, aufzubewahren und zu transportieren, dass für die nachfolgende chemisch-physikalische Untersuchung eine für die jeweilige Fragestellung entsprechende repräsentative Probe zur Verfügung steht. Die Probenahme ist daher durch einen sachkundigen Probenehmer durchzuführen [VSU, 2001].

Die Probenahme muss sorgfältig geplant und vorbereitet werden. Ein **schriftlich ausgearbeiteter Probenahmeplan** einschließlich Zielstellung und Vorgaben zur Qualitätssicherung ist der Dokumentation beizufügen. Generell ist die Art der möglichen oder bekannten Kontamination geeignet zu berücksichtigen. Speziell bei Verdacht auf Schadstoffe in Phase ist eine dementsprechende Beprobungsplanung vorzunehmen.

Soweit messstellentypische Kennwerte, z. B. aus einem **Messstellenpass** oder von früheren Beprobungen vorliegen, sind diese heranzuziehen.

Die **Reihenfolge der Probenahmen** ist, soweit Kenntnisse vorangegangener Untersuchungen vorliegen, von der am geringsten belasteten bis zur höchstbelasteten Grundwassermessstelle festzulegen. Fehlen entsprechende Untersuchungsergebnisse, ist zunächst der Grundwasserzustrom von Kontaminationszentren zu beproben. Die Reihenfolge der beprobten Grundwassermessstellen ist zu dokumentieren, um im Rahmen von Plausibilitätsprüfungen etwaige Verschleppungen nachvollziehen zu können.

Für eine sachgemäße Beprobung muss das Probenahmepersonal über **vollständige und aktuelle Unterlagen** verfügen, aus denen alle wesentlichen Informationen zu ersehen sind:

- Ortsbeschreibung
- Lageplan der Messstellen mit Messstellenkennung (auch Brunnen, Quellen, Grundwasserblänken), ggf. Darstellung der Grundwasserfließrichtung
- Ausbaupläne der Messstellen (auch Brunnen, Quelfassungen) und Bohrprofile
- vorgesehener Umfang der Untersuchungsparameter
- Probenahmeplan und detaillierte Arbeitsanweisung, einschließlich **Arbeitsschutz**
- Entsorgungs- bzw. Sammelmöglichkeit für kontaminiertes Grundwasser
- Ansprechpartner vor Ort

Bei der Probenahme vorhandener Brunnen, Quelfassungen oder Grundwassermessstellen Dritter ist das Einverständnis des Betreibers einzuholen. Bei Brunnen und Quellen der öffentlichen Wasserversorgung ist die Probenahme rechtzeitig vorher abzustimmen, die Probenahme selbst ist in Anwesenheit des Betriebspersonals durchzuführen. Auf die besonderen Hygienevorschriften wird hingewiesen. Die Probenahme aus Messstellen des Landesgrundwassermessdienstes darf nur in Abstimmung und mit dem Einverständnis des zuständigen örtlichen Wasserwirtschaftsamtes erfolgen. Einbauten (Schreiber, Druckmesssonden usw.) dürfen keinesfalls eigenmächtig entfernt werden.

Komplexere Fragestellungen sind auf jeden Fall mit den Probenehmern vorab abzuklären.

Von den Probenehmern ist größte Sorgfalt bei der Planung anzuwenden. Zur **Vorbereitung** der Probenahme sind unter anderem bereitzustellen:

- Vordrucke von Probenahmeprotokollen (z. B. Muster-Probenahmeprotokoll in Anhang 5)
- gereinigte und funktionstüchtige Probenahme- und Vor-Ort-Messgeräte (kalibriert) (siehe Kapitel 3.2)
- Stromaggregat
- gereinigte und im Hinblick auf die Untersuchungsparameter bzgl. Volumen und Material geeignete Probengefäße in ausreichender Anzahl (siehe Kapitel 3.4.1)
- Material zur Kennzeichnung der Proben, wie z. B. wasserfeste Etiketten bzw. Stifte
- mit geeigneter Konservierungslösung vorbereitete Probengefäße und Chemikalien zur Konservierung (siehe Kapitel 3.4.2)
- Vorrichtungen für weitere Probenvorbehandlung (z. B. Filtration)
- (Destilliertes) Wasser für Reinigungszwecke, ggf. weitere Reinigungsmittel
- Kühlmöglichkeit (Kühlschrank, Kühltaschen mit Kühlelementen etc.) (siehe Kapitel 3.4.2)
- **Arbeitsschutzkleidung**, insbesondere bei hoch kontaminierten Grundwässern
- Werkzeug, Ersatzteile

Ferner ist das Probenahmefahrzeug vorzubereiten und die Bereitstellung von Entsorgungsmöglichkeiten für kontaminiertes Grundwasser einzuplanen (siehe Kapitel 3.3.6). Für die Vorbereitung des Fahrzeugs empfiehlt es sich, detaillierte Packlisten anzulegen. Um im Rahmen der Beprobungskampagne alle notwendigen Einzelschritte zur qualitätsgesicherten Gewinnung von Grundwasserproben einhalten zu können, ist die Erstellung eines Zeitplans sinnvoll.

Vorgaben und Hinweise zum Arbeitsschutz sind unter anderem dem [LFU-MERKBLATT NR. 3.8/2, 2009] zu entnehmen.

3.2 Entnahme- und Messgeräte

Für die Entnahme von Grundwasserproben und Untersuchung vor Ort sind dem Stand der Technik entsprechende Geräte vorzuhalten, die in Abbildung 2 aufgelistet sind.

- **Licht-, Akustiklote, Phasenmessgerät**
- **Fördergeräte**
 - Unterwasserpumpen (z. B. Tauchmotorpumpen) mit geeigneten Steigrohren (mit meterweiser Markierung zur genauen Positionierung)
 - Schöpfgeräte
- **Messgeräte** zur Bestimmung der Vor-Ort-Parameter (pH-Wert, Leitfähigkeit, Temperatur, Sauerstoffgehalt und ggf. weitere physikalisch-chemische Kenngrößen)
- **Durchflussmesszelle**

Abbildung 2: Entnahme- und Messgeräte für die Grundwasserprobenahme

In der Praxis sind grundsätzlich **Tauchmotorpumpen** zu verwenden, da sie bis in große Tiefen einsetzbar sind und Entgasungen weitestgehend ausgeschlossen werden können. Saugpumpen dürfen aufgrund des Unterdrucks und der damit einhergehenden Dampfdruckerhöhung von gelösten Gasen (z. B. CO₂ oder O₂) oder leichtflüchtigen organischen Stoffen (z. B. LHKW oder BTEX) im Allgemeinen nicht eingesetzt werden. Die Pumpen müssen möglichst stufenlos regelbar sein (z. B. mit Frequenzumrichter), damit die Förderrate den (z. B. hydraulischen) Vor-Ort-Bedingungen angepasst werden kann. Bei speziellen Gegebenheiten, z. B. bei hydraulisch gering ergebnigen Grundwasserleitern kann ggf. die Verwendung einer Membranpumpe sinnvoll sein. Ferner ist in Ausnahmefällen sowie bei besonderen Fragestellungen eine Probenahme auch mit einem Schöpfgerät möglich, insbesondere bei Vorliegen einer aufschwimmenden Phase ist ein Abschöpfen der Phase erforderlich. Weitere Hinweise hierzu finden sich z. B. in [DVGW W 112, 2009]. Probenahmeschläuche zum Abpumpen aus der Messstelle sollen grundsätzlich nicht verwendet werden, da eine rückstandsfreie Reinigung praktisch nicht möglich ist.

Vor-Ort-Messgeräte müssen regelmäßig kalibriert werden (möglichst Dokumentation mittels Kontrollkarten). Für jede Messgröße ist festzulegen, wie häufig die Funktionsprüfung der Geräte sowie die Kalibrierungen und die Überprüfungen mit unabhängigen Kontrollproben zu erfolgen haben. Weiterhin ist mindestens einmal im Monat die Überprüfung der Vor-Ort-Messgeräte mit den entsprechenden Laborgeräten vorzunehmen. Die gerätespezifischen Angaben in den jeweiligen Geräteanleitungen sind zu berücksichtigen. Weiterhin ist darauf zu achten, dass das Haltbarkeitsdatum der Pufferlösungen, Elektrolyt- und Reinigungslösungen nicht überschritten werden darf. Außerdem müssen die benutzten Pufferlösungen in geeigneten Zeitabständen erneuert werden, sonst besteht die Gefahr von Verschleppungen. Für jedes Messgerät ist ein Wartungsbuch zu führen.

Die verwendeten Werkstoffe dürfen keine analytisch relevanten Stoffe aus dem Wasser adsorbieren oder in die Probe abgeben. Die Gerätschaften müssen frei von Rückständen bzw. Kontaminationen aus vorherigen Probenahmen sein.

3.3 Durchführung der Probenahme

3.3.1 Allgemeines

Folgende Punkte müssen **vor** Durchführung der Probenahme überprüft und im Probenahmeprotokoll vermerkt werden:

- Veränderungen im Gelände (z. B. Ablagerungen, Baumaßnahmen)
- Zustand der Messstellen (z. B. beschädigtes Überflurrohr, fehlende oder undichte Verschlusskappe)
- Vergleich der vorhandenen Messstellenkennung mit Angaben in den Unterlagen.

Auf die sorgfältige Durchführung der Probenahme ist zu achten. Eine Auswahl möglicher **Fehlerquellen**, die Einfluss auf die Qualität der Grundwasserprobe haben können, ist in Abbildung 3 zusammengestellt.

- **Kontamination** der Probe durch
 - Verschleppungen (z. B. durch unzureichende Reinigung von eingesetzten Geräten und Gefäßen)
 - Konservierungskemikalien
 - Einträge aus Umgebungsluft (z. B. CO₂, O₂), Abgasen (Stromaggregat oder Fahrzeuge) oder Ausgasungen (z. B. lösemittelhaltige Stifte).
- **Verluste** durch
 - Ausgasung leichtflüchtiger Inhaltstoffe beim Befüllen der Gefäße oder bei Verwendung nicht gasdichter Gefäße
 - Einsatz ungeeigneter Probenahmetechnik (z. B. Verlust von leichtflüchtigen Stoffen bei Verwendung von Saugpumpen)
 - Sorption an Entnahmeggeräten oder Gefäßwandungen
- **Veränderungen** der Probe durch (foto-)chemische oder biochemische Reaktionen (z. B. durch oxidierende bzw. reduzierende Vorgänge, bakterielle Aktivität, Ausfällungen, Unterbrechung der Kühlkette)

Abbildung 3: Auswahl möglicher Fehlerquellen bei der Entnahme von Grundwasserproben

3.3.2 Ruhewasserspiegelmessung und Lotung der Messstelle

Vor der Entnahme von Grundwasserproben ist eine **Ruhewasserspiegelmessung** durchzuführen, bei der jeweils der Ruhewasserspiegel in allen betroffenen Grundwassermessstellen in cm-Genauigkeit bezogen auf NN bzw. in Meter unter Messpunkt (siehe Kapitel 2.8) einzumessen ist. Die Entnahme von Grundwasserproben ist anschließend am gleichen Tag durchzuführen. Durch das Ausloten der Messstellentiefe und Vergleich mit der Ausbautiefe nach Ausbauplan lässt sich ggf. eine Verschlammung an der Sohle der Messstelle erkennen.

3.3.3 Abpumpen, Förderrate

Grundwasserproben sind in der Regel durch Abpumpen (grundsätzlich Tauchmotorpumpen) zu gewinnen. Die Entnahme von Grundwasserproben mit Schöpfgeräten ist nur in Ausnahmefällen oder bei besonderen Fragestellungen zulässig.

Bei Verdacht auf Vorliegen einer **aufschwimmenden Phase** bzw. nach organoleptischer Prüfung nach Öffnen der Verschlusskappe ist zunächst mit einem Phasenmessgerät die Mächtigkeit der aufschwimmenden Phase festzustellen. Vor allen weiteren Aktivitäten sind Maßnahmen zum Schutz der Probenahmegerätschaften vor extremer Kontamination zu treffen (z. B. Schutzverrohrung, Abschöpfen der aufschwimmenden Phase in der Messstelle). Bei Vorliegen einer aufschwimmenden Phase ist eine Absenkung des Grundwasserspiegels durch eine angepasste Pumpenförderrate möglichst zu vermeiden.

Vor der Entnahme von Proben aus Grundwassermessstellen ist grundsätzlich so lange abzupumpen, bis das geförderte Wasser dem des umgebenden Grundwasserkörpers entspricht und nicht mehr durch die Messstelle beeinflusst ist. Der Zeitpunkt für eine repräsentative Probenahme ist in der Regel erreicht, wenn im geförderten Grundwasser die **elektrische Leitfähigkeit, der pH-Wert und die Temperatur** während der Messzeit von ca. fünf Minuten annähernd konstante Werte (Änderungen bei der Leitfähigkeit bis 1 %, pH-Wert bis 0,1 pH-Einheiten, Temperatur bis 0,1 K [LAWA, 1995]) aufweisen. Im Bedarfsfall können weitere Parameter (z. B. quantitative Trübung, Redoxspannung) gemessen werden.

Da jede Messstelle eine eigene Charakteristik besitzt, kann es im Einzelfall erforderlich sein, die Zuordnung der Proben und die geeigneten Entnahme-Zeitpunkte insbesondere bei erstmaliger Beprobung einer Grundwassermessstelle über sogenannte chemische Pumpversuche (Kurzpumpversuche z. B. über 24 h) zu ermitteln. Detaillierte Hinweise hierzu enthält das [LFW-MERKBLATT NR. 1.5/2, 2003].

Die bei der **Erstbeprobung einer Grundwassermessstelle** ermittelten hydraulischen und hydrogeochemischen Eigenschaften des Grundwasserleiters sowie die hinsichtlich der spezifischen Zielstellung optimierten Probenahmeparameter (z. B. Einbautiefe der Pumpe, Förderrate, Pumpdauer) sind bei künftigen Beprobungen zu berücksichtigen und in Form eines **Messstellenpasses** (z. B. Muster-Messstellenpass in Anhang 4) zu hinterlegen (ggf. in Abstimmung mit der zuständigen Behörde).

Ist die Durchlässigkeit des Grundwasserleiters nur gering oder liegt nur eine geringe Grundwassermächtigkeit vor, ist die anstehende Wassersäule zumindest solange abzupumpen, bis eine Probe von möglichst frisch nachfließendem Grundwasser entnommen werden kann. Sofern keine repräsentative Probe gewonnen werden kann, ist dies zu dokumentieren und bei der Bewertung der Untersuchungsergebnisse zu berücksichtigen.

Die Entnahme des Grundwassers im verfilterten Bereich hat im Regelfall mindestens einen Meter unterhalb des Ruhewasserspiegels zu erfolgen. Die Pumpe darf nicht im Bereich des Messstellenbodens (Mindestabstand der Pumpe zur Ausbautiefe ein Meter) platziert werden, um eine Aufwirbelung von Trübstoffen zu vermeiden. Die Absenkung des Grundwasserspiegels sollte nicht mehr als ein Drittel der Wassersäule bzw. maximal zwei Meter betragen. Die tatsächliche Einhängtiefe der Pumpe ist im Protokoll zu vermerken und der Grundwasserspiegel während der Abpumpphase zu beobachten und zu dokumentieren. Führt die eingestellte Förderrate der Pumpe zu einer zu starken Absenkung des Grundwasserspiegels, muss die Förderleistung der Pumpe soweit reduziert werden, bis sich nahezu konstante Verhältnisse eingestellt haben. Die Pumpenförderleistung muss während der Abpumpphase regelmäßig bestimmt und protokolliert werden.

Bei frei austretendem Grundwasser (**Quellwasser, Hangwasser** usw.) erfolgt die Entnahme grundsätzlich über Schöpfproben unmittelbar an der Austrittsstelle. Spezielle Entnahmegерäte sind in diesem Falle in der Regel nicht erforderlich, bei sehr flachgründigen Wasseraustritten kann die Verwendung einer Ablaufrinne sinnvoll sein. Das Befüllen der Probenflaschen erfolgt fallweise über Trichter (überstauter Trichter) oder mittels Eintauchen der Gefäße, sofern keine Konservierungsmittel vorgelegt wurden. Sekundärkontaminationen des Wassers sind dabei zu vermeiden und Arbeitsschutzaspekte (z. B. Schutzhandschuhe) zu berücksichtigen. Bei **gefassten Quellen** (vor allem der öffentlichen Wasserversorgung) ist die Probenahme meist nicht am Quellaustrittsort, sondern am Sammel-schacht möglich. Münden dort mehrere Zuläufe, sollten diese getrennt beprobt werden. Inwieweit diese Zuläufe aus unterschiedlichen Quellzutritten gespeist werden, geht ggf. aus dem Fassungsplan hervor. Grundsätzlich ist die Beprobungssituation bei frei austretendem Grundwasser detailliert (inkl. Fotodokumentation) zu dokumentieren.

3.3.4 Vor-Ort-Messungen

Bei jeder Probenahme sind grundsätzlich die in Abbildung 4 genannten Parameter vor Ort zu bestimmen und zu protokollieren (vgl. auch [LFW-MERKBLATT NR. 3.8/1, 2001]).

Die physikalisch-chemischen Untersuchungsparameter vor Ort werden vorzugsweise in einer **Durchflusszelle** ermittelt. Dabei sollen die Messsonden in der Messzelle laminar angeströmt werden.

Die Messwerte der Vor-Ort-Parameter (elektrische Leitfähigkeit, pH-Wert, Temperatur, O₂-Gehalt) sind zudem im Vorfeld während der Abpumpphase in regelmäßigen Zeitabständen zu ermitteln und zu dokumentieren. Hierdurch werden zeitliche Veränderungen der Wasserbeschaffenheit ersichtlich. Dabei sind computergestützte Systeme zur Optimierung des Entnahmezeitpunktes und zur Dokumentation

zu empfehlen, die neben der kontinuierlichen Aufzeichnung der Messwerte von Vor-Ort-Parametern auch weitere Informationen, wie z. B. die Veränderungen des Grundwasserspiegels bzw. die geförderte Wassermenge aufzeichnen können.

