

Projektbericht

PROBENNAHME AN UNGEFASSTEN QUELLAUSTRITTEN - SCHWEBSTOFFVERHALTEN



Auftraggeber:

**Landesbetrieb für Hochwasserschutz und
Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt (LHW)**

Gewässerkundlicher Landesdienst
Willi-Brundert-Str. 14, 06132 Halle (Saale)

Auftragnehmer:

Göttelmann + Ross
Beratende Geowissenschaftler GbR
Jahnstraße 1, 79206 Breisach
Bearbeitung: Jan-Henning Ross

Breisach, 30. September 2007

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1 Einführung	2
2 Untersuchungsgebiet und Methodik	3
3 Ergebnisse	4
3.1 Vor-Ort-Parameter	4
3.2 Laborparameter	5
4 Diskussion	6
5 Schlussfolgerungen	7
5.1 Parameterspezifische Empfehlungen	7
5.2 Entnahmetechniken	10
5.3 Empfehlungen für die beprobten Quellen	11
6 Literatur	12
Anhang 1: Analysenergebnisse	15
Anhang 2: Photodokumentation der Quellaustritte	17
Anhang 3: Photodokumentation zur Probennahmetechnik	24

1 EINFÜHRUNG

Für das Handbuch „Grundwasserbeobachtung des LfUG Sachsen (2004) wurde das Merkblatt „Grundwasserprobennahme“ erarbeitet, welches die Vorbereitung, Durchführung und Dokumentation der klassischen Probennahme beschreibt. Die Beprobung komplizierter Quellaustritte ist bisher nicht Gegenstand des Handbuches. Auch in Regelwerken und in der Fachliteratur (DVWK, 1992, LAWA 1995, LfU 1999, LfU 2001, DVGW 2001, ATV-DVWK 2002) gibt es aktuell keine gezielten Hinweise auf die Durchführung von repräsentativen Probenahmen an ungefassten Quellen. Eine vom Sächsischen Landesamt für Umwelt und Geologie beauftragte Studie zeigte unter anderem die Wichtigkeit der Lage des Entnahmepunktes und die Problematik potenzieller Aufwirbelungen bei ungefassten Quellaustritten (ROSS 2006). Im Messnetz zur Überwachung der Grundwassergüte von Sachsen-Anhalt sind zahlreiche ungefasste Quellen enthalten. Für diese Quellen besteht der Bedarf, mögliche Einflüsse auf die repräsentative Probennahme praxisnah aufzuzeigen. Als frei ausfließende Grundwasser-austritte bieten sich Quellen als Messstellen zur Grundwasserbeobachtung an (LAWA 1995, ATV-DVWK 2002, ROSS et al. 2006). Eine Quelle kann als repräsentative Grundwasser-messstelle bezeichnet werden, wenn das Quellwasser in seiner chemisch-physikalischen Beschaffenheit und durch die Schüttungsganglinie die hydrogeologischen Verhältnisse in ihrem Einzugsgebiet widerspiegelt (ROSS et al. 2006). Ungefasste Quellen weisen als Messstellen folgende Besonderheiten auf:

- Beeinträchtigungen in Verbindung mit einer Fassungsanlage wie unklare Lage des tatsächlichen Quellaustrittes, Rückstau des Quellwassers, Veränderungen partikulär gebundener Stoffkonzentrationen in der Fassungsanlage oder Wechselwirkungen mit den Baumaterialien können bei ungefassten Quellen nicht auftreten. (ROSS et al. 2006).
- Die fachgerechte Entnahme der Probe unmittelbar am Quellaustritt ist oft schwierig. In manchen Regelwerken werden ungefasste Quellen deshalb als ungeeignet eingestuft (LAWA 1995, DVGW 2001, ATV-DVWK 2002).
- Ungefasste Quellen können als Biotop, Naturdenkmal oder als Geotop ausgewiesen und schutzwürdig sein (NatschG LSA 2004, BfN 2002, Riecken et al. 2006, Lagally et al. 1997 ATV-DVWK 2002). Einige Quellen im Grundwassergütemessnetz von Sachsen-Anhalt sind Naturdenkmäler.
- Häufig ist die Geometrie des Quellaustrittes eine Ursache für Probleme bei der Probenahme bei ungefassten Quellen. Ein freier Überfall fehlt meistens, insbesondere bei flach ausgeprägten Quellaustritten besteht die Gefahr von Aufwirbelungen des Sedimentes (LAWA 1995, ROSS et al. 2006). Aus der Umgebung des Quellaustrittes können Fremdstoffe eingetragen werden, was insbesondere bei geringen Quellschüttungen zu Feststoffansammlungen an der Wasseroberfläche führen kann. Parameter die vom Druck oder von Gasgehalten abhängig sind können bei der Probennahme sehr schnell verändert werden (BUWAL 2003). Das betrifft den Kontakt mit der Atmosphäre im Quellbecken (LfU 2001) und auch Verwirbelungen und Druckänderungen bei der Entnahme (BUWAL 2003, LfU 2001). Der Entnahmepunkt für das Probengut sollte sich deshalb unterhalb der Wasseroberfläche befinden. Die Notwendigkeit der Vermeidung von Artefakten durch aufgewirbelte oder eingetragene Schwebstoffe bei der repräsentativen Grundwasserprobennahme an ungefassten Quellaustritten war ein wesentliches Ergebnis der Untersuchungen zur Probennahme an komplizierten Quellaustritten (ROSS 2006, ROSS et al. 2006).