- **Organoleptische Prüfung**
 - Färbung, Trübung, Geruch und Bodensatz (qualitativ)
- **Physikalisch-chemische Parameter**
 - Wassertemperatur
 - Elektrische Leitfähigkeit (mit Angabe der Bezugstemperatur!)
 - pH-Wert
 - ggf. Redox-Spannung
- **Gelöste Gase**
 - Sauerstoff (-gehalt in mg/l oder -sättigung in %)
 - ggf. Kohlenstoffdioxid (Basekapazität bis pH 8,2 (KB_{8,2}))

Abbildung 4: Vor-Ort-Parameter

3.3.5 Abfüllen der Proben, Filtration

Es sind möglichst klare Wasserproben zu entnehmen. Beim **Befüllen** der Probenbehälter müssen Einflüsse vermieden werden, die die Beschaffenheit der Probe verändern können. Ein lang andauernder Kontakt der Probe mit der Umgebungsluft ist grundsätzlich zu vermeiden. Zudem ist beim Befüllen der Probengefäße darauf zu achten, dass der Eintrag von Luftsauerstoff in Form von Luftblasen minimiert wird. Daher sind die Probengefäße nicht direkt aus dem Hauptförderstrom, sondern unter Beibehaltung der eingestellten Pumpenförderleistung über einen Bypass (ggf. mit aufgestecktem Glas- oder Teflonrohr – Letzteres jedoch nicht bei Untersuchung auf perfluorierte organische Verbindungen) mit geringerem Durchmesser möglichst luftblasenfrei zu befüllen. Die Probengefäße sind, soweit keine Konservierungsstoffe vorgelegt wurden und keine stark adsorbierbaren Kontaminanten untersucht werden sollen, vor dem Abfüllen der Probe mit dem geförderten Grundwasser zu spülen (siehe [DIN EN ISO 5667-3, 2004]). Enthält das zu beprobende Grundwasser ungelöste Stoffe, so ist ein Spülen der Flaschen vor Ort durch Überlaufenlassen zu unterlassen, um eine mögliche Anreicherung suspendierter Partikel im Gefäß zu verhindern. Zum gasblasenfreien Abfüllen von Probengefäßen ohne vorgelegte Konservierungsstoffe wird der Ablauf des Bypasses (z. B. aufgestecktes Glas- oder Teflonrohr, Schlauchstück) in das Probengefäß bis zum Gefäßboden eingetaucht; das geförderte Grundwasser soll kurz überlaufen, bevor die Flasche verschlossen wird. Proben, die mittels Dampfraum-Analyse auf leichtflüchtige Verbindungen (z. B. LHKW, BTEX) untersucht werden sollen, können vor Ort, in Absprache mit der Untersuchungsstelle und entsprechend den Angaben in den jeweiligen Normen, in Headspace-Gefäße gefüllt werden. Sind weitere Maßnahmen der Probenbehandlung (z. B. Filtration) notwendig, so erfolgen diese **vor** der Konservierung der Probe.

Für die **Bestimmung von Metallen** ist das geförderte Grundwasser grundsätzlich vor Ort zu filtrieren (Membranfilter, Porenweite 0,45 µm) und anschließend anzusäuern. Sofern Metall-Konzentrationen von unfiltrierten Proben ermittelt werden sollen, ist vor der Analyse ein Aufschluss entsprechend den gültigen Normen für die jeweiligen Elemente durchzuführen.

Aufgrund von unter Umständen erheblichen Adsorptionsverlusten am Filtermaterial bzw. Minderbefunden wegen Eigenfiltration durch Aufbau eines Filterkuchens dürfen trübe Proben, die auf **hydrophobe organische Stoffe** untersucht werden sollen, vor der Extraktion mit organischem Lösungsmittel nicht direktfiltriert werden.

Liegen Hinweise vor, dass bedingt durch die Probenahme erhöhte Mengen an Trübstoffen mit adsorbierten organischen Schadstoffen in der Probe auftreten, die nicht grundwasserleitergängig sind, emp-

fehlt sich eine Extraktion einer im Labor zentrifugierten Parallelprobe. Die Zentrifugation und Extraktion ist spätestens am Tag nach der Probenahme durchzuführen. Da insbesondere stark hydrophobe organische Stoffe (z. B. mehrkernige PAK und PCB) dazu neigen, an feste Oberflächen zu adsorbieren, können probenahmebedingt erhöhte Trübstoffgehalte in der Probe zu nicht-repräsentativen Überbefunden führen. Zur besseren Interpretation der Analyseergebnisse ist deshalb auch die quantitative Trübung [FNU] anzugeben.

Die Angabe, ob und wie eine Trübstoffabtrennung erfolgte, ist zu dokumentieren.

3.3.6 Entsorgung des Förderwassers

Generell ist das Vorgehen im Vorfeld mit den zuständigen Behörden abzustimmen. Das abgepumpte Grundwasser ist so **abzuleiten**, dass die Probenahme nicht beeinflusst wird. Eine direkte Wiedereinleitung in das Grundwasser ist grundsätzlich nicht zulässig. In der Regel kann bei Kurzpumpversuchen unbelastetes Grundwasser in ein oberirdisches Gewässer oder in die Kanalisation (Genehmigung des Kanalnetzbetreibers erforderlich) eingeleitet werden. Bei nachweislich unbelastetem Grundwasser ist auch eine Versickerung unterstromig in einigen Metern Entfernung zur Entnahmestelle möglich. Für gefördertes Grundwasser mit hohen Belastungen sind geeignete Auffang- bzw. Entsorgungswege (z. B. Tankwagen) oder Reinigungsmöglichkeiten (z. B. mobile A-Kohle- oder mobile Stripp-Anlage) vorzusehen. Hierbei ist ggf. die Beauftragung einer zertifizierten Entsorgungsfirma sinnvoll. Der Entsorgungsweg des geförderten Wassers ist zu dokumentieren.

3.3.7 Reinigung der Geräte

Alle Geräte, insbesondere auch Pumpen und Steigrohre, sind nach jeder Probenahmekampagne (d. h. je Verdachtsfläche), im Einzelfall auch zwischen einzelnen Messstellenbeprobungen einer Verdachtsfläche gründlich, d. h. blindwertfrei zu reinigen. Zur Reinigung von Steigrohren können z. B. verlängerte Flaschenbürsten in Verbindung mit Laborspülmittel und Leitungswasser verwendet werden. Möglich ist auch eine Reinigung von mit kurzen Schlauchstücken verbundenen Steigrohren mit einem Stück Schwamm, welches mit Druckluft durchgeblasen wird. Zur Nachreinigung ist Leitungswasser und/oder dest. Wasser zu verwenden. Kontaminierte Steigrohre und Pumpen sind – wenn sie nicht mehr zuverlässig gereinigt werden können – generell auszuwechseln. Durch Führen eines **Gerätebuches** (Vermerke über Einsatzorte, Kennzeichnung der einzelnen Steigrohre, Zeitpunkte der Reinigung usw.) einschließlich der analytischen Kontrolle des Spülwassers (**Blindprobe**) nach Reinigung der Geräte, sind mögliche Verschleppungen von Verunreinigungen, z. B. an den Entnahmegeräten, und entsprechende Gegenmaßnahmen nachvollziehbar zu dokumentieren.

3.4 Probenbehälter, Konservierung und Haltbarkeit der Proben

Neben den oben genannten Vor-Ort-Parametern sind mindestens einmal in jeder Grundwassermessstelle die in der Tabelle 2 des [LFW-MERKBLATT NR. 3.8/1, 2001] angegebenen **Basisparameter** (in der Regel ohne Biotest) zu untersuchen, um den geogenen Grundwassertyp und ggf. anthropogene Einflüsse erkennen zu können. Je nach vorliegenden Erkenntnissen sind weitere schadensfall- bzw. branchenspezifische (**Leit-Parameter** (vgl. Tabelle 4 [LFW-MERKBLATT NR. 3.8/1, 2001]) zu untersuchen. Bei Nachfolgeuntersuchungen in den Messstellen kann der Untersuchungsumfang reduziert oder erweitert werden.

Die Proben sind **so schnell wie möglich zusammen mit den Probenahmeprotokollen der Untersuchungsstelle** zu übergeben. Nach der Entnahme, während des Transports und bis zur Untersuchung müssen die Proben **kühl (ca. 5 °C) und dunkel** gelagert werden. Die Transportbedingungen und der Anlieferungszustand der Proben in der Untersuchungsstelle sind im Rahmen eines **Übergabeprotokolls** zu dokumentieren. Die Verantwortung über das Einhalten der erforderlichen Transport- und Lagerungsbedingungen liegt bis zur Abgabe der Proben an das Labor beim Probenehmer.

3.4.1 Probenbehälter

Neue Probengefäße aus **Glas oder Polyethylen (PE)** müssen blindwertfrei sein. Die Blindwertfreiheit ist zu belegen. Die Probenbehälter sind eindeutig auf der Gefäßwand zu kennzeichnen.

Die bei Entnahme von Grundwasserproben zu verwendenden Gefäßmaterialien und deren geeignete Reinigungsverfahren sind für die gängigsten Parameter in Tabelle 2 aufgelistet. Die verwendeten Probengefäße (Material, Volumen) sind entsprechend den jeweiligen Untersuchungsparametern im Probenahmeprotokoll zu dokumentieren.

Grundsätzlich ist die Konservierung und die Wahl der Probenahmegefäße mit dem Untersuchungslabor abzustimmen. Besonders bei beauftragter Dampfraumanalytik sind die Gefäße zu verwenden, die direkt zum Analysengerät des beauftragten Labors kompatibel sind, sodass die Probe nicht vor der Analyse noch umgefüllt werden muss.

Tabelle 2: Material und geeignete Reinigung der Probenbehälter

Parameter	Material	Reinigungsanleitung (soweit die entsprechende Norm nichts anderes vorschreibt)
Allgemeine chemische Untersuchung (Basisparameter, Silikat nicht in Glas)	PE, Glas	<ul style="list-style-type: none"> - Reinigung mit phosphatfreiem Laborspülmittel - spülen mit Leitungswasser und destilliertem Wasser - trocknen bei ca. 80 °C - visuelle Prüfung auf Sauberkeit
Schwermetalle, Halbmetalle	PE, Glas	<ul style="list-style-type: none"> - für die Metallanalytik sind grundsätzlich Kunststoff-Einweggefäße entsprechend den gültigen Normen zu verwenden - für die Bestimmung von Quecksilber ist die Verwendung von Glasgefäßen oder PFA-Gefäßen notwendig.
LHKW	Glas	<ul style="list-style-type: none"> - vor Gebrauch mit der Öffnung nach unten mindestens eine Stunde bei 150 °C im belüfteten Trockenschrank ausheizen - wiederverwendete Probenbehälter nur für Proben eines entsprechenden Konzentrationsbereiches verwenden
SHKW, PCB	Glas	<ul style="list-style-type: none"> - Reinigung mit Laborspülmittel - Wasser und anschließend mit Extraktionsmittel spülen oder 12 Stunden bei 200 °C ausheizen
PAK, BTEX und MKW	Glas	<ul style="list-style-type: none"> - Reinigung mit Laborspülmittel o. Spülmaschine - gründlich mit Wasser nachspülen - im Trockenschrank trocknen - nach dem Trocknen mit Hexan oder Petrolether nachspülen - trocknen bei > 150 °C - wiederverwendete Probenbehälter nur für Proben eines entsprechenden Konzentrationsbereichs verwenden
Pflanzenschutzmittel (wenig polare und neutrale PBSM) (saure PBSM siehe Phenole) und STV	Glas	<ul style="list-style-type: none"> - Reinigung mit Laborspülmittel o. Spülmaschine - mit Aceton spülen und gründlich mit destilliertem Wasser nachspülen - trocknen bei > 150 °C - wiederverwendete Probenbehälter nur für Proben eines entsprechenden Konzentrationsbereichs verwenden
AOX	Glas	<ul style="list-style-type: none"> - normal in Spülmaschine waschen - bei hochbelasteten Proben Septum wechseln
Phosphat	Glas	<ul style="list-style-type: none"> - nicht in der Spülmaschine waschen - Reinigung mit phosphatfreiem Laborspülmittel - waschen mit heißer Salzsäure (25 %) - gründliches Spülen mit Wasser
Phenole	Glas	<ul style="list-style-type: none"> - Reinigung mit Laborspülmittel o. Spülmaschine - mit (Na₂CO₃- o. K₂CO₃)-Lösung spülen - trocknen bei > 150 °C

3.4.2 Probenvorbehandlung und -konservierung, Haltbarkeit

Die Art der **Probenvorbehandlung und -konservierung** ist im Probenahmeprotokoll bzw. im Analysenbericht zu dokumentieren und soweit erforderlich, bei der Ergebnisbewertung zu berücksichtigen. Die Behandlung und Konservierung der Proben hat in enger Abstimmung mit dem beauftragten Analytiklabor zu erfolgen.

Generell sollte die Übergabe der Proben an das Labor, eine ggf. erforderliche Extraktion mit organischen Lösungsmitteln oder eine anderweitige Probenvorbehandlung und die Analytik zeitnah erfolgen. Laut Anhang 1, Kapitel 2.5 der BBodSchV (1999) gilt, dass „für die Auswahl von Probengefäßen sowie Probekonservierung, -transport und -lagerung die entsprechenden Regelungen in den Untersuchungsvorschriften nach Nr. 3.1.3, Tabellen 3 bis 7 (Anmerkung: in diesen Tabellen sind die je Parameter anzuwendenden Methoden aufgeführt) einzuhalten sind. Fehlen derartige Regelungen, sind E DIN ISO 10381-1: 02.96 (Anm.: aktuell DIN ISO 10381-1, 2003) und DIN EN ISO 5667-3: 04.96 (Anmerkung: aktuell DIN EN ISO 5667-3, 2004) zu beachten“. Die parameterspezifischen **Konservierungstechniken und Lagerungszeiten** bis zur Analyse bzw. Probenaufbereitung (z. B. Lösungsmittelextraktion) aus den jeweiligen **Normen** sind zu beachten und einzuhalten. Abweichungen hierbei können zu Minderbefunden führen und sind zu dokumentieren und zu begründen.

In Kapitel 7 sind die aktuell gültigen Normen (Stand 2009) aufgelistet, aus denen die jeweiligen Vorgaben und Hinweise zur Probenvorbehandlung, -konservierung und Haltbarkeit zu entnehmen sind. In den Tabellen in Kapitel 7 sind ergänzend zu den in der BBodSchV bzw. in der Verfahrensordnung zur VSU (Stand 2008) genannten Normen noch für weitere Parameter entsprechende Analysenmethoden aufgeführt. Zusätzlich werden für einige Parameter auch weitere geeignete Verfahren genannt.

Die in den folgenden Tabellen 3 und 4 enthaltenen Angaben sind **Empfehlungen des LfU**, die sich aufgrund bisheriger Erfahrungen als sinnvoll erwiesen haben.

Tabelle 3: Empfehlungen des LfU zur Lagerung und Probenvorbereitung für die Untersuchung auf Basisparameter

Basisparameter	Volumen [ml]	Tätigkeiten vor Ort	Transport	Tätigkeiten im Labor	Lagerung bis zur Analyse bzw. Probenaufbereitung
Ammonium	100		1)	1)	1 Tag
Bor - Best. mit ICP - fotometrisch	25 100	ansäuern mit HNO ₃ auf pH < 2	1)	1)	1 Monat
Calcium, Magnesium - bei Titration mit EDTA	25 100	ansäuern auf pH < 2 nicht ansäuern bei Titrationsverf.			1 Tag; nach ansäuern mehrere Monate
Chlorid - allgemein - bei organ. Belastung	25 100				mehrere Monate
Eisen, Mangan	25	ansäuern mit HNO ₃ auf pH < 2	1)	1)	1 Monat
Natrium, Kalium	25	ansäuern mit HNO ₃ auf pH < 2			1 Monat; nach ansäuern mehrere Monate
Nitrat, Nitrit	50		1)	1)	1 Tag
Phosphor, gesamt	100	ansäuern mit H ₂ SO ₄ auf pH < 1	1)	1) 2)	1 Tag; nach Ansäuern mehrere Tage
Phosphat, ortho	100	innerhalb von 4 h nach Probenahme filtrieren	1)	1)	1 Tag
Säure- /Basekapazität	100	3)	1)	1)	1 Tag
Silicat (Kieselsäure)	50		1)	1)	1 Tag (unfiltriert); 1 Monat (filtriert)
Sulfat - Best. mit IC - fotometrisch	20 250		1)	1)	1 Monat
Spektr. Absorptionskoeffizient	100		1)	1)	5 Tage
AOX	250 (Glas) 4)	mit HNO ₃ auf pH 2; bei Anwesenheit von oxidierender Substanzen Zugabe von Na ₂ SO ₃ 5), 6)	1)	1)	
DOC	50 (Glas)	Filtrieren, ansäuern mit HCl auf pH=1	1)	1)	1 Woche
EOX	2000	Einstellen auf pH 6–8 mit H ₂ SO ₄ oder NaOH	1)	1)	
TOC	100 (Glas) 4)	Ansäuern mit HCl auf pH 1; max. 80 ml abfüllen;	1)	1)	1 Woche
Biotest	500		1)	1)	einige Stunden

- 1) kühl (2–5 °C) und dunkel lagern
- 2) unbehandelt (nur fotometrisch pH = 3–4), spätestens nach 3–4 h filtrieren und analysieren
- 3) Basekapazität (KB_{8,2}) möglichst vor Ort bestimmen
- 4) Isogewindeflasche; bei AOX-Bestimmung: Verwendung von Schraubdeckeln mit PTFE-Septum
- 5) kann auch im Labor vorgenommen werden (mindestens 8 Stunden vor Bestimmung)
- 6) bei hohen Feststoffgehalten des Grundwassers ist eine zusätzliche Probe für ggf. gesonderte Untersuchungen abzufüllen

Tabelle 4: Empfehlungen des LfU zur Lagerung und Probenvorbehandlung für die Untersuchung auf Leitparameter

Leitparameter	Volumen [ml]	Tätigkeiten vor Ort	Transport	Tätigkeiten im Labor	Lagerung bis zur Analyse bzw. Probenaufbereitung (z. B. Lösungsmittlextraktion)
Arsen, Antimon, Selen (mit Hydrid-AAS)	100	Ansäuern mit HCl auf pH 1	1)	1)	1 Monat
Aluminium, Antimon, Arsen, Barium, Beryllium, Blei, Cadmium, Chrom, Kobalt, Kupfer, Molybdän, Nickel, Selen, Thallium, Vanadium, Zink, und andere (mit ICP-OES/MS und Grafit-AAS)	25	Ansäuern mit HNO ₃ auf pH < 2	1)	1)	1 Monat
Quecksilber	100	Ansäuern mit HNO ₃ auf pH < 2 und Zugabe von K ₂ Cr ₂ O ₇ (1 Tag stabil);	1)	Aufschluss mit KmnO ₄ /K ₂ S ₂ O ₈ 1)	1 Monat (nur der Aufschluss)
	20	Zugabe von KBr/KBrO ₃			1 Woche
Zinn	25	Ansäuern mit HCl auf pH < 2	1)	1)	1 Monat
Cyanid, gesamt und leicht freisetzbar	200	Zugabe von NaOH-, ZnCl ₂ - und Chloroform/ Phenolphthalein-Lösung; Einstellen von pH 8; Zugabe von ZnSO ₄ -(CdSO ₄ -) Lösung	1)	1)	3 Tage
Fluorid	100 (PE)		1)	1)	1 Monat
Sulfid, leicht freisetzbar	500	Einstellen von pH 8,5–9; Zugabe von Zinkacetat; Probenflaschen vollständig füllen, um Luft auszuschließen;	1)	1)	1 Tag
Sulfid, gelöst	500	Probe vor Ort filtrieren; Zugabe von Ascorbat-Lösung	1)	1)	1 Tag

PAK, BTEX, MKW, LHKW, SHKW, VOC, PCB, STV	500 -1000	²⁾	¹⁾	¹⁾	1 Tag
PBSM	1000 ³⁾	²⁾	¹⁾	¹⁾	substanz- abhängig
Phenolindex	1000	Zugabe von CuSO ₄ und ansäuern mit H ₃ PO ₄ auf pH < 4 ²⁾	¹⁾	¹⁾	1 Tag
Qualitative Bestimmungen mit GC-FID, -ECD, -MS (Screening); Dampfdruckanalyse (Headspace- Screening)	1000 250	²⁾	¹⁾ ¹⁾	¹⁾ ¹⁾	2 Tage 2 Tage

1) kühl (2–5 °C) und dunkel lagern

2) bei hohen Feststoffgehalten des Grundwassers ist eine zusätzliche Probe ggf. für gesonderte Untersuchungen abzufüllen

3) je Substanzgruppe

3.5 Tiefenorientierte Probenahme aus Grundwassermessstellen

Im Rahmen weitergehender Untersuchungen, z. B. im Rahmen der Sanierungsplanung, kann der Einsatz einer tiefenspezifischen Probenahme angezeigt sein. Neben **speziellen Ausbauten** von Grundwassermessstellen (siehe Kapitel 2.6.5) können auch mit **geeigneten Methoden** aus durchgehend verfilterten Messstellen tiefenspezifische Entnahmen bzw. Untersuchungen durchgeführt werden [DVWK M 245, 1997].

Die Anwendung des **Doppelpackers** beschränkt sich auf Messstellen mit einer Aquifermächtigkeit bis zu ca. 20 Metern. Oberhalb und unterhalb der Tauchmotorpumpe installierte und mit Druckluft aufzupumpende Gummimanschetten dichten die Messstelle nach oben und unten ab. Die Entnahme der Probe erfolgt aus dem Bereich der eingehängten Pumpe.

Hinweis: Eine Umläufigkeit des Grundwassers über den Filterbereich kann durch die Packer nicht verhindert werden.

Weitere Hinweise zur Entnahme tiefenspezifischer Proben sind z. B. in [WEIß ET AL., 2006] genannt.

3.6 Passive Probenahmeverfahren

Passive Probenahmeverfahren basieren in der Regel auf Diffusions- bzw. Sorptionsvorgängen. Mit diesen Verfahren lassen sich unter Umständen sowohl tiefenspezifische Stoffverteilungen ermitteln als auch Aussagen über einen etwas längeren Beobachtungszeitraum (Gleichgewichtseinstellung, Verweilzeiten im Grundwasser ca. eine bis mehrere Wochen) gewinnen. Flüchtige organische Stoffe können z. B. mit dem **Gore-Sorber[®]-Verfahren** erfasst werden, bei dem mit einem Adsorptionsmittel gefüllte Kapseln in unterschiedliche Tiefen im Grundwasser (oder Boden) eingebracht werden. Die hier erzielten Untersuchungsergebnisse liefern eine in dem entsprechenden Zeitraum angereicherte Stoffmenge, jedoch keine Stoffkonzentration. Bei dem **DMLS[®]-Verfahren** (Diffusion Multi-Layer Sampler) können in Wasser gelöste Stoffe in mit Wasser gefüllte Zellen (mit Membranen verschlossen) diffundieren, die mittels einem Rohr in verschiedenen Tiefen eingebracht sind. Bislang liegen allerdings zu passiven Probenahmeverfahren keine ausreichenden Praxiserfahrungen vor, sodass über

deren Einsatz und Nutzen im Einzelfall in Absprache mit den zuständigen Behörden zu entscheiden ist.

Detaillierte Hinweise und die dabei zu beachtenden Bedingungen für die oben genannten Methoden sind z. B. in [LFU BW, 1998] und [WEIß ET AL., 2006] beschrieben.

3.7 Dokumentation der Probenahme

Für jede Beprobungsstelle ist bei der Entnahme ein **Protokoll** anzufertigen, in dem alle für die Beurteilung notwendigen Umstände und Beobachtungen vor Ort festzuhalten sind (z. B. Muster-Probenahmeprotokoll im Anhang 5). Ebenso ist der Anlieferungszustand im Labor zu dokumentieren.

Im Einzelnen sind im Protokoll anzugeben:

- Bezeichnung und Beschreibung der Entnahmestellen (Lage, Brunnenausbau; z. B. Verweis auf Messstellenpass); Witterung, Lufttemperatur, vorangegangene Niederschlagsereignisse
- Ruhewasserspiegel und abgesenkter Wasserspiegel (auf NN bezogen bzw. in Meter unter Messpunkt und genaue Bezeichnung des Messpunktes in Meter über NN, jeweils in Zentimetergenauigkeit, Angabe des Messgeräts, z. B. Lichtlot) (siehe auch Kapitel 2.8)
- Zeitpunkt der Probenahme (Datum, Uhrzeit)
- Nummer der Probenahme innerhalb der Reihenfolge der Probenahmekampagne
- Bezeichnung der Probe (eindeutige Beschriftung)
- Beschreibung des Entnahmeverganges (gepumpt/geschöpft; Einbautiefe Pumpe, Förderstrom, Pumpdauer bis zur Leitparameterkonstanz, Absenkung, Fördervolumen bis zur Probenahme)
- Messwerte der physikalisch-chemischen Vor-Ort-Parameter
- Art der Probenvorbehandlung (z. B. filtriert/unfiltriert) und Probenkonservierung, sowie Material und Volumen der übergebenen Probengefäße, einschließlich deren Verschlüsse und Füllgrad (bei leichtflüchtigen Stoffen)
- Funktionstüchtigkeit der Grundwassermessstellen (z. B. Beschädigung des Rohres etc.)
- Besondere Beobachtungen (z. B. auffällige Ablagerungen usw.)
- Name und Dienststelle des Probenehmers
- Übergabe der Probe(n) an das Labor.

3.8 Plausibilitätskontrollen

Um Verwechslungen von Proben zu vermeiden und um Veränderungen der Proben auf dem Transportweg zu erkennen, die sich auf die Analysenergebnisse auswirken können, ist es erforderlich, einige der **Vor-Ort-Parameter** im Labor nochmals zu bestimmen. Zumindest die Prüfung auf Färbung, Trübung, Geruch und Bodensatz sowie die Messung von pH-Wert und Leitfähigkeit sind für ausgewählte Proben erneut durchzuführen und mit den vor Ort gemessenen Werten im Probenahmeprotokoll zu vergleichen. Dadurch kann z. B. erkannt werden, ob als Folge von Ausgasungen oder Sauerstoffeintrag Ausfällungen (z. B. CaCO_3 oder $\text{Fe}(\text{OH})_3$) erfolgt sind.

Durch Überprüfung z. B. der **Ionenbilanz** (Vergleich der Ionenäquivalente von positiv und negativ geladenen Wasserinhaltsstoffen) können Aussagen über die Qualität und Plausibilität der chemisch-

physikalischen Labor- und Vor-Ort-Untersuchungen gemacht werden. Nähere Ausführungen hierzu finden sich im [LFW-MERKBLATT NR. 1.5/1, 2003] .

Ferner ist es zielführend, im Rahmen der Plausibilitätsprüfung von Analysenergebnissen der Grundwasserproben zu prüfen, inwieweit sich zeitliche Variationen der Grundwasserstände parameter-spezifisch auf die ermittelten Konzentrationen auswirken können.

4 Direct-push-Verfahren

4.1 Definition

Nach einer Definition der US Environmental Protection Agency (EPA) (EPA 510-B-97-001/1997) werden unter dem Begriff „Direct-push-Verfahren“ Technologien verstanden, mit deren Hilfe man Boden, Bodenluft und Grundwasser entnehmen, sowie darüber hinaus geologische, geophysikalische und chemische Daten in-situ erheben kann.

Direct-Push(DP)-Verfahren wurden entwickelt, um Untergrundkontaminationen umfassender und schneller untersuchen zu können. Sie erlauben zum einen, die Untergrund-/Schadenssituation räumlich zu erkunden. Zum anderen besteht die Möglichkeit, entsprechend der fortlaufend anfallenden Feldbefunde der schadstoffdetektierenden Sonden, das vorliegende Untersuchungskonzept an die aktuelle Erkenntnislage anzupassen und somit den Erkundungsprozess zu optimieren.

Der **Hauptanwendungsbereich** von DP-Verfahren in der Altlastenerkundung ist demnach die Informationsverdichtung im Rahmen von **Detail- und Sanierungsuntersuchung**.

Die in der Fachliteratur diskutierten Technologien sind in sehr unterschiedlicher Weise auf dem Markt etabliert und größtenteils noch im Entwicklungsstadium. Verallgemeinerbare Erfahrungen, z. B. basierend auf Vergleichsmessungen, sind daher nur für wenige Technologien vorhanden. In [DIETRICH ET AL., 2005], [DIN 4094, 1990], [GERSTNER ET AL., 2006] und [LUA, 2004] wird ein Überblick über gängige DP-Verfahren sowie deren Vor- und Nachteile gegeben. [BÖRKE ET AL., 2008], [GRANDEL ET AL., 2008] und [TEUTSCH, 2008] geben Handlungsempfehlungen für die Anwendung von DP-Verfahren im Zusammenhang mit der Erkundung von Natural Attenuation-Prozessen.

4.2 Vortrieb

Grundsätzlich kann zwischen statischem und dynamischem Vortrieb unterschieden werden. Beim statischen Vortrieb wird über hydraulische Druckvorrichtungen das Bohrgestänge gleichmäßig in den Untergrund gedrückt. Die Druckvorrichtungen können auf Fahrzeugen fixiert sein, wobei hierbei das Fahrzeuggewicht zusätzlich auf das Gestänge wirkt, oder fahrzeugunabhängig im Gelände verankert sein.

Der dynamische Vortrieb erfolgt vibrierend oder schlagend. Hierbei kommen beispielsweise Handbohrhämmer, manuelle Hämmer, fahrzeugfixierte Hämmer bzw. größeres konventionelles Bohrgerät zur Anwendung. Die erreichbaren Endteufen der einzelnen Verfahren unterscheiden sich z. T. erheblich. Sie reichen von wenigen Metern bei handgesteuerten Bohrhammern bis zu einigen 10er Metern bei den statischen Verfahren.

4.3 Beprobungslose Erkundung durch geotechnische und schadstoffdetektierende Sonden

Zur beprobungslosen Erkundung des Untergrundes werden geotechnische und schadstoffdetektierende Sonden eingesetzt. Sie ermöglichen in Kombination miteinander die Untersuchung des geologischen Untergrundes (gesättigte und ungesättigte Zone) in Bezug zur Verteilung organischer Kontaminanten.

Zur Untersuchung geotechnischer Parameter werden lithostatische Sonden (**Cone Penetration Test (CPT)**-Sonde) zur Ermittlung von Mantelreibung und Spitzendruck bzw. des Reibungsverhältnisses, Leitfähigkeitssonden zur Ermittlung der elektrischen Gesteinsleitfähigkeit, seismische Sonden und radioaktive Sonden (gamma-ray-log, gamma-gamma-log, neutron-gamma-log) eingesetzt. Darüber hinaus kommen weitere Sonden/Methoden zum Einsatz, mit deren Hilfe hydraulische Untergrundparameter bestimmt werden können: z. B. Porenwasserdrucksonde, **Direct Push Injection Logging (DPIL-)**, **Direct Push Slug Test (DPST-)** und **Direct Push Permeameter (DPP-)** Sonde.

Die gebräuchlichsten schadstoffdetektierenden Sonden sind die **Membrane Interface Probe (MIP-)** und **Laser Induced Fluorescence (LIF-)** Sonden.

MIP-Sonden werden für den Nachweis von leicht- bis mittelflüchtigen Substanzen (BTEX, LHKW, niedrigsiedende MKW) eingesetzt. Das Verfahren beruht darauf, dass flüchtige organische Substanzen (VOC) in der Sondenumgebung durch einen Heizblock stark erhitzt werden (ca. 100 °C), infolgedessen in die Gasphase übergehen und über eine semipermeable Membran in das Sondeninnere diffundieren. Von dort werden sie über ein Trägergassystem (Inertgasstrom aus Stickstoff oder Wasserstoff) in Sonde und Sondiergestänge in einen Gaschromatografen überführt, welcher mit einem Detektor wie **Photoionisationsdetektor (PID)**, **Flammenionisationsdetektor (FID)** und **Dry Electrolytic Conductivity Detector (DELCD)** gekoppelt ist.

LIF-Sonden hingegen sind optische Sonden, mit deren Hilfe Treibstoff-, Mineralöl- und Teerkontaminationen untersucht werden können. Anhand der **ROST™**-Sonde (**Rapid Optical Screening Tool**) kann die Funktionsweise von LIF-Sonden exemplarisch beschrieben werden: Über ein Lichtleiterkabel und ein Saphirfenster im Sondenmantel gelangt Laserlicht aus dem Sondierfahrzeug in den Untergrund. Hier werden die in den Stoffgemischen enthaltenen Polyzyklischen Aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK) in der Sondenumgebung zur Fluoreszenz angeregt. Die gemessene Summenfluoreszenz kann spektral aufgelöst und in definierten Wellenlängenbereichen quantifiziert werden. Die Intensität in diesen Wellenlängenbereichen wird in Prozent relativ zu einem als Standard definierten Aromatengehalt angegeben. Auf diese Weise können unter Umständen unterschiedliche Kohlenwasserstoffgemische identifiziert werden.

Die Detektionssonden liefern halbquantitative Ergebnisse im Hinblick auf den Schadstoffgehalt aus gesättigter und ungesättigter Zone. Ein Vergleich mit Prüf- oder Stufenwerten ist derzeit nicht durchführbar.

4.4 Grundwasserentnahme

Die Grundwasserentnahmeverfahren, welche im Zusammenhang mit der Anwendung von DP-Technologien zum Einsatz kommen, sind vielfältig und unterliegen aktuell einer stetigen Weiterentwicklung. Sie erweitern die Aussagen der schadstoffdetektierenden Sonden qualitativ und quantitativ. Exemplarisch seien an dieser Stelle das Bengt-Arne-Torstensson (BAT-) Probenahmesystem, der Screen Sampler, das Multilevel-Lost-Pumpsystem, das Westbay-MP-System sowie das Continuous Multichannel Tubing (CMT-) Verfahren genannt. Diese sind geeignet, die vertikale Schadstoffausbreitung im Bohrloch zu erfassen. Da sie in der Regel lediglich im Zusammenhang mit kleinen Filterstrecken zur Anwendung kommen, ist insbesondere bei Kontaminationen mit ausgeprägt vertikalem Gradienten die Vergleichbarkeit mit Ergebnissen aus integrierenden Grundwasserprobenahmen häufig nicht gegeben.

4.5 Vorgehensweise bei der Standorterkundung mit Direct-Push-Verfahren

Um die DP-Verfahren fachlich zielführend und kostensparend einzusetzen, sind eine detaillierte Planung und die Ausarbeitung einer langfristigen Untersuchungsstrategie von großer Bedeutung. Im Hinblick darauf wird die Einhaltung folgender Vorgehensweisen/Eckpunkte dringend empfohlen:

- Alle Planungen und Geländearbeiten sind eng mit der zuständigen Fachbehörde abzustimmen.