2 UNTERSUCHUNGSGEBIET UND METHODIK

Aus dem Grundwassergütemessnetz des Landes Sachsen-Anhalt wurden sieben ungefasste Quellen und eingefasste Quellaufstöße als Referenzbeispiele für die Grundwasserprobenahme ausgewählt (Tab 1). Diese Quellen wurden gemeinsam mit dem LHW am 25.07.2007 besichtigt. Hydrogeologische Beschreibungen der Quellen gibt HERING (2001). Vier dieser Quellen wurden am 25.07. und 26.07.2007 mit unterschiedlichen Entnahmetechniken oder an verschiedenen Entnahmepunkten gemeinsam mit dem LHW beprobt. Die Witterung war trocken und relativ warm, es bestanden, der Jahreszeit entsprechend, Niedrigwasserverhältnisse. Zur Probenentnahme wurden folgende Techniken eingesetzt:

- Schöpfprobe (mit Messbechern)
- 12 V Tauchpumpe („Campingpumpe“), teilweise mit Leistungsrosselung durch Spannungsregler und Filtersieb gegen größere Partikel
- 24 V Schlauchpumpe (Thölen)

Die Messungen der Vor-Ort-Parameter Temperatur, elektr. Leitfähigkeit (Referenztemperatur 25 °C), pH-Wert und gelöster Sauerstoff erfolgten jeweils direkt am Quellaustritt mit Handgeräten der Firmen WTW und Meinsberg. Schüttungsmessungen erfolgten durch das LHW mit einem Induktionsmessgerät oder volumetrisch. Die Auswahl der Laborparameter erfolgte unter Berücksichtigung von früheren Untersuchungsergebnissen in Absprache mit dem Labor (vgl. Tab A1). Die Labor-Analytik wurde im Labor des LHW ausgeführt. Proben für gelöste Stoffe wurden vor Ort filtriert (0,45 µm Porenweite). Für Rückschlüsse auf Schwebstoffverhalten wurden die Ergebnisse unfiltrierter und filtrierter Proben verglichen. Schwebstoffmengen selbst konnten im Rahmen des Projektes nicht bestimmt werden.

Tab. 1.: Besichtigte Quellaustritte (Vorauswahl zur Sonderbeprobung am 25.07.07).

MKZ-Nr.	Quelle	Gemeinde	Quellaustritt	Hoch	Rechts	m NN	Schütt. (l/s)	Beprobung (Pumprate)
44363028	Hottentottenborn	Beesenstedt	Ungefasst, frei auslaufend	5714895	4481138	160	1,34	Nein
44363019	Müllersdorfer Born	Zappendorf	gefasster Quellaufstoss	5708710	4485480	85	0,064	Nein
46353001	Erlenborn	Lodersleben	eingestauter Quellaufstoß (ungefasste Kluftquelle)	5693375	4467250	190	1,92	Schöpfprobe Schlauchp. (0,67 l/min)
46350202	Roter Born	Lodersleben	eingestauter Quellaufstoß (ungefasste Kluftquelle)	5693085	4466657	195	1,12	Schöpfpr. Schlauchp. (0,33 l/min)
46353008	Urtalsborn	Spielberg	ungefasste Kluftquelle (Karstquelle)	5686871	4471534	135	12,13	Schöpfpr. Tauchpumpe (1,5 + 3,6 l/min)
47363002	Geiselquelle	St. Micheln	eingestauter Quellaufstoß (ungefasste Kluftquelle, Karstquelle)	5684657	4484763	145	23,16	Schöpfpr. Tauchpumpe (4 l/min)
47363001	12-Apostel-Quelle	St. Micheln	Austritt eingefasst, Schichtquelle im Karstgestein	5684775	4485260	140	4,10	Nein