- Das gesamte Schadstoffspektrum des zu erkundenden Schadens muss bekannt sein, um z. B. die für die Untersuchungen geeignete Detektionssonde bzw. Sondenkombination vorab festlegen zu können.
- Häufig ist die Lage der Grundwasseroberfläche von Interesse, um ein Schadensszenario im Untergrund beschreiben zu können. Nicht jede Sondenkombination erlaubt jedoch eindeutige Aussagen zur Lage der Grundwasseroberfläche. Dies sollte mit dem Verfahrensanbieter erörtert werden.
- Der geologische Untergrund (Substrateigenschaften aus der Geländeansprache, Schichtenabfolge), die hydrogeologischen Verhältnisse (Grundwasserflurabstand, Permeabilität der Schichten (zumindest geschätzt)), sowie – wenn möglich – geotechnische Parameter wie Lagerungsdichte und Bohrverhalten während früherer Bohraufschlüsse sind zu beschreiben bzw. aufzulisten. Dies ist dem Verfahrensanbieter vor Auftragsvergabe im Hinblick auf die Einsetzbarkeit der Technologie zur Bewertung zu übergeben. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass nach derzeitigem Stand DP Technologien **in der Regel nur im Lockergestein** zur Anwendung kommen. Die Verfahren sind eingeschränkt bis nicht nutzbar in kiesigen Sedimenten, bei Steinen oder im Festgestein. Auch stark bindige Schichten sind unter Umständen schwer bis nicht erbohrbar. Grundwasserprobenahmen in stark schluffig/bindigen Schichten sind unter Umständen nicht realisierbar.
- Die Befahrbarkeit des Untersuchungsgeländes ist im Hinblick auf die Auswahl des Bohrgerätes bzw. die generelle Machbarkeit des Geräteeinsatzes abzuklären.
- Eine Arbeitshypothese zum Schadensbild (z. B. Lage des Schadenszentrums und der Schadstoffausbreitung im Untergrund) ist entsprechend dem jeweiligen Kenntnisstand auszuformulieren.
- Im Ergebnis dieser Vorarbeiten ist ein Untersuchungsziel, sowie ein entsprechendes detailliertes Untersuchungskonzept (Auswahl des Bohrverfahrens bzw. -fahrzeugs, Definition der einzusetzenden Sonden und Probenahmeverfahren, Anzahl und Lage von Bohransatzpunkten mit Ausweichmöglichkeiten, Erkundungsteufen, Anzahl der Grundwasserproben) zu formulieren. Dies sollte vor Auftragsvergabe in enger Abstimmung mit dem DP-Verfahrensanbieter erfolgen, um die technische Durchführbarkeit der Untersuchungen und generell die Realisierbarkeit des Erkundungsziels abzustimmen. Dabei ist dringend zu empfehlen, die fachliche Betreuung der DP-Erkundung in allen Phasen durch mit der Technologie vertraute und erfahrene Sachbearbeiter vornehmen zu lassen.

4.6 Qualitätssicherung, Dokumentation

- **Einsatz schadstoffdetektierender Sonden**

Der Einsatz der DP-Technologie dient in der Regel dazu, im Sinne einer Informationsverdichtung die räumliche Verteilung von Schadstoffen im Untergrund zu untersuchen. Bezogen auf einen Sondierpunkt bedeutet dies, dass die vertikale Schadstoffverteilung erkennbar sein muss; obere und untere Verbreitungsgrenzen der Schadstoffe sind dabei wichtige Informationen. Die schadstoffdetektierenden Sonden sind so einzusetzen, dass diese Aufgabe erfüllt werden kann. Demnach ist Signalverschleppungseffekten (Tailingeffekte), wie sie beispielsweise bei der Anwendung der MIP-Sonde fallweise auftreten, durch entsprechende Maßnahmen entgegenzuwirken.

- **Grundwasserprobenahme**

Kommen vor der Grundwasserprobenahme an einem Bohrloch schadstoffdetektierende Sonden zum Einsatz und wird dasselbe Bohrloch zur Grundwasserprobenahme nachgenutzt, ist es ge-

gen Nachfall zu schützen und abzudecken. Grundsätzlich sollte eine Mehrfachverwendung eines Sondierloches jedoch vermieden werden. Auch sind die Messstellen klarzupumpen, wenn es sich um ein Probenahmeverfahren handelt, bei dem ein Mehrfaches des Bohrlochvolumens in einem verhältnismäßigen Zeitraum ausgetauscht werden kann.

Die Qualitätskriterien für eine Grundwasserprobenahme gemäß Kapitel 3 gelten grundsätzlich auch für die im Rahmen von DP-Untersuchungen entnommenen Grundwasserproben.

Ergebnisse, resultierend aus Grundwasserprobenahmen, die vorgenannte Kriterien nicht erfüllen, haben halbquantitativen Charakter. Ein Vergleich mit Stufenwerten ist dann nicht zulässig.

- **Dokumentation**

Für die Dokumentation von DP-Untersuchungen gelten folgende Eckpunkte:

- Alle Sondierpunkte sind hinsichtlich ihrer räumlichen Lage einzumessen.
- Ergebnisse von schadstoffdetektierenden Sonden sind anhand von Profilen der Detektorsignale und der geotechnischen Signale grafisch darzustellen. Die Bereiche der Grundwasserprobenahme(n) sind anzugeben.
- Alle Arbeiten zur Vorbereitung der Grundwasserprobenahme (wie z. B. die Messstellenentwicklung) und der gesamte Entnahmeprozess selbst sind transparent und nachvollziehbar zu dokumentieren. Es sind Grundwasserprobenahmeprotokolle zu führen, deren Informationsgehalt mindestens dem in Anlage 5 aufgeführten Muster-Probenahmeprotokoll entspricht. Darüber hinaus sind alle Besonderheiten des Probenahmeverfahrens zu dokumentieren.

5 Probenahme von Oberflächenwasser

Für die Untersuchung von Oberflächenwasser sind repräsentative Proben zu entnehmen. In der Regel ist die Entnahme von **Stichproben** mittels Handprobenahmegeräten ausreichend.

Oberflächenwasserproben sind möglichst **unterhalb der Wasseroberfläche** und mit der Fließrichtung (Öffnung des Schöpfers in Fließrichtung, Bewegung in Fließrichtung mit einer der Strömung angepassten Geschwindigkeit) zu entnehmen, um das Miterfassen von aufschwimmenden Stoffen zu vermeiden und ein laminares Einströmen in das Probengefäß zu gewährleisten. Öl- bzw. Lösemittelphasen sind getrennt zu erfassen. Bei einer Probenahme aus Seen (einschließlich Baggerseen) ist eine mögliche Schichtung zu beachten.

Bei jeder Probenahme sind in einem **Probenahmeprotokoll** zumindest der Zeitpunkt der Entnahme (Datum, Uhrzeit), der Name und die Art des Gewässers, die Entnahmestelle (Entfernung vom Ufer in Meter usw.), Angaben zum Wasserstand und zum Abfluss, die Art der Probenahme (z. B. manuell/geschöpft, automatischer Probenehmer), Wetterverhältnisse sowie die Handhabung der Proben (Probenkennzeichnung, Vor-Ort-Messungen, Probenvorbehandlung usw.) in einem Probenahmeprotokoll festzuhalten. Weitere Hinweise zur Entnahme von Oberflächenwasser können [DIN 38402-12, 1985], [DIN 38402-15, 1986] (Entwurf 2008) und [LAWA, 1998] entnommen werden.

6 Entnahme von Bodensickerwasser

In-situ-Sickerwasseruntersuchungen können mithilfe von **Saugkerzen, -platten, Lysimetern** etc. durchgeführt werden. Die Auswahl des jeweiligen Systems muss fallbezogen erfolgen. Generell ist diese Art von Untersuchungen meist sehr aufwändig, im Altlastenbereich bisher wenig erprobt bzw. validiert und wegen möglicher Materialeinflüsse als problematisch anzusehen. Daher sollten solche

Untersuchungen nur in Einzelfällen eingesetzt werden, auch wenn sie den Vorteil einer theoretisch relativ genauen Erfassung der Sickerwasserqualität bieten können. Bislang liegen allerdings zu in-situ Entnahmeverfahren für Bodensickerwasser keine ausreichenden Praxiserfahrungen vor, sodass über deren Einsatz und Nutzen im Einzelfall in Absprache mit den zuständigen Behörden zu entscheiden ist. Die Ergebnisse aus Beprobungen von Sickerwasser aus Schürfen oder Bohrungen sollten nur für qualitative Bewertungen herangezogen werden.

Eine detaillierte Übersicht verschiedener Gewinnungstechniken für Sickerwasser und deren Einsatzmöglichkeiten wird in [NS, AK, 2001], [LAWA, 2005] und in [DWA-M 905, 2008] beschrieben.

7 Analytik von Wasserproben

7.1 Allgemeines

In diesem Kapitel sind die Analysenmethoden zur Bestimmung von physikalisch-chemischen und biologischen Kenngrößen, von Stoffkonzentrationen und Summenparametern in Wasserproben zusammengestellt. Die **Auswahl** der Methoden beruht auf dem neuesten Stand (September 2009) der nationalen und internationalen Normung für Wasseruntersuchungen sowie auf der Erfahrung des LfU in engem Austausch mit anderen Laborbereichen verschiedener Fachbehörden bzw. aufgrund der Mitarbeit in analytischen Arbeitskreisen. Die in den Tabellen 5 bis 11 angegebenen Methoden sind bei den chemisch-physikalischen Untersuchungen von **Grund- und Oberflächenwasserproben** bei Gewässerverunreinigungen, schädlichen Bodenveränderungen und Altlasten anzuwenden. Für die Untersuchung von **Sickerwasserproben und Eluat**en sind die Vorgaben in [LFW-MERKBLATT NR. 3.8/5, 2002] maßgeblich.

Es ist zu empfehlen, zu Beginn einer Untersuchung sowie an ausgewählten Proben im Laufe der weiteren Untersuchungen nach Absprache mit dem Labor fallbezogene Übersichtsanalysen (ICP-MS- bzw. GC-MS-Screening) durchzuführen, um die möglichen branchenspezifischen Verunreinigungen zu ermitteln bzw. um einen Überblick über den zu berücksichtigenden Parameterumfang der Belastung zu erhalten.

7.2 Zusammenstellung von Analysenmethoden

In den nachfolgenden Tabellen 5 bis 11 sind Analysenmethoden für die Untersuchung von Grund- und Oberflächenwasserproben auf **physikalisch-chemische und organoleptische Kenngrößen, gasförmige Inhaltsstoffe, Schwer-, Halbmetalle und sonstige Kationen, Anionen, summarische Wirkungs- und Stoffgrößen, sowie gemeinsam erfassbare organische Stoffgruppen und organische Einzelparameter** zusammengestellt. Weitere Analysenmethoden, die in den Tabellen nicht enthalten sind, können im Einzelfall angewandt werden, falls sie zu vergleichbaren Ergebnissen führen. Grundsätzlich ist in diesen Fällen die alternative Methode mit der zuständigen Fachbehörde abzustimmen und die Gleichwertigkeit der alternativen Methode nachzuweisen.

- In Spalte 1 sind die zu untersuchenden **Parameter bzw. Kenngrößen** aufgelistet.
- Spalte 2 enthält die **Schlüsselnummer** (Schl.-Nr.) für den jeweiligen Parameter nach dem Verschlüsselungsverzeichnis [LFW BY, 2007]
- Die Spalte 3 beinhaltet analytische **Bestimmungsmethoden**. Es handelt sich dabei nahezu ausschließlich um „Deutsche Einheitsverfahren (DEV)“. Die DIN-Normen sind größtenteils von Europäischen (EN) oder internationalen Normen (ISO) übernommen. Sind in der Tabelle für einen Parameter mehrere Analysenmethoden angegeben, so kann unter Berücksichtigung der ergänzenden Angaben in den Spalten 4 und 5, das für die jeweilige Untersuchung bestgeeignete Verfahren ausgesucht werden.

- In der Spalte 4 werden **Hinweise** zu den anzuwendenden Methoden zur Bestimmung der verschiedenen Parameter gegeben.
- Die Spalte 5 enthält orientierende Angaben zur im Laborverbund der bayerischen Wasserwirtschaftsverwaltung erreichbaren, **unteren Anwendungsgrenze** der Methoden und die zugehörige Einheit für die Angabe der Untersuchungsergebnisse, die der jeweiligen Schlüsselnummer für den Parameter zugeordnet ist. Der Wert der Bestimmungsgrenze kann im Einzelfall matrixbedingt höher liegen, als in der Tabelle angegeben. Zudem ist die Bestimmungsgrenze vom jeweiligen Einzelstoff, von den Randbedingungen und der Detektierbarkeit abhängig.

Tabelle 5: Physikalisch-chemische und organoleptische Kenngrößen

Parameter / Kenngröße	Schl.-Nr.	Bestimmungsmethode	Methodenhinweise	Genauigkeit
Elektrische Leitfähigkeit *)	1083	DIN EN 27888	LF-Elektrode **)	1 $\mu\text{S}/\text{cm}$
Färbung *)	1026	DIN EN ISO 7887	visuelle Prüfung	
Geruch *)	1042	DEV B1/2a	qualitative Prüfung	
Trübung *)	1031	DIN EN ISO 7027]	visuelle Prüfung	
pH-Wert *)	1061	DIN 38404-5	pH-Elektrode	
Redox-Spannung *)	1075	DIN 38404-6	Redox-Elektrode	
Spektr. Absorptionskoeffizient (254 nm)	1028	DIN 38404-3	Spektralfotometrie	0,1 m^{-1}
Spektr. Absorptionskoeffizient (436 nm)	1027	DIN EN ISO 7887	Spektralfotometrie	0,1 m^{-1}
Wassertemperatur *)	1021	DIN 38404-4-1	Thermometer	($\pm 0,1$) $^{\circ}\text{C}$

*) Vor-Ort-Parameter

**) Das Ergebnis der Leitfähigkeitsmessung ist auf die Bezugstemperatur anzugeben.

Tabelle 6: Gasförmige Inhaltstoffe

Parameter	Schl.-Nr.	Bestimmungsmethode	Methodenhinweise	untere Anwendungsgrenze
Sauerstoff, gelöst (O_2) *)	1281	DIN EN 25813 DIN EN 25814	Iodometrie Sauerstoffsonde	0,2 mg/l 0,2 mg/l
Kohlenstoffdioxid, gelöst **) (CO_2)	1221	DIN 38409-7-2-2	Maßanalyse (siehe auch Basekapazität, Tabelle 9)	0,05 mmol/l

*) Vor-Ort-Parameter

**) möglichst vor Ort bestimmen

Tabelle 7: Metallionen, Halbmetalle und sonstige Kationen

Parameter	Schl.-Nr.	Bestimmungsmethode	Methodenhinweise	untere Anwendungsgrenze
Aluminium (Al)	1131	DIN EN ISO 12020 DIN EN ISO 12020 DIN EN ISO 11885 DIN EN ISO 17294-2	Flammen-AAS Grafitrohr-AAS ICP-OES ICP-MS	0,1 mg/l 0,02 mg/l 0,02 mg/l 0,005 mg/l
Ammonium-Stickstoff (NH₄-N)	1248, 1249	DIN 38406-5-1 DIN 38406-5-2 DIN EN ISO 11732	Spektralfotometrie Maßanalyse nach Destillation Fließanalysenverfahren	0,03 mg/l 0,5 mg/l 0,1 mg/l
Antimon (Sb)	1145	analog DIN EN ISO 11969, DIN 38405-32-2 DIN 38405-32-1 DIN EN ISO 11885 DIN EN ISO 17294-2	AAS-Hydridtechnik Grafitrohr-AAS ICP-OES ICP-MS	0,001 mg/l 0,002 mg/l 0,1 mg/l 0,0002 mg/l
Arsen (As)	1142	DIN EN ISO 11969 DIN EN ISO 11885 DIN EN ISO 17294-2	AAS-Hydridtechnik ICP-OES ICP-MS	0,001 mg/l 0,1 mg/l 0,001 mg/l
Barium (Ba)	1124	DIN EN ISO 11885 DIN EN ISO 5961 DIN EN ISO 17294-2	ICP-OES Grafitrohr-AAS ICP-MS	0,01 mg/l 0,5 mg/l 0,0005 mg/l
Beryllium (Be)	1120	analog DIN EN ISO 5961 DIN EN ISO 11885 DIN EN ISO 17294-2	Grafitrohr-AAS ICP-OES ICP-MS	0,0005 mg/l 0,01 mg/l 0,001 mg/l
Blei (Pb)	1138	DIN 38406-6-1 DIN 38406-6-2 DIN EN ISO 11885 DIN EN ISO 17294-2	Flammen-AAS Grafitrohr-AAS ICP-OES ICP-MS	0,5 mg/l 0,002 mg/l 0,1 mg/l 0,0002 mg/l
Bor (B)	1211	DIN EN ISO 11885 DIN 38405-17 DIN EN ISO 17294-2	ICP-OES Spektralfotometrie ICP-MS	0,05 mg/l 0,05 mg/l 0,01 mg/l
Cadmium (Cd)	1165	DIN EN ISO 5961-HA2 DIN EN ISO 5961-HA3 DIN EN ISO 11885 DIN EN ISO 17294-2	Flammen-AAS Grafitrohr-AAS ICP-OES ICP-MS	0,05 mg/l 0,0003 mg/l 0,01 mg/l 0,0005 mg/l
Calcium (Ca)	1122	DIN EN ISO 7980 DIN EN ISO 11885 DIN EN ISO 17294-2 DIN 38406-3	Flammen-AAS ICP-OES ICP-MS Komplexometrie	0,1 mg/l 0,1 mg/l 0,05 mg/l 2 mg/l

Fortsetzung Tabelle 7

Parameter	Schl.-Nr.	Bestimmungsmethode	Methodenhinweise	untere Anwendungsgrenze
Chrom, gesamt (Cr, ges.) (Cr VI siehe Tabelle 8)	1151	DIN EN 1233-HA3 DIN EN 1233-HA4 DIN EN ISO 11885 DIN EN ISO 17294-2	Flammen-AAS Grafitrohr-AAS ICP-OES ICP-MS	0,5 mg/l 0,002 mg/l 0,01 mg/l 0,001 mg/l
Eisen (Fe)	1182	DIN 38406-32-1 DIN 38406-32-2 DIN EN ISO 11885 DIN EN ISO 17294-2	Flammen-AAS Grafitrohr-AAS ICP-OES ICP-MS	0,1 mg/l 0,005 mg/l 0,02 mg/l 0,01 mg/l
Kalium (K)	1113	E DIN ISO 9964-3 DIN 38406-13 DIN EN ISO 11885 DIN EN ISO 17294-2	Flammenemission-AES Flammen-AAS ICP-OES ICP-MS	0,1 mg/l 1 mg/l 0,1 mg/l 0,05 mg/l
Kobalt (Co)	1186	DIN 38406-24-1 DIN 38406-24-2 DIN EN ISO 11885 DIN EN ISO 17294-2	Flammen-AAS Grafitrohr-AAS ICP-OES ICP-MS	0,2 mg/l 0,002 mg/l 0,01 mg/l 0,0002 mg/l
Kupfer (Cu)	1161	DIN 38406-7-1 DIN 38406-7-2 DIN EN ISO 11885 DIN EN ISO 17294-2	Flammen-AAS Grafitrohr-AAS ICP-OES ICP-MS	0,1 mg/l 0,002 mg/l 0,01 mg/l 0,001 mg/l
Magnesium (Mg)	1121	DIN EN ISO 7980 DIN EN ISO 11885 DIN EN ISO 17294-2 DIN 38406-3	Flammen-AAS ICP-OES ICP-MS Komplexometrie	0,1 mg/l 0,005 mg/l 0,001 mg/l 2 mg/l
Mangan (Mn)	1171	DIN 38406-33-1 DIN 38406-33-2 DIN EN ISO 11885 DIN EN ISO 17294-2	Flammen- AAS Grafitrohr-AAS ICP-OES ICP-MS	0,1 mg/l 0,001 mg/l 0,002 mg/l 0,003 mg/l
Molybdän (Mo)	1155	analog DIN EN ISO 5961 DIN EN ISO 11885 DIN EN ISO 17294-2	Grafitrohr-AAS ICP-OES ICP-MS	0,001 mg/l 0,03 mg/l 0,0003 mg/l
Natrium (Na)	1112	DIN ISO 9964-3 DIN 38406-14 DIN EN ISO 11885 DIN EN ISO 17294-2	Flammenemission-AES Flammen-AAS ICP-OES ICP-MS	1 mg/l 5 mg/l 0,1 mg/l 0,01 mg/l

Fortsetzung Tabelle 7

Parameter	Schl.-Nr.	Bestimmungsmethode	Methodenhinweise	untere Anwendungsgrenze
Nickel (Ni)	1188	DIN 38406-11-1 DIN 38406-11-2 DIN EN ISO 11885 DIN EN ISO 17294-2	Flammen-AAS Grafitrohr-AAS ICP-OES ICP-MS	0,2 mg/l 0,005 mg/l 0,002 mg/l 0,001 mg/l
Quecksilber (Hg)	1166	DIN EN 1483 DIN EN 12338 DIN EN 13506	Kaltdampftechnik-AAS Kaltdampf-AAS (nach Anreicherung durch Amalgamtechnik) Atomfluoreszenz	0,0001 mg/l 0,00001 mg/l 0,000005 mg/l
Selen (Se)	1218	DIN 38405-23-2 DIN 38405-23-1 DIN EN ISO 11885 DIN EN ISO 17294-2	AAS-Hydridtechnik Grafitrohr-AAS ICP-OES ICP-MS	0,001 mg/l 0,005 mg/l 0,1 mg/l 0,01 mg/l
Thallium (Tl)	1208	DIN 38406-26 DIN EN ISO 11885 DIN EN ISO 17294-2	Grafitrohr-AAS ICP-OES ICP-MS	0,005 mg/l 0,1 mg/l 0,001 mg/l
Vanadium (V)	1141	analog DIN EN ISO 5961 analog DIN EN ISO 5961 DIN EN ISO 11885 DIN EN ISO 17294-2	Grafitrohr-AAS Flammen-AAS ICP-OES ICP-MS	0,005 mg/l 1 mg/l 0,01 mg/l 0,0001 mg/l
Wolfram (W)		DIN EN ISO 11885 DIN EN ISO 17294-2	ICP-OES ICP-MS	0,02 mg/l 0,1 mg/l
Zink (Zn)	1164	E DIN 38406-8 DIN EN ISO 11885 DIN EN ISO 17294-2	Flammen-AAS ICP-OES ICP-MS	0,05 mg/l 0,01 mg/l 0,001 mg/l
Zinn (Sn)	1137	analog DIN EN ISO 11969 analog DIN EN ISO 5961 DIN EN ISO 11885 DIN EN ISO 17294-2	AAS-Hydridtechnik Grafitrohr-AAS ICP-OES ICP-MS	0,005 mg/l 0,01 mg/l 0,1 mg/l 0,001 mg/l

Tabelle 8: Anionen

Parameter	Schl.-Nr.	Bestimmungsmethode	Methodenhinweise	untere Anwendungsgrenze
Chlorid (Cl ⁻)	1331	DIN 38405-1-1 DIN EN ISO 10304-1/-2	Maßanalyse Ionenchromatografie	5 mg/l 0,1 mg/l
Chromat (Cr VI) ^{*)}	1154	DIN 38405-24 DIN EN ISO 10304-3	Spektralfotometrie Ionenchromatografie	0,05 mg/l 0,05 mg/l
Cyanid, gesamt (CN ⁻ , ges.)	1231	DIN 38405-13-1, DIN 38405-14-1 E DIN EN ISO 14403	Spektralfotometrie Fließanalytik	0,02 mg/l 0,02 mg/l
Cyanid, leicht freisetzbar (CN ⁻)	1234	DIN 38405-13-2, DIN 38405-14-2 E DIN EN ISO 14403	Spektralfotometrie Fließanalytik	0,02 mg/l 0,02 mg/l
Fluorid (F ⁻)	1321	DIN EN ISO 10304-1/-2 DIN 38405-4-1	Ionenchromatografie Fluorid-Ionenselektive Elektrode	0,1 mg/l 0,1 mg/l
Hydrogencarbonat, Carbonat (HCO ₃ ⁻ , CO ₃ ²⁻)	1224	DIN 38409-7-1-2	Maßanalyse	0,05 mmol/l
Nitrat (NO ₃ ⁻)	1244	DIN 38405-9-2 Handb. tGewA, EA 4.1.5 DIN EN ISO 13395 DIN EN ISO 10304-1 / -2	Spektralfotometrie Salicylatmethode Fließanalytik Ionenchromatografie	0,2 mg/l 1 mg/l 0,2 mg/l 0,1 mg/l
Nitrit (NO ₂ ⁻)	1246	DIN EN 26777 DIN EN ISO 10304-1/-2 DIN EN ISO 13395	Spektralfotometrie Ionenchromatografie Fließanalytik	0,005 mg/l 0,1 mg/l 0,01 mg/l
Phosphor, gesamt (P, ges.)	1262	DIN EN ISO 6878 HA 7/8 DIN EN ISO 11885 DIN EN ISO 15681	Spektralfotometrie ICP-OES Fließanalytik	0,005 mg/l 0,1 mg/l 0,005 mg/l
Phosphat, ortho (PO ₄ ³⁻)	1263/4	DIN EN ISO 6878 HA4	Spektralfotometrie	0,005 mg/l
Silicat (Kieselsäure) (SiO ₂)	1213	DEV J10 (alt) DIN 38405-21 DIN EN ISO 16264	Spektralfotometrie Spektralfotometrie Fließanalytik	0,2 mg/l 1 mg/l 0,02 mg/l
Sulfat (SO ₄ ²⁻)	1313	DIN 38405-5-1 DIN 38405-5-2 DIN EN ISO 10304-1 / -2	Maßanalyse Gewichtsanalyse Ionenchromatografie	10 mg/l 10 mg/l 0,1 mg/l
Sulfid (S ²⁻) - gelöst - leicht freisetzbar	1311	DIN 38405-26 DIN 38405-27	Spektralfotometrie Spektralfotometrie	0,05 mg/l 0,05 mg/l

*) Für die Überprüfung der Stufenwerte in Grundwasser für Chromat gemäß Tabelle 4 des LfW-Merkblatt Nr. 3.8/1 existiert derzeit keine genormte Analysenmethode. Die Bestimmung von Chromat sollte deshalb nach chromatografischer Abtrennung von Chrom (III) mittels atomspektrometrischer Methoden erfolgen.

Tabelle 9: Summarische Wirkungs- und Stoffgrößen

Parameter	Schl.-Nr.	Bestimmungsmethoden	Methode/Bemerkung	untere Anwendungsgrenze
Abfiltrierbare Stoffe und Glührückstand	1441	DIN 38409-2-2 DIN EN 872	Gewichtsanalyse	3 mg/l
AOX	1336	DIN EN ISO 9562	Adsorption auf Aktivkohle, Verbrennung, Coulometrie	0,01 mg/l
BSB₅	1654	DIN EN 18-9-1 DIN EN 18-9-2	Maßanalyse, Verdünnung mit Hemmung Maßanalyse, Verdünnung ohne Hemmung	2 mg/l
CSB	1533, 1536	DIN 38409-41 DIN 38409-44	Maßanalyse	15 mg/l 5 mg/l
EOX	1334	DIN 38409-8	Mineralisierung zum Halogenid nach Extraktion	0,02 mg/l
Gesamttrocken- rückstand	1421	DIN 38409-1-1	Gewichtsanalyse	mg/l
Gesamtglührückstand	1425	DIN 38409-1-3	Gewichtsanalyse	mg/l
Oxidierbarkeit (O₂) (Permanganatindex)	1532	DIN EN ISO 8467	Maßanalyse	0,5 mg/l
Säurekapazität, Basekapazität ^{*)}	1472, 1476,1477	DIN 38409-7-1 DIN 38409-7-2	Maßanalyse Maßanalyse	0,05 mmol/l 0,05 mmol/l
TOC, DOC	1523, 1524	DIN EN 1484	Gerätespezifisches Verfahren	0,5 mg/l

*) möglichst vor Ort bestimmen

Tabelle 10: Organische Stoffgruppen und organische Einzelstoffe

Parameter	Schl.-Nr.	Bestimmungsmethode	Methodenhinweise	untere Anwendungsgrenze
BTEX	2370	ISO 11423-1, DIN 38407-9-1 ISO 11423-2, DIN 38407-9-2 DIN EN ISO 15680	Dampfraum-GC Pentan-Extraktion / GC Purge- and Trap-Verfahren	5 µg/l 5 µg/l 0,02–0,05 µg/l
MKW < C10		siehe BTEX		
MTBE, ETBE		siehe BTEX		
Chlorbenzole – Mono-Trichlorbenzole – Tri-Hexachlorbenzole	2100	DIN EN ISO 10301 DIN EN ISO 6468, DIN 38407-2 analog SHKW	Flüssigextraktion / GC-ECD Flüssigextraktion / GC-ECD	0,1 µg/l 0,01 µg/l
Chlorphenole	2268	DIN EN 12673	extraktive Derivatisierung mit Acetanhydrid / GC-ECD	0,05–5 µg/l
Komplexbildner - starke Komplexbildner - EDTA und NTA - EDTA / NTA	1578 1577 1573/5	E DIN 38413-10 DIN 38409-26 DIN 38413-5 DIN 38413-3	PND und GC/MS Bismut-Komplexindex Polarografie GC-NPD	mg/l 1 µg/l mg/l
LHKW	2082	DIN EN ISO 10301, DIN 38407-5 analog DIN EN ISO 15680 (analog DIN 38407-19)	Gaschromatografie -ECD, -FID Purge- and Trap-Analyse mit GC-ECD oder GC-MS	0,01–5 µg/l 0,01–1 µg/l
- Chlorethen (Vinylchlorid)	2015	DIN EN ISO 15680 (DIN 38407-19) DIN 38413-2	Purge- and Trap-Analyse mit GC-MS GC-FID	0,02 µg/l 5 µg/l
MKW^{*)}	1544	DIN EN ISO 9377-2 E DIN EN ISO 9377-1 Überblicksanalyse	Extraktion / GC-FID Lösemittelextraktion, Gravimetrie Fingerprintidentifizierung: GC-FID ohne Quantifizierung	0,1 mg/l 50 mg/l -
Sprengstofftypische Verbindungen (STV)		DIN 38407-17 DIN EN ISO 22478	GC HPLC	0,1 µg/l 0,1–0,5 µg/l

*) Zur Bestimmung des Kohlenwasserstoffindex ist die gaschromatografische Methode der DIN EN ISO 9377-2 einzusetzen. Das GC-Verfahren ermöglicht es, neben der Summenauswertung, zusätzlich die Identifizierung von Einzelstoffen und ggf. die Bestimmung der Art des technischen Produktes. Wenn im Chromatogramm einzelne Messsignale auftreten, die üblicherweise in Mineralölgemischen nicht vorkommen, dann ist durch Wiederholung der Reinigung mit Florisil zu prüfen, ob es sich bei diesen Signalen um KW handelt. Im Falle von KW müssen die Signalintensitäten im Verhältnis zu den übrigen KW gleich bleiben. Bei verhältnismäßiger Abnahme der Signale ist die Reinigung ggf. mehrfach zu wiederholen. Höhere Konzentrationen (> 50 mg/l) können gravimetrisch nach E DIN EN ISO 9377-1 quantifiziert werden, wobei durch Verdunstung der niedersiedenden Anteile Minderbefunde in Betracht zu ziehen sind. Gleichzeitig erfasst diese Methode auch die höhersiedenden Kohlenwasserstoffe KW > C40.

Fortsetzung Tabelle 10

Parameter	Schl.-Nr.	Bestimmungsmethode	Methodenhinweise	untere Anwendungsgrenze
PAK ¹⁾	2450	DIN EN ISO 17993 E DIN 38407-39 DIN 38407-7	Hexan-Extraktion, Analyse mit HPLC-FLD/UV GC-MS als Vortest	je 0,01 µg/l -
PBSM + SHKW - Organochlorpestizide ²⁾ und SHKW - Organ. N- und P-Verbindungen ³⁾ - Phenoxyalkan-carbonsäure-herbizide - Phenylharnstoff-herbizide PBSM (allgemein)	2187, 2200	DIN EN ISO 6468, DIN 38407-2 DIN 38407-6 DIN EN ISO 10695-1 DIN EN ISO 11369 DIN 38407-14 E DIN 38407-20, DIN ISO 15913 DIN EN ISO 11369 DIN V 38407-11	Flüssigextraktion / GC-ECD (ggf. auch GC-MS) GC-PND GC-PND HPLC-UV-DAD GC-MS HPLC-UV-DAD AMD-Technik (Dünnschichtchromatografie)	0,001–0,01µg/l 0,01–0,5µg/l 0,05–0,1µg/l 0,02–0,1µg/l 0,05 µg/l 0,02–0,1µg/l 0,05 µg/l
PCB	2189	DIN 38407-2, DIN EN ISO 6468 DIN 38407-3-2 DIN 38407-3-3	GC-ECD (Vortest) GC-ECD (Peakmuster) GC-MS	je 0,01- 0,05 µg/l0, 1– 1 µg/l 0,01–0,05 µg/l
Phenolindex ⁴⁾	1556 – 1558 1552	DIN 38409-16 E DIN EN ISO 14402	Spektralfotometrie Fließanalytik	0,02 mg/l 0,01 mg/l
Tenside - nichtion. + anion. - anionisch - kationisch	1567 1561 -	analog DIN 38409-23-2 DIN EN 903 DIN 38409-20	Bismutaktive Stoffe BIAS Methylenblau-Index MBAS Disulfonblauaktive Stoffe	0,1 mg/l 0,1 mg/l 0,1 mg/l

- 1) Bei positivem Befund im Auswahltest z. B. mittels Dünnschichtchromatografie nach DIN 38409-13-2 (Ergebnis > 50 ng/l) oder bei anders begründetem Verdacht sind zu Beginn des Untersuchungsablaufes sowie zwischendurch Probenextrakte zur Identifizierung von PAK-haltigen technischen Produkten und sonstigen branchenspezifischen Parametern mittels GC-MS zu untersuchen (GC-MS-Screening). Auf Grund der dabei gewonnenen Kenntnisse ist die Bestimmungsmethode für die Routinemessung festzulegen.
- 2) z. B. Aldrin, DDT, HCH-Gemisch
- 3) z. B. Triazinherbizide
- 4) Bei Überschreitung des Stufe-1-Wertes für den Phenolindex (vgl. Tabelle 4 des LfW-Merkblatts Nr. 3.8/1) ist eine Bestimmung der Einzelstoffe durchzuführen.

Tabelle 11: Testmethoden mit Wasserorganismen (Biotest)

Parameter	Schl.-Nr.	Bestimmungsmethode	Methodenhinweise	Einheit
Daphnientest	1703	DIN 38412-30	Statischer Test	G _D
Leuchtbakterientest	1705	DIN EN ISO 113481-3	Statischer Test	G _L
Algentest	1704	DIN 38412-33	Statischer Test	G _A

8 Literaturverzeichnis

Bei den hier angegebenen Verordnungen und Regelwerken gilt grundsätzlich die aktuelle Fassung. Die angegebenen LfW-Merkblätter können im Internet unter <http://www.lfw.bayern.de> heruntergeladen werden.