3 ERGBNISSE

3.1 Vor-Ort-Parameter

Bei der Messung der Wassertemperatur ergaben sich im Quelltopf des Erlenborns je nach Lage des Messpunkts über einem Zuströmbereich oder am Rand bereits Temperaturunterschiede von 0,2 °C. Beim Austritt aus dem Pumpschlauch der Schlauchpumpe (Pumprate 0,67 l/min) wurde eine Temperaturerhöhung von ca. 1 °C gemessen. Bei Einsatz der Tauchpumpe war immer noch eine Temperaturerhöhung von 0,1 – 0,2 °C messbar. Temperaturmessungen in Schöpfproben zeigten ebenfalls sehr schnell Veränderungen durch die Umgebungstemperatur. Für die elektrische Leitfähigkeit ergaben sich keine Veränderungen in Abhängigkeit von Entnahmetechnik oder Entnahmeort. PH-Wert und Sauerstoff zeigten geringe Veränderungen für unterschiedliche Messpunkte und Messungen im Quellaustritt oder Messbecher. Hierbei ist auch die Messtechnik selbst zu beachten (ausreichende Anströmung für Sauerstoff-Messsonde, ruhiges Wasser ohne Gasaustausch für pH-Sonde). Die Ergebnisse der vor Ort Untersuchungen (Tab. 2) bestätigten ähnliche Ergebnisse bei komplizierten Quellaustritten im Erzgebirge (ROSS, 2006).

Tab. 2: Vor-Ort-Parameter

Datum	Zeit	Name	T-Luft [°C]	T-Wasser [°C]	LF [µS/cm] (T _{ref} 25°C)	pH []	O ₂ mg/l	O ₂ [%]
25.07.07	14:40	Geiselquelle	22	10,2	1452	7,10	3,2	28
26.07.07	10:45	Roter Born	16	8,9	542	7,04	8,2	73
26.07.07	11:30	Erlenborn	19	9,2	680	7,16	6,9	60
26.07.07	14:50	Urtalsborn	24	10,1	2770	7,19	9,0	82

3.2 Laborparameter

39 von 45 untersuchten Laborparameter zeigten keine Unterschiede in Abhängigkeit von der Beprobungstechnik (vgl. Tab A1). Einschränkend muss hierbei angemerkt werden, dass für 19 Parameter die Konzentrationen unterhalb der Bestimmungsgrenze lagen. Für diese Parameter waren keine Konzentrationsänderungen bei unterschiedliche Entnahmetechniken feststellbar. Die entsprechenden Stoffe kamen weder in Lösung, noch partikulär an Schwebstoff gebunden in messbaren Konzentrationen vor. Für diese Stoffe kann an den untersuchten Quellen deshalb keine Aussage gemacht werden. Die Basenkapazität KB-8.2 zeigt Schwankungen von bis zu 1,8 mmol/l – ein systematischer Zusammenhang mit der Entnahmetechnik ist bei den vorhandenen Daten allerdings noch nicht erkennbar. TOC und DOC treten bei Erlenborn und Urtalsborn bei schwachen Pumpraten etwas höher als in der Schöpfprobe auf. Bei Urtalsborn und Geiselquelle (starke Pumprate) und bei Roter Born (schwache Pumprate) sind die Konzentrationen praktisch wie in den Schöpfproben. Bor (gelöst und ungelöst) weist messbare geringe Unterschiede auf, für die kein eindeutiger Zusammenhang mit der Probennahmetechnik erkennbar ist. Deutliche Konzentrationsunterschiede werden für Zink (gel.) nachgewiesen (bis zu 10 µg/l = 25 %). In drei Fällen führte die Pumpprobe zu höheren Konzentration, einmal die Schöpfprobe und einmal war das Ergebnis für Pump- und Schöpfprobe gleich. Zink kann auch aus PVC-Schlauchmaterial resorbiert werden (LfU 1999)