<p>[BAYWG, 1994] BAYERISCHES WASSERGESETZ (BAYWG) IN DER FASSUNG DER BEKANNTMACHUNG VOM 19. JULI 1994 (GVBL S. 822, BAYRS 753-1-UG), ZULETZT GEÄNDERT DURCH GESETZ VOM 20. DEZEMBER 2007 (GVBL S. 969). HTTP://BY.JURIS.DE/BY/WASG_BY_1994_RAHMEN.HTM</p>
<p>[BAYBODSCHG, 1999] BAYERISCHES BODENSCHUTZGESETZ VOM 23.02.1999; GVBL. NR. 5/1999, S. 36 FF; ZULETZT GEÄNDERT AM 05.04.2006, GVBL 2006, S. 178</p>
<p>[BBODSCHG, 1998] BUNDES-BODENSCHUTZGESETZ VOM 17.03.1998; BGBl. I NR. 16 VOM 25.03.1998, S. 502; ZULETZT GEÄNDERT DURCH ART. 3 G V. 09.12.2004 (BGBl. I S. 3214)</p>
<p>[BBERGG, 1980] BUNDESBERGGESSETZ (BBERGG) IN DER FASSUNG DER BEKANNTMACHUNG VOM 13. AUGUST 1980 (BGBl I S. 1310), ZULETZT GEÄNDERT DURCH GESETZ VOM 29. JULI 2009 (BGBl I S. 2274)</p>
<p>[BG BAU, 2006] BERUFGENOSSENSCHAFTLICHE REGELN FÜR SICHERHEIT UND GESUNDHEIT BEI DER ARBEIT (BG-REGELN), BG-REGEL BGR 161, ARBEITEN IM SPEZIALTIEFBAU, VOM APRIL 1997, AKUALISIERTE NACHDRUCKSFASSUNG AUGUST 2006</p>
<p>[BUWAL, 2003] BUNDESAMT FÜR UMWELT, WALD UND LANDSCHAFT (BUWAL): PRAXISHILFE GRUNDWASSERPROBENAHME, BERN, 2003.</p>
<p>[DIN 38402-12, 1985] DEUTSCHE EINHEITSVERFAHREN ZUR WASSER-, ABWASSER- UND SCHLAMMUNTERSUCHUNG; ALLGEMEINE ANGABEN (GRUPPE A), TEIL 12; AUSGABE 6/1985: PROBENAHME AUS STEHENDEN GEWÄSSERN</p>
<p>[DIN 38402-15, 1986] DEUTSCHE EINHEITSVERFAHREN ZUR WASSER-, ABWASSER- UND SCHLAMMUNTERSUCHUNG; ALLGEMEINE ANGABEN (GRUPPE A), TEIL 15; AUSGABE 7/1986: PROBENAHME AUS FLIEßGEWÄSSERN, ENTWURF 2009</p>
<p>[DIN 4023, 2006] GEOTECHNISCHE ERKUNDUNG UND UNTERSUCHUNG – ZEICHNERISCHE DARSTELLUNG DER ERGEBNISSE VON BOHRUNGEN UND SONSTIGEN DIREKTEN AUFSCHLÜSSEN</p>
<p>[DIN 4924, 1998] SANDE UND KIESE FÜR DEN BRUNNENBAU – ANFORDERUNG UND PRÜFUNGEN, 1998</p>
<p>[DIN EN ISO 5667-3, 2004] WASSERBESCHAFFENHEIT – PROBENAHME – TEIL 3: ANLEITUNG ZUR KONSERVIERUNG UND HANDHABUNG VON WASSERPROBEN (ISO 5667-3:2003); DEUTSCHE FASSUNG EN ISO 5667-3: 2003; UND BERICHTIGUNG 1:2006</p>
<p>[DIN EN ISO 22475-1, 2007] GEOTECHNISCHE ERKUNDUNG UND UNTERSUCHUNG – PROBENENTNAHMEVERFAHREN UND GRUNDWASSERMESSUNGEN – TEIL 1: TECHNISCHE GRUNDLAGEN DER AUSFÜHRUNG (ISO 22475-1:2006); DEUTSCHE FASSUNG EN ISO 22475-1, 2007</p>

[DIN EN ISO 14688-1, 2003] GEOTECHNISCHE ERKUNDUNG UND UNTERSUCHUNG – BENNENUNG, BESCHREIBUNG UND KLASSIFIZIERUNG VON BODEN – TEIL 1: BENNENUNG UND BESCHREIBUNG (ISO 14688-1:2002); DEUTSCHE FASSUNG EN ISO 14688-1:2003
[DIN EN ISO 14688-2, 2004] GEOTECHNISCHE ERKUNDUNG UND UNTERSUCHUNG – BENNENUNG, BESCHREIBUNG UND KLASSIFIZIERUNG VON BODEN – TEIL 2: GRUNDLAGEN FÜR BODENKLASSIFIZIERUNGEN (ISO 14688-2:2002); DEUTSCHE FASSUNG EN ISO 14688-2:2004
[DIN EN ISO 14689-1, 2003] GEOTECHNISCHE ERKUNDUNG UND UNTERSUCHUNG – BENNENUNG, BESCHREIBUNG UND KLASSIFIZIERUNG VON FELS – TEIL 1: BENNENUNG UND BESCHREIBUNG (ISO 14689-1:2003); DEUTSCHE FASSUNG EN ISO 14689-1:2003
[DVGW W 110, 2005] DEUTSCHER VEREIN DES GAS- UND WASSERFACHES , TECHNISCHE REGEL ARBEITSBLATT W 110: GEOPHYSIKALISCHE UNTERSUCHUNGEN IN BOHRUNGEN, BRUNNEN UND GRUNDWASSERMESSTELLEN – ZUSAMMENSTELLUNG VON METHODEN UND ANWENDUNGEN, 1990
[DVGW W 111, 1997] DEUTSCHER VEREIN DES GAS- UND WASSERFACHES, MERKBLATT W 111: PLANUNG, DURCHFÜHRUNG UND AUSWERTUNG VON PUMPVERSUCHEN BEI DER WASSERERSCHLIEßUNG, 1997
[DVGW W 112, 2009] DEUTSCHER VEREIN DES GAS- UND WASSERFACHES, MERKBLATT W 112: GRUNDSÄTZE DER GRUNDWASSERPROBENAHME, ENTWURF 2009
[DVGW W 135, 1998] DEUTSCHER VEREIN DES GAS- UND WASSERFACHES, TECHNISCHE REGEL ARBEITSBLATT W 135: SANIERUNG UND RÜCKBAU VON BOHRUNGEN, GRUNDWASSERMESSTELLEN UND BRUNNEN, 1998
[DVGW W 113, 2001] DEUTSCHER VEREIN DES GAS- UND WASSERFACHES , TECHNISCHE MITTEILUNGEN MERKBLATT W 113: BESTIMMUNG DES SCHÜTTKORNDURCHMESSERS UND HYDROGEOLOGISCHER PARAMETER AUS DER KORNGRÖßENVERTEILUNG FÜR DEN BAU VON BRUNNEN, 2001
[DVGW W 119, 2002] DEUTSCHER VEREIN DES GAS- UND WASSERFACHES , TECHNISCHE REGEL MERKBLATT W 119: ENTWICKELN VON BRUNNEN DURCH ENTSANDEN – ANFORDERUNGEN, VERFAHREN, RESTSANDGEHALTE, 2002
[DVGW W 120, 2005] DEUTSCHER VEREIN DES GAS- UND WASSERFACHES , TECHNISCHE REGEL MERKBLATT W 120: QUALIFIKATIONSANFORDERUNGEN FÜR DIE BEREICHE BOHRTECHNIK, BRUNNENBAU UND BRUNNENREGENERIERUNG, 2005
[DVGW W 121, 2003] DEUTSCHER VEREIN DES GAS- UND WASSERFACHES (DVGW), TECHNISCHE REGEL MERKBLATT W 121: BAU UND AUSBAU VON GRUNDWASSERMESSTELLEN, 2003
[DVGW W 115, 2008] DEUTSCHER VEREIN DES GAS- UND WASSERFACHES (DVGW), TECHNISCHE REGEL MERKBLATT W 115, BOHRUNGEN ZUR ERKUNDUNG, BEOBACHTUNG UND GEWINNUNG VON GRUNDWASSER, 2008
[DVWK-REGEL 128, 1992] DEUTSCHER VERBAND FÜR WASSERWIRTSCHAFT UND KULTURBAU, REGEL 128: ENTNAHME UND UNTERSUCHUNGSUMFANG VON GRUNDWASSERPROBEN, 1992

<p>[DVWK M 20, 1990] DEUTSCHER VERBAND FÜR WASSERWIRTSCHAFT UND KULTURBAU, MITTEILUNGEN 20: EINFLÜSSE VON MEßSTELLENAUSBAU UND PUMPENMATERIALIEN AUF DIE BESCHAFFENHEIT EINER WASSERPROBE, 1990</p>
<p>[DVWK M 245, 1997] DEUTSCHER VERBAND FÜR WASSERWIRTSCHAFT UND KULTURBAU, MERKBLATT 245: TIEFENORIENTIERTE PROBENAHME AUS GRUNDWASSERMESSSTELLEN, 1997</p>
<p>[DWA-M 905, 2008] DEUTSCHE VEREINIGUNG FÜR WASSERWIRTSCHAFT, ABWASSER UND ABFALL E. V., MERKBLATT DWA-M 905: IN SITU-ERFASSUNG VON BODENLÖSUNG, ENTWURF 2008</p>
<p>[HLUG, 2008] HESSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE, HANDBUCH ALTLASTEN, BAND 3, TEIL 6: ERMITTLUNG VON SCHADSTOFFFRACHTEN IM GRUND- UND SICKERWASSER, WIESBADEN 2008</p>
<p>[IZU LfU] INFOZENTRUM UMWELTWIRTSCHAFT DES LfU (www.izu.bayern.de)</p>
<p>[ISO 5667-11, 2009] WATER QUALITY – SAMPLING – PART 11: GUIDANCE ON SAMPLING OF GROUNDWATERS, APRIL 2009</p>
<p>[LANUV, 2006] MATERIALIEN ZUR ALTLASTENSANIERUNG UND ZUM BODENSCHUTZ MALBO 25: GRUNDWASSERUNTERSUCHUNGEN AN ALTLASTEN IM LOCKERGESTEIN. ZUSAMMENHÄNGE ZWISCHEN UNTERGRUNDAUFBAU, STOFFVERHALTEN, MESSSTELLENAUSBAU UND ANALYSENERGEBNISSEN, LANDESAMT NORDRHEIN-WESTFALEN, ESSEN, 2006</p>
<p>[LAWA, 1993] LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT WASSER; RICHTLINIEN FÜR BEOBACHTUNG UND AUSWERTUNG, TEIL 3: GRUNDWASSERBESCHAFFENHEIT (GRUNDWASSERRICHTLINIE 3/93), 1993</p>
<p>[LAWA, 1995] AQS-MERKBLATT P-8/2 („PROBENAHME VON GRUNDWASSER“) ZU DEN RAHMENEMPFEHLUNGEN DER LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT WASSER (LAWA) FÜR DIE QUALITÄTSSICHERUNG BEI WASSER-, ABWASSER- UND SCHLAMMUNTERSUCHUNGEN, MAI 1995</p>
<p>[LAWA, 1998] AQS-MERKBLATT P-8/3 („PROBENAHME AUS FLIEßGEWÄSSERN“) ZU DEN RAHMENEMPFEHLUNGEN DER LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT WASSER (LAWA) FÜR DIE QUALITÄTSSICHERUNG BEI WASSER-, ABWASSER- UND SCHLAMMUNTERSUCHUNGEN, MAI 1998</p>
<p>[LAWA, 2005] LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT WASSER (LAWA) MINISTERIUM FÜR UMWELT UND NATURSCHUTZ, LANDWIRTSCHAFT UND VERBRAUCHERSCHUTZ DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN (HRSG.); SICKERWASSER, RICHTLINIEN FÜR BEOBACHTUNG UND AUSWERTUNG, STAND DEZ. 2003, DÜSSELDORF 2005</p>
<p>[LfU BW, 1998] LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ BADEN WÜRTTEMBERG; LITERATURSTUDIE „STAND DES WISSENS BEZÜGLICH BEPROBUNG VON GRUNDWASSER BEI ALTLASTEN“, TEILNEHMERUNTERLAGEN FÜR LEHRGANG III FÜR PROBENEHMER (GRUNDWASSERPROBENAHME BEI ALTLASTEN, VEGAS, STUTTGART, 1998</p>
<p>[LfU VERFO, 2002] BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT: VERFAHRENSORDNUNG ZUR ÜBERPRÜFUNG UND BEKANNTGABE VON SACHVERSTÄNDIGEN UND UNTERSUCHUNGSSTELLEN NACH § 18 BBodSchV VOM 12.06.2002 (ZULETZT GEÄNDERT AM 02.06.2008)</p>

<p>[LFW BY, 2007] BAYER. LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT, "VERZEICHNIS ZUR VERSCHLÜSSELUNG VON CHEMISCHEN UND PHYSIKALISCHEN BESCHAFFENHEITSDATEN BEI DER WASSER-, ABWASSER- UND SCHLAMMUNTERSUCHUNG", 1996/AKTUALISIERT 2007</p>
<p>[LFW-MERKBLATT NR. 1.5/1, 2003] BAYER. LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT: UMFANG EINER „CHEMISCH-TECHNISCHEN WASSERANALYSE“ FÜR DIE BEARBEITUNG GRUND- UND TRINKWASSERCHEMISCHER BELANGE", SLG LFW, NR. 1.5/1, MÜNCHEN, 2003</p>
<p>[LFW-MERKBLATT NR. 1.5/2, 2003] BAYER. LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT: HINWEISE ZUR ENTNAHME VON WASSERPROBEN BEI PUMPVERSUCHEN FÜR ORIENTIERENDE ANALYSEN UND ZUM „CHEMISCHEN PUMPVERSUCH", SLG LFW, NR. 1.5/2, MÜNCHEN, 2003</p>
<p>[LFW-MERKBLATT NR. 2.1/7, 2003] BAYER. LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT: BAU VON GRUNDWASSERMESSTELLEN, SLG LFW, NR. 2.1/7, MÜNCHEN, 2003</p>
<p>[LFW-MERKBLATT NR. 3.8/1, 2001] BAYER. LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT: UNTERSUCHUNG UND BEWERTUNG VON ALTLASTEN, SCHÄDLICHEN BODENVERÄNDERUNGEN UND GEWÄSSERVERUNREINIGUNGEN – WIRKUNGSPFAD BODENGEWÄSSER-, SLG LFW NR. 3.8/1, MÜNCHEN, 2001</p>
<p>[LFU-MERKBLATT NR. 3.8/2, 2009] BAYER. LANDESAMT FÜR UMWELT (LFU): HINWEISE ZUR AUSSCHREIBUNG UND VERGABE VON LEISTUNGEN IM RAHMEN DER AMTSERMITTLUNG (MERKBLATT 3.8/2), HOF, 2009</p>
<p>[LFU-MERKBLATT NR. 3.8/4, 2010] BAYER. LANDESAMT FÜR UMWELT: PROBENAHME VON BODEN UND BODENLUFT BEI ALTLASTEN UND SCHÄDLICHEN BODENVERÄNDERUNGEN FÜR DIE WIRKUNGSPFADE BODEN-MENSCH UND BODENGEWÄSSER, SLG LFW NR. 3.8/6, HOF, 2010</p>
<p>[LFW-MERKBLATT NR. 3.8/5, 2002] BAYER. LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT: GEMEINSAMES LFU-LFW-MERKBLATT, AUFBEREITUNG UND UNTERSUCHUNG VON BODENPROBEN UND ELUATEN BEI SCHÄDLICHEN BODENVERÄNDERUNGEN UND ALTLASTEN FÜR DIE WIRKUNGSPFADE BODEN-MENSCH UND BODENGEWÄSSER, SLG LFW NR. 3.8/5, MÜNCHEN, 2002</p>
<p>[LFW-SCHREIBEN NR. 2.1/5, 1995] BAYER. LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT: MESSSTELLENUNTERSUCHUNG MIT UNTERWASSERKAMERAS, LFW-SCHREIBEN NR. 114-4425.1 VOM 13.11.1995, SLG LFW NR. 2.1/5, MÜNCHEN, 1995</p>
<p>[LUBW, 2008] LANDESANSTALT FÜR UMWELT, MESSUNGEN UND NATURSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG: UNTERSUCHUNGSSTRATEGIE GRUNDWASSER – LEITFADEN ZUR UNTERSUCHUNG BEI BELASTETEN STANDORTEN, KARLSRUHE, 2008</p>
<p>[NS, AK, 2001] NIEDERSÄCHSISCHER ARBEITSKREIS SICKERWASSERPROGNOSE: DIE SICKERWASSERPROGNOSE IN DER PRAXIS – ERGEBNISBERICHT UND ANWENDUNGSEMPFEHLUNGEN EINER INTERDISZIPLINÄREN NIEDERSÄCHSISCHEN ARBEITSGRUPPE, ENTWURF 2001</p>
<p>[VSU, 2001] VERORDNUNG ÜBER SACHVERSTÄNDIGE UND UNTERSUCHUNGSSTELLEN FÜR DEN BODENSCHUTZ UND DIE ALTLASTEN IN BAYERN (VSU BODEN UND ALTLASTEN) VOM 03.12.2001, GVBL 2001, S. 938; ZULETZT GEÄNDERT AM 15.11.2006, GVBL 2006, S. 923</p>

<p>[STADT STUTTGART, 2008] LANDESHAUPTSTADT STUTTGART, AMT FÜR UMWELTSCHUTZ, INTEGRALE GRUNDWASSERUNTERSUCHUNG, STRATEGIE UND TECHNIK - HANDBUCH MIT HINWEISEN ZUR PLANUNG, DURCHFÜHRUNG UND AUSWERTUNG VON IMMISSIONSPUMPVERSUCHEN, ENTWURF STAND: 30.06.2008</p>
<p>[TEUTSCH ET AL. 1997] TEUTSCH, G.; GRATHWOHL, P.; SCHIEDEK, T. ,1997, LITERATURSTUDIE ZUM NATÜRLICHEN RÜCKHALT/ABBAU VON SCHADSTOFFEN IM GRUNDWASSER. – TEXTE UND BERICHTEN ZUR ALTLASTENBEARBEITUNG, BAND 35/97, NOVEMBER 1997, LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG, 51</p>
<p>[BÖRKE ET AL., 2008] BÖRKE, P., HÜSERS, N., WERNER, P. (EDS.): LEITFADEN KORA-THEMENVERBUND 2: NATÜRLICHE SCHADSTOFFMINDERUNG BEI TEERÖLALTLASTEN. TU DRESDEN: 40-59, 2008</p>
<p>[DIETRICH ET AL., 2005] DIETRICH, P., LEVEN, C.: DIRECT PUSH TECHNOLOGIES. IN: KIRSCH (ED.) GROUNDWATER GEOPHYSICS, SPRINGER VERLAG, 321-340, 2005</p>
<p>[BLUM, 2006] BLUM, P.: SCHADSTOFFQUELLENERKUNDUNG MIT DEM DIRECT PUSH VERFAHREN, ALTLASTENFORUM BADEN-WÜRTTEMBERG E. V., INFO 1, 47-49, 2006</p>
<p>[DIN 4094, 1990] DIN 4094: ERKUNDUNGEN DURCH SONDIERUNGEN MIT BEIBLATT 1, ANWENDUNGSHILFEN, ERKLÄRUNGEN.- NORMENAUSSCHUSS BAUWESEN (NABAU) IM DIN DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORM E.V., 1990</p>
<p>[GERSTNER ET AL., 2006] GERSTNER, D., SCHEYTT, T. & FÄLKER, CH.: UNTERSUCHUNGEN VON ALTLASTEN – EINSATZMÖGLICHKEITEN UND GRENZEN VON DIRECT-PUSH TECHNOLOGIEN BEI DER ALTLASTENBEARBEITUNG; ALTLASTEN SPEKTRUM 6, 2006.</p>
<p>[GRANDEL ET AL., 2008] GRANDEL, S., DAHMKE, A. (EDS.): LEITFADEN KORA-THEMENVERBUND 3: NATÜRLICHE SCHADSTOFFMINDERUNG BEI LCKW-KONTAMINIERTEN SCHADSTOFFEN, UNIVERSITÄT KIEL, 78-97, 2008</p>
<p>[LUA, 2004] LUA-LANDESUMWELTAMT BRANDENBURG: FACHINFORMATIONEN DES LANDESUMWELTAMTES NR. 4: PRAXISERPROBTE UND INNOVATIVE DIREKT/IN-SITU-PROBENAHMEVERFAHREN FÜR GRUND-, SICKERWASSER UND BODENLUFT IM RAHMEN DER ALTLASTENBEARBEITUNG, 2004 (NUR INTERNETVERSION: HTTP://WWW.MLUV.BRANDENBURG.DE/CMS/MEDIA.PHP/2334/LABO_NR4.PDF)</p>
<p>[TEUTSCH, 2008] TEUTSCH, G., WABELS, D. (EDS.): LEITFADEN KORA-THEMENVERBUND 1: NATÜRLICHE SCHADSTOFFMINDERUNGSPROZESSE BEI MINERALÖLKONTAMINIERTEN STANDORTEN, UNIVERSITÄT TÜBINGEN, ZAG: 60-104, 2008</p>
<p>[WEIß ET AL., 2006] WEIß, H.; PTAK, T.; BATEREAU, K.; BUSCH, K. J.; FLACHOWSKY, J. (HRSG.): INNOVATIVE MESS- UND ÜBERWACHUNGSMETHODEN (GRUNDWASSERMONITORING), ALTLASTENFORUM BADEN-WÜRTTEMBERG E. V., SCHRIFTENREIHE, HEFT 11, 2006</p>

Impressum:

Herausgeber:
Bayerisches Landesamt für Umwelt
Bürgermeister-Ulrich-Straße 160
86179 Augsburg

Postanschrift:
Bayerisches Landesamt für Umwelt
86177 Augsburg

Telefon: (08 21) 90 71-0
Telefax: (08 21) 90 71-55 56
E-Mail: poststelle@lfu.bayern.de
Internet: <http://www.lfu.bayern.de>

Bearbeitung:
Ref. 95 und 92
Stand:
Februar 2010

ANHANG 1: Abkürzungsverzeichnis

1. Maßeinheiten:

°C	Grad Celsius
kg	Kilogramm = 10^{+3} g (g = Gramm)
mg	Milligramm = 10^{-3} g
µg	Mikrogramm = 10^{-6} g
m	Meter
cm	Zentimeter = 10^{-2} m
mm	Millimeter = 10^{-3} m
µm	Mikrometer = 10^{-6} m
nm	Nanometer = 10^{-9} m
"	Zoll = 2,54 cm
l	Liter = 10^{-3} m ³
ml	Milliliter = 10^{-3} l
µS	MikroSiemens
mV	MilliVolt = 10^{-3} V
mmol	Millimol = 10^{-3} mol (1 mol = $6,022 \times 10^{23}$ elementare Einheiten)
DN	Nennweite in mm
NN	Normal Null (bezogen auf eine definierte Meereshöhe)
m ü. NN	Meter über Normal Null

2. Verwendete Abkürzungen für Summenparameter:

AOX	Adsorbierbare organisch gebundene Halogene (X= Fluor, Chlor, Brom, Iod)
BSB ₅	Biologischer Sauerstoffbedarf in fünf Tagen
BTEX	Leichtflüchtige aromatische Kohlenwasserstoffe (von: <u>B</u> enzol, <u>T</u> oluol, Ethylbenzol, <u>X</u> ylol); (genaue Definition siehe [LFW-Merkblatt Nr. 3.8/1])
CSB	Chemischer Sauerstoffbedarf
DOC	Gelöster organischer Kohlenstoff
EOX	Extrahierbare organische Halogenverbindungen (X= Fluor, Chlor, Brom, Iod)
LHKW	Leichtflüchtige Halogenkohlenwasserstoffe (Definition siehe [LFW-Merkblatt Nr. 3.8/1])
MKW	Mineralölkohlenwasserstoffe (Definition siehe [LFW-Merkblatt Nr. 3.8/1])
PAK	Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (Definition siehe [LFW-Merkblatt Nr. 3.8/1])

PCB	Polychlorierte Biphenyle (Definition siehe [LfW-Merkblatt Nr. 3.8/1])
PCDD/F	Polychlorierte Dibenzodioxine und Dibenzofurane
SHKW	Schwerflüchtige Halogenkohlenwasserstoffe
TOC	Gesamter organischer Kohlenwasserstoff

3. Abkürzungen für Säuren, Laugen und sonstige Chemikalien:

CaCO ₃	Calciumcarbonat
CdSO ₄	Cadmiumsulfat
CuSO ₄	Kupfersulfat
Fe(OH) ₃	Eisenhydroxid
HCl	Salzsäure
HNO ₃	Salpetersäure
H ₃ PO ₄	Orthophosphorsäure
H ₂ SO ₄	Schwefelsäure
K ₂ CO ₃	Kaliumcarbonat
K ₂ Cr ₂ O ₇	Kaliumdichromat
Na ₂ CO ₃	Natriumcarbonat
NaOH	Natronlauge
Na ₂ SO ₃	Natriumsulfit
ZnCl ₂	Zinkchlorid
ZnSO ₄	Zinksulfat

4. Gerätespezifische Abkürzungen:

AAS	Atomabsorptionsspektrometrie
CFA	Kontinuierliche Fließanalyse
DAD	Dioden-Array-Detektor
ECD	Elektronen-Einfang-Detektor
FIA	Fließ-Injektionsanalyse
FID	Flammen-Ionisations-Detektor
FLD	Fluoreszenzdetektor

GC	Gaschromatografie
HPLC	Hochleistungsflüssigkeitschromatografie
HPTLC	Hochleistungs-Dünnschichtchromatografie
ICP/OES	Optische Emissionsspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma
IR	Infrarot-Detektor
MS	Massenspektrometrie
NPD	Stickstoff- und Phosphor-spezifischer Detektor
UV	Ultraviolett-Detektor

Sonstige Abkürzungen:

BBodSchG	Bundes-Bodenschutzgesetz
BBodSchV	Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung
DNAPL	Flüssigkeiten, die nicht mit Wasser mischbar sind und deren Dichte größer ist als die von Wasser (<u>d</u> ense <u>n</u> on <u>a</u> queous <u>p</u> hase <u>l</u> iquids)
LF	Leitfähigkeit
LfW	ehem. Landesamt für Wasserwirtschaft
LfU	Landesamt für Umwelt
PEHD	Hochdruck-Polyethylen
PVC	Polyvinylchlorid
PTFE	Polytetrafluorethylen (Teflon)

ANHANG 2: Normenverzeichnis zur Wasseranalytik

Die im Text und in den Tabellen aufgelisteten Normen, Richtlinien usw. gelten jeweils in der aktuellen Fassung. Die DIN-, EN- und ISO-Normen und Normentwürfe sind vom Beuth-Verlag GmbH, Berlin zu beziehen.

DEV B1/2; 6. Lieferung, 1971
Deutsche Einheitsverfahren –
Prüfung auf **Geruch** und **Geschmack**

DEV J10 (alt), 1.–5. Lieferung, 1968
Deutsche Einheitsverfahren – Bestimmung der **Kieselsäure**

DIN 38402
Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung; Allgemeine Angaben (Gruppe A)

- Teil 11**; Ausgabe 02/2009: **Probenahme** von Abwasser
- Teil 12**; Ausgabe 6/1985: **Probenahme** aus stehenden Gewässern
- Teil 13**; Ausgabe 12/1985: **Probenahme** aus Grundwasserleitern
- Teil 14**; Ausgabe 3/1986: **Probenahme** von Roh- und Trinkwasser
- Teil 15**; Ausgabe 7/1986: **Probenahme** aus Fließgewässern; Entwurf 06/2008

DIN 38404
Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung – Physikalische und physikalisch-chemische Kenngrößen (Gruppe C)

- Teil 3**; Ausgabe 07/2005: Bestimmung der **Absorption** im Bereich der UV-Strahlung
- Teil 4**; Ausgabe 12/1976: Bestimmung der **Temperatur**
- Teil 5**; Ausgabe 07/2009: Bestimmung des **pH-Wertes**
- Teil 6**; Ausgabe 5/1984: Bestimmung der **Redox-Spannung**

DIN 38405
Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung – Anionen (Gruppe D)

- Teil 1**; Ausgabe 12/1985:
Bestimmung der **Chlorid-Ionen**
- Teil 4**; Ausgabe 07/1985:
Bestimmung von **Fluorid**
- Teil 5**; Ausgabe 1/1985:
Bestimmung der **Sulfat-Ionen**
- Teil 9**; Ausgabe 5/1979:
Bestimmung des **Nitrat-Ions**
- Teil 13**; Ausgabe 2/1981:
Bestimmung von **Cyaniden**
- Teil 14**; Ausgabe 12/1988:
Bestimmung von **Cyaniden** in Trinkwasser, gering belasteten Grund- und Oberflächenwasser
- Teil 17**; Ausgabe 3/1981:
Bestimmung von **Borat-Ionen**
- Teil 21**; Ausgabe 10/1990:
Photometrische Bestimmung von **gelöster Kieselsäure**
- Teil 23**; Ausgabe 10/1994:
Bestimmung von **Selen** mittels Atomabsorptionsspektrometrie (AAS)

Teil 24; Ausgabe 5/1987:

Photometrische Bestimmung von **Chrom(VI)** mittels 1,5-Diphenylcarbазид

Teil 26; Ausgabe 4/1989:

Photometrische Bestimmung des **gelösten Sulfids**

Teil 27; Ausgabe 7/1992:

Photometrische Bestimmung von **leicht freisetzbarem Sulfid**

Teil 32; Ausgabe 5/2000:

Bestimmung von **Antimon** mittels Atomabsorptionsspektrometrie

DIN 38406

Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung – Kationen (Gruppe E);

Teil 5; Ausgabe 10/1983:

Bestimmung des **Ammonium-Stickstoffs**

Teil 6; Ausgabe 7/1998:

Bestimmung von **Blei** mittels Atomabsorptionsspektrometrie (AAS)

Teil 7; Ausgabe 9/1991:

Bestimmung von **Kupfer** mittels Atomabsorptionsspektrometrie (AAS)

Teil 8; Ausgabe 10/2004:

Bestimmung von **Zink** mittels Atomabsorptionsspektrometrie (AAS) in der Luft-Ethin-Flamme

Teil 11; Ausgabe 9/1991:

Bestimmung von **Nickel** mittels Atomabsorptionsspektrometrie (AAS)

Teil 13; Ausgabe 7/1992:

Bestimmung von **Kalium** mittels Atomabsorptionsspektrometrie (AAS) in der Luft- Acetylen-Flamme

Teil 14; Ausgabe 7/1992:

Bestimmung von **Natrium** mittels Atomabsorptionsspektrometrie (AAS) in der Luft-Acetylen-Flamme

Teil 24; Ausgabe 3/1993:

Bestimmung von **Cobalt** mittels Atomabsorptionsspektrometrie (AAS)

Teil 26; Ausgabe 7/1997:

Bestimmung von **Thallium** mittels Atomabsorptionsspektrometrie (AAS) im Grafitrohrföfen

Teil 32; Ausgabe 5/2000:

Bestimmung von **Eisen** mittels Atomabsorptionsspektrometrie

Teil 33; Ausgabe 6/2000:

Bestimmung von **Mangan** mittels Atomabsorptionsspektrometrie

DIN 38407 Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung – Gemeinsam erfassbare Stoffgruppen (Gruppe F);

Teil 2; Ausgabe 2/1993:

Gaschromatografische Bestimmung von **schwerflüchtigen Halogenwasserstoffen**

Teil 3; Ausgabe 7/1998:

Gaschromatographische Bestimmung von **polychlorierten Biphenylen**

Teil 4; Ausgabe 4/1997:

Bestimmung von **leichtflüchtigen Halogenkohlenwasserstoffen (LHKW)** durch gaschromatographische Verfahren

Teil 7; Ausgabe 9/2000:

Bestimmung von **6 polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK)** in Trink- und Mineralwasser mittels Hochleistungs-Dünnschicht-Chromatographie (HPTLC)

Teil 9; Ausgabe 5/1991:

Bestimmung von **Benzol und einigen Derivaten** mittels Gaschromatographie

Teil 11 (Vornorm); Ausgabe 1/1995: Bestimmung ausgewählter **organischer Pflanzenbehandlungsmittel** mittels Automated-Multiple-Development (AMD)-Technik

Teil 14; Ausgabe 10/1994:

Bestimmung von **Phenoxyalkancarbonsäuren** mittels Gaschromatographie und massenspektrometrischer Detektion nach Fest-Flüssig-Extraktion und Derivatisierung

DIN 38407, Teil 17; Ausgabe 2/1999:

Bestimmung ausgewählter nitroaromatischer Verbindungen mittels Gaschromatographie

DIN 38407, Teil 39 (Entwurf); Ausgabe 08/2008:

Bestimmung ausgewählter polycyclischer aromatischer Kohlenwasserstoffe (PAK) – Verfahren mittels Gaschromatographie und massenspektrometrischer Detektion (GC-MS)

DIN 38409

Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung - Summarische Wirkungs- und Stoffkenngrößen (Gruppe H);

Teil 1; Ausgabe 1/1987:

Bestimmung des **Gesamt-trockenrückstandes, des Filtrat-trockenrückstandes und des Glührückstandes**

Teil 2; Ausgabe 3/1987:

Bestimmung der **abfiltrierbaren Stoffe und des Glührückstandes**

Teil 7; Ausgabe 12/2005:

Bestimmung der **Säure- und Basekapazität**

Teil 8; Ausgabe 9/1984:

Bestimmung der **extrahierbaren organisch gebundenen Halogene (EOX)**

Teil 16; Ausgabe 6/1984:

Photometrische Bestimmung des **Phenolindex**

Teil 20; Ausgabe 7/1989:

Bestimmung der **disulfinblauaktiven Substanzen**

Teil 23; Ausgabe 5/1980: Entwurf 06/2008

Bestimmung der **methylenblauaktiven und der bismutaktiven Substanzen**

Teil 26; Ausgabe 5/1989:

Bestimmung des **Bismut-Komplexierungsindex I_{BIK}**

Teil 41; Ausgabe 12/1980:

Bestimmung des **Chemischen Sauerstoffbedarfs (CSB)** im Bereich über 15 mg/l

Teil 44; Ausgabe 5/1992:

Bestimmung des **Chemischen Sauerstoffbedarfs (CSB)** im Bereich 5–50 mg/l

DIN 38412

Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung – Testverfahren mit Wasserorganismen (Gruppe L)

Teil 30; Ausgabe 3/1989:

Bestimmung der nicht akut **giftigen Wirkung** von Abwasser gegenüber **Daphnien** über Verdünnungsstufen

Teil 33; Ausgabe 3/1991:

Bestimmung der nicht **giftigen Wirkung** von Abwasser gegenüber **Grünalgen** (Scenedesmus-Chlorophyll-Floureszenztest) über Verdünnungsstufen

DIN 38413

Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung – Einzelkomponenten (Gruppe P);

Teil 2; Ausgabe 5/1988:

Bestimmung von **Vinylchlorid (Chlorethen)** mittels gaschromatographischer Dampfdruckanalyse

Teil 3; Ausgabe 7/2000:

Bestimmung von **Nitrilotriessigsäure (NTA) und Ethylendinitrilotetraessigsäure (EDTA)** mittels Gaschromatographie

Teil 5; Ausgabe 10/1990:

Bestimmung von **Ethylendinitrilotetraessigsäure (EDTA) und Nitrilotriessigsäure (NTA)** mittels Polarographie

DIN EN 872; Ausgabe 4/2005:

Wasserbeschaffenheit – Bestimmung **suspendierter Feststoffe** – Verfahren durch Abtrennung mittels Glasfaserfilter

DIN EN 903; Ausgabe 1/1994:

Wasserbeschaffenheit – Bestimmung von **anionischen oberflächenaktiven Stoffen** durch Messung des Methylenblau-Index MBAS

DIN EN 1233; Ausgabe 08/1996: Wasserbeschaffenheit – **Bestimmung von Chrom** – Verfahren mittels Atomabsorptionsspektrometrie

DIN EN 1483; Ausgabe 7/2007:

Wasserbeschaffenheit – **Bestimmung von Quecksilber**

DIN EN 1484; Ausgabe 8/1997:

Wasserbeschaffenheit – Anleitung zur Bestimmung des **gesamten organischen Kohlenstoffs (TOC)** und des **gelösten organischen Kohlenstoffs (DOC)**

DIN EN ISO 9562; Ausgabe 2/2005:

Wasserbeschaffenheit – Bestimmung **adsorbierbarer organisch gebundener Halogenen (AOX)**

DIN EN 1899; Ausgabe 5/1998:

Wasserbeschaffenheit – Bestimmung des **Biochemischen Sauerstoffbedarfs** nach n Tagen (BSB_n)

Teil 1: Verdünnungs- und Impfverfahren mit Zugabe von Allylthioharnstoff

Teil 2: Verfahren für unverdünnte Proben

DIN EN 12338; Ausgabe 10/1998:

Wasserbeschaffenheit – Bestimmung von **Quecksilber** – Verfahren nach Anreicherung durch Amalgamierung

DIN EN 12673; Ausgabe 5/1999:

Wasserbeschaffenheit – Gaschromatographische Bestimmung einiger **ausgewählter Chlorphenole** in Wasser

DIN EN 25667-2; Ausgabe 07/93:

Wasserbeschaffenheit – Probenahme –

Teil 2: Anleitung zur **Probenahmetechnik**

DIN EN 25813; Ausgabe 1/1993:

Wasserbeschaffenheit – Bestimmung des **gelösten Sauerstoffs**; Iodometrisches Verfahren

DIN EN 25814; Ausgabe 11/1992:

Wasserbeschaffenheit – Bestimmung des **gelösten Sauerstoffs**; Elektrochemisches Verfahren

DIN EN 26777; Ausgabe 4/1993:

Wasserbeschaffenheit – Bestimmung von **Nitrit** – Spektrometrisches Verfahren

DIN EN 27888; Ausgabe 11/1993:

Bestimmung der **elektrischen Leitfähigkeit**

DIN EN ISO 5961, 05/1995:

Wasserbeschaffenheit – Bestimmung von **Cadmium** durch Atomabsorptionsspektrometrie

DIN EN ISO 6468; Ausgabe 2/1997:

Wasserbeschaffenheit – Bestimmung **ausgewählter Organoinsektizide, Polychlorbiphenyle und Chlorbenzole**; Gaschromatographisches Verfahren nach Flüssig-Flüssig-Extraktion

DIN EN ISO 6878, 09/2004:

Wasserbeschaffenheit – Bestimmung von Phosphor - Photometrisches Verfahren mittels Ammoniummolybdat

DIN EN ISO 7027; Ausgabe 4/2002:

Bestimmung der **Trübung**

DIN EN ISO 7887; Ausgabe 12/1994, Entwurf 04/2009:

Untersuchung und Bestimmung der **Färbung**

DIN EN ISO 7980; Ausgabe 7/2000:

Wasserbeschaffenheit – Bestimmung von **Calcium und Magnesium** – Verfahren mittels Atomabsorptionsspektrometrie

DIN EN ISO 8467; Ausgabe 5/1995:

Wasserbeschaffenheit – Bestimmung des **Permanganat-Index**

DIN EN ISO 9377

Wasserbeschaffenheit – Bestimmung des **Kohlenwasserstoff-Index**

Teil 1 (Entwurf); Ausgabe 5/2000: Verfahren nach Lösemittlextraktion und Gravimetrie

Teil 2 Ausgabe 7/2001: Verfahren nach Lösemittlextraktion und Gaschromatographie

DIN EN ISO 10301; Ausgabe 8/1997:

Wasserbeschaffenheit – Bestimmung **leichtflüchtiger halogener Kohlenwasserstoffe** – Gaschromatographische Verfahren

DIN EN ISO 10304:

Wasserbeschaffenheit – Bestimmung von **gelösten Anionen** mittels Ionenchromatographie

Teil 1; Ausgabe 07/2009:

Bestimmung von **Fluorid, Chlorid, Nitrit, Orthophosphat, Bromid, Nitrat und Sulfat** mittels Ionenchromatographie – Verfahren für gering belastetes Wasser

Teil 2; Ausgabe 11/1996:

Bestimmung von **Bromid, Chlorid, Nitrat, Nitrit, Orthophosphat und Sulfat** in Abwasser

Teil 3; Ausgabe 11/1997:

Bestimmung von **Chromat, Iodid, Sulfit, Thiocyanat und Thiosulfat**

DIN EN ISO 10695; Ausgabe 11/2000:

Wasserbeschaffenheit – Bestimmung ausgewählter **organischer Stickstoff- und Phosphorverbindungen** – Gaschromatographische Verfahren

DIN EN ISO 11369; Ausgabe 11/1997:

Wasserbeschaffenheit – Bestimmung ausgewählter **Pflanzenbehandlungsmittel** – Verfahren mit der Hochauflösungs-Flüssigchromatographie mit UV-Detektion und Fest-Flüssig-Extraktion

DIN EN ISO 11732; Ausgabe 5/2005:

Wasserbeschaffenheit – Bestimmung von **Ammoniumstickstoff** mit der Fließanalytik (CFA und FIA) und spektrometrischer Detektion

DIN EN ISO 11885; Ausgabe 09/2009:

Wasserbeschaffenheit – Bestimmung von **ausgewählten Elementen** durch induktiv gekoppelte Plasma-Atom-Emissionsspektrometrie

DIN EN ISO 11969; Ausgabe 11/1996:

Wasserbeschaffenheit – Bestimmung von **Arsen** - Atomabsorptionsspektrometrie (Hydridverfahren)

DIN EN ISO 12020; Ausgabe 5/2000:

Wasserbeschaffenheit – Bestimmung von **Aluminium** – Verfahren mittels Atomabsorptionsspektrometrie

DIN EN ISO 13395; Ausgabe 12/1996:

Wasserbeschaffenheit – Bestimmung von **Nitritstickstoff, Nitratstickstoff** und der Summe von beiden mit der Fließanalytik (CFA und FIA) und spektrometrische Detektion

DIN EN ISO 14402; Ausgabe 12/1999:

Wasserbeschaffenheit – Bestimmung des **Phenolindex** mit der Fließanalytik (FIA und CFA)

DIN EN ISO 14403; Ausgabe 11/2009:

Wasserbeschaffenheit – Bestimmung des gesamten Cyanids und des freien Cyanids mit der kontinuierlichen Fließanalytik

DIN EN ISO 15680; Ausgabe 4/2004:

Wasserbeschaffenheit – Gaschromatographische Bestimmung einer Anzahl von **monocyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen; Naphthalin und einiger chlorierter Bestandteile** mittels Purge und Trap und thermischer Desorption

DIN EN ISO/IEC 17025; Ausgabe 08/2005 (Ber. 05/2007):

Allgemeine Anforderungen an die **Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien**

DIN EN ISO 11348 1-3; Ausgabe 05/2009:

Wasserbeschaffenheit – Bestimmung der **Hemmwirkung von Wasserproben** auf die Lichtemission von *Vibrio fischeri* (**Leuchtbakterientest**) –

Teil 3: Verfahren mit gefriergetrockneten Bakterien

DIN ISO 9964-3; Ausgabe 8/1996:

Wasserbeschaffenheit – Bestimmung von **Natrium und Kalium** –

Teil 3: Bestimmung von Natrium und Kalium mittels Flammenphotometrie

ISO 11423-1;

Wasserbeschaffenheit – Bestimmung von **Benzol und einigen Derivaten** –

Teil 1; Ausgabe 06/1997: Gaschromatographisches Verfahren nach Dampfdruckanalyse

Teil 2; Ausgabe 06/1997: Verfahren mit Extraktion und Gaschromatographie

DIN EN ISO 10695; Ausgabe 11/2000:

Bestimmung ausgewählter **organischer Stickstoff- und Phosphorverbindungen** -
Gaschromatographisches Verfahren

DIN EN ISO 13395; Ausgabe 12/1996:

Wasserbeschaffenheit – Bestimmung von Nitritstickstoff, Nitratstickstoff und der Summe von beiden
mit der Fließanalytik (CFA und FIA) und spektrometrischer Detektion

DIN EN ISO 15681; Ausgabe 05/2005:

Wasserbeschaffenheit – Bestimmung von Orthophosphat und Gesamtphosphor mittels Fließanalytik
(FIA und CFA) – Teil 2: Verfahren mittels kontinuierlicher Durchflussanalyse (CFA)

DIN EN ISO 16264; Ausgabe 05/2004:

Wasserbeschaffenheit – Bestimmung löslicher Silicate mittels Fließanalytik (FIA und CFA) und pho-
tometrischer Detektion

DIN EN ISO 17294-2; Ausgabe 2/2005:

Bestimmung von **62 Elementen** durch Massenspektrometrie mit induktiv gekoppeltem
Plasma

DIN EN ISO 17993; Ausgabe 3/2004:

Wasserbeschaffenheit – Bestimmung von 15 polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen
(PAK) in Wasser durch HPLC mit Fluoreszenzdetektion nach Flüssig-Flüssig-Extraktion

DIN EN ISO 22478; Ausgabe 7/2006:

Bestimmung ausgewählter Explosivstoffe und verwandter Verbindungen – Verfahren mittels Hoch-
leistungs-Flüssigkeitschromatographie (HPLC) mit UV-Detektion

ANHANG 3: Checkliste zur Qualitätssicherung (Wasserprobenahme)

Checkliste zur Überprüfung der Einhaltung der Anforderungen bei der Wasserprobenahme:

	ja	nein	Bemerkungen
1. Allgemeines			
• Liegt eine schriftliche und vollständige Probenahmeplanung vor	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
• Sind sowohl Auftragnehmer als auch etwaige Subunternehmer nach VSU zugelassen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2. Sind folgende Punkte dokumentiert:			
• Witterung am Tag der Probenahme und an den Vortagen, insb. Niederschlagsereignisse	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
• Angaben zum GW-Messstellenausbau, z. B. vollständig/partiell verfiltert; Material; Höhe des Beginns der Filterstrecken; Bezeichnung des Messpunktes an der jeweiligen Messstelle; Lage des verwendeten, amtlichen Bezugshöhenfestpunktes	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
• Eingesetzte Geräte und Materialien zur Probenahme, z. B. Tauchmotorpumpe mit Frequenzumwandler, Steigrohre	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
• Prüfung auf aufschwimmende Phase	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
• Prüfung der möglichen Beeinflussung der Grundwassersituation durch Umgebungseinflüsse, wie z. B. Bautätigkeiten, Wasserhaltungen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
• Einhängetiefe der Pumpe, Pumprate, Pumpdauer	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
• Art der Beprobung: integrierend, tiefenorientiert	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
• Bezug zu den im Rahmen der Erstbeprobung optimierten Probenahmeparametern, z. B. aus entsprechendem Messstellenpass	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
• Grundwasserstand vor, während und nach der Probenahme	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
• Angaben zur Ermittlung der Grundwasserfließrichtung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

<ul style="list-style-type: none"> • Vor-Ort-Parameter bis zum Zeitpunkt der Probenahme und Angabe der Anzahl des ausgetauschten Messstellenvolumens; Angabe der Bezugstemperatur bei der elektr. Leitfähigkeit 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
<ul style="list-style-type: none"> • Parameterspezifische Angabe der Art der Probengefäße einschließlich Verschlüsse und Dichtungen 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
<ul style="list-style-type: none"> • Konservierungsmaßnahmen 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
<ul style="list-style-type: none"> • Angabe, ob und wie Proben filtriert wurden 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
<ul style="list-style-type: none"> • Transport- und Lagerzeiten, Bedingungen; Übergabeprotokoll (vorab Absprache mit Labor notwendig) 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
<ul style="list-style-type: none"> • Ergebnisse von Blindprobenuntersuchungen nach Reinigung der Probenahmegerätschaften 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
<ul style="list-style-type: none"> • Fotodokumentation bei Beprobung von Quellwasser 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
<ul style="list-style-type: none"> • Reihenfolge der Messstellenbeprobung (Hinweis auf verschleppungsbedingte Verunreinigungen) 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

ANHANG 4: Muster-Messstellenpass für Grundwassermessstellen

Bearbeitet von (Name, Organisation ...; Datum)			
Messstellenkennung			
Art der Messstelle (z. B. Grundwassermessstelle, Brunnen, Quelle)		Bezeichnung der Messstelle:	
InfoWas Objektkennzahl:			
Topogr. Karte 1:25.000, Nr.:			
Gauß-Krüger-/UTM-Koordinaten	R:	H:	
Lagebeschreibung/Eigentümer/Betreiber			
Gemeinde:		Gemeinde-/Ortsteil:	
Gemarkung:		Landkreis:	
Flurnummer:			
Evtl. Grundstückseigentümer (Name/Anschrift):			
Betreiber der Messstelle (Name/Anschrift/Tel.-Nr.):			
Messpunkt und technischer Ausbau			
Messpunkt ¹⁾ : (in der Regel Rohroberkante bei geöffneter Sebakappe; Überflur- o. Unterflurmessstelle)		¹⁾ Anforderungen siehe Merkblatt, Abbildung 1	
Messpunkthöhe (m über NN) ¹⁾ :	Geländehöhe (GOK über NN) ¹⁾ : [m]	Messstellenausbau (Material):	
Endteufe (m unter GOK):	Sohltiefe (m unter GOK):	Baujahr d. Messstelle:	
Messstellentyp (z. B. voll verfiltert; Messstellengruppe):			
Rohrdurchmesser:	[mm]	Ringraumdurchmesser:	[mm]
Filterrohrbereich(e) in Bezug auf GOK mit Durchlässigkeitsbeiwert(e) (k_f); Angaben evtl. als gesonderte Anlage	von	[m]	bis [m] k_f [m/s]
	von	[m]	bis [m] k_f [m/s]
Kriterien zur Messung und Beprobung (bei Erstbeprobung ermittelte Parameter)			
Ruhewasserspiegel (unter MP):	[m]	Leitfähigkeit [µS/cm]	
Entnahmetiefe (unter MP):	[m]	pH-Wert	Temperatur [°C]
Förderrate bei Entnahme:	[l/s]	Förderdauer (Klarpumpen bis Probenahme): [h]	
Abpumpvolumen bis Entnahme:	[l]	Sauerstoffgehalt: [mg/l]	
Max. Absenkung (unter Ruhewasserspiegel):	[m]	Evtl. Redoxpotential: [mV]	

ANHANG 5: Muster-Probenahmeprotokoll für Grundwasser

Datum der Probenahme:		Uhrzeit:		Probenbezeichnung:					
Anlass der Untersuchung:									
Bezeichnung der Messstelle: (Daten zur Messstelle siehe z. B. aus Messstellenpass)									
Art der Probenahmestelle (a. Grundwassermessstelle b. Quelle c. Brunnen d. Stollen e. andere):									
Probenahme (Ableich mit Daten aus ggf. vorliegendem Messstellenpass vornehmen)									
Art der Probengewinnung: (Pumpprobe, Schöpfprobe)					Probenahmegerät: a. MP1 mit Steigrohr b. andere benennen				
Ruhewasserspiegel (m unter MP):					Förderdauer (Klarpumpen bis Probenahme): [h]				
Förderrate (bei Probenahme): [l/s]					Einhängetiefe der Pumpe (m unter MP):				
Gesamtfördervolumen (bis Probenahme): [m³]					Max. Absenkung (m unter Ruhewasserspiegel): (unter Messpunkt, bei/nach der Probenahme)				
Aufschwimmende Phase (ja/nein):									
Schichtdicke [cm]:									
Vor-Ort-Parameter									
Lufttemperatur [°C]:					Wassertemperatur (t) [°C]:				
Witterung am Probenahmetag:					Witterung an den letzten 3 Tagen:				
Geruch (ohne – schwach, stark – erdig, modrig, faulig, jauchig, fischig, aromatisch, Chlor, Teer, Mineralöl):									
Färbung (farblos – schwach, stark – weiß, grau, gelb, grün, braun):									
Trübung (keine, schwach, stark):									
Bodensatz (ohne, Spuren, geringfügig, wesentlich):									
Basekapazität bis pH 8,2 (KB _{8,2}) [mmol/l]:									
Verlauf der Vor-Ort-Parameter während des Pumpens bis zur Probenahme:									
Uhrzeit	abgesenkter GW-Stand [m u. MP]	Pumpvolumen	Förderrate [l/s]	Temp. [°C]	Lf [µS/cm] bei __ °C	pH	O ₂ [mg/l] oder [%]	ggf. Redoxpotential [mV]	Bemerkungen (z. B. Beharrung erreicht)