4 Diskussion

Für die untersuchten Parameter konnten an den ausgewählten Quellen bei der Probennahme keine Artefakte für partikulär gebundene Stoffkonzentrationen nachgewiesen werden. Diese Feststellung hat jedoch eine nur eingeschränkte Aussagekraft, weil für Schwebstoffe besonders sensible Schwermetalle und Arsen nur in sehr geringen Konzentrationen (häufig unterhalb der Bestimmungsgrenze) auftraten. Für Parameter unterhalb der Bestimmungsgrenze kann nur festgestellt werden, dass bei der Probennahme keine Kontamination durch äußere Faktoren erfolgt ist. Für die ungefassten Quellaustritte wurden mit unterschiedlichen Probennahmetechniken sehr ähnliche Beprobungsergebnisse erzielt. Diese Übereinstimmung spricht für die Eignung der Quellen als repräsentative Grundwassermessstellen und ist ein Indiz für eine insgesamt korrekte Durchführung der verschiedenen Probennahmetechniken. Eine mögliche Ursache für Unterschiede bei den Parametern DOC, TOC Bor und Zink können auch Sorptions- oder Resorptionprozesse an den bei Pumpproben eingesetzten PVC-Schläuchen sein (vgl. BUWAL 2003, LfU 1999, VEGAS 2001). Bei Tauchpumpen an Quellen könnte mit Teflonschlauch (PTFE) anstelle von PVC diese Fehlerquelle ausgeschlossen werden. Mit Spannungsregler ist bei manchen 12-V Tauchpumpen der Förderstrom einstellbar. Diese Pumpen können auch bei schwer zugänglichen Quellen oder bei Aufwirbelungsgefahr eingesetzt werden. Mit Fluchstabsstativ und PE-Rohr zur Justierung konnte eine gute Handhabbarkeit erreicht werden. Vorteil einer Schlauchpumpe ist die Möglichkeit sehr geringer Förderraten (≤ 1 l/min). Schlauchpumpen bedingen allerdings Druck- und Temperaturänderungen des Probengutes (BUWAL 2003). Bei der Probennahme am Erlenborn konnte Ausgasung im Schlauch und Temperaturänderungen von über 1 °C beobachtet werden. Praktische Nachteile sind Gewicht, Stromversorgung (24 V) und höhere Anschaffungskosten. Um Sorptionseffekte in der Schlauchpumpe zu minimieren, wurde ein Viton-Schlauch eingesetzt (etwas steifer als Silikon, aber weniger sorptiv). Beim Test musste nach ca. 30 Minuten Betriebszeit wegen Überhitzung der Pumpe abgeschaltet werden. Aus technischen Gesichtspunkten sind Schlauchpumpen im Vergleich zu schwachen Tauchpumpen weniger geeignet: durch den Unterdruck werden Temperatur und gelöster Sauerstoff deutlich verändert.

Für in dieser Studie untersuchte, nachweisbare Parameter kann an den beprobten Quellen keine Verfälschung der Ergebnisse durch Schöpfproben belegt werden, auch wenn in der Fachliteratur Schöpfproben eher kritisch bewertet oder allenfalls eingeschränkt empfohlen werden (BUWAL 2003, LfU 1999, LfU 2001, ATV-DVWK 2002). Einschränkend muss hierzu angemerkt werden, dass viele analysierte Parameter unterhalb der Nachweisgrenze lagen. Für die nicht nachweisbaren Stoffe können lediglich Fehler durch Probennahmehaterialien ausgeschlossen werden. Für gasförmige Parameter (insbesondere geringer Sauerstoffgehalt, hoher Kohlendioxidgehalt, CKW) ist das Befüllen der Probenflaschen über Tauchpumpe mit Schlauch exakter als das Befüllen von Flaschen durch ein Schöpfgefäß. Falls eine Schöpfprobe durchgeführt wird, sollte die Entnahme unterhalb der Wasseroberfläche erfolgen. Die Gefahr einer Beeinträchtigung durch von außen eingetragene Stoffe wird so verringert.

5 Schlussfolgerungen

5.1 Parameterspezifische Empfehlungen

Vor der Grundwasserprobennahme bei ungefassten Quellen muss die Probennahmetechnik auf die zu analysierenden Parameter und mögliche Konzentrationsbereiche abgestimmt werden. Nur so können Verfälschungen der Ergebnisse für sensible Parameter vermieden werden. Für „einfache“ Parameter kann auch eine „einfache“ Beprobungstechnik vertretbar sein. Eine Übersicht hierzu gibt Tabelle 3.

5.1.1 Vor-Ort-Parameter

Wenn im Quellaustritt bei der Probennahme die Gefahr von Sedimentaufwirbelungen oder Einträgen von Fremdstoffen aus der Umgebung besteht, muss die Messung der Vor-Ort-Parameter zeitlich nach der Probenentnahme erfolgen.

- **Organoleptik:** Die Prüfung auf Färbung, Geruch, Trübung und Bodensatz kann bereits vor Ort auf auffällige Verhältnisse hinweisen. Zur Beurteilung wird ein Messbecher (1 Liter) vor weißem und vor schwarzem Untergrund empfohlen (LfU 1999, LfU 2001, LUBW 2002, LUBW 2006).
- **Temperatur (T):** Insbesondere bei schwach schüttenden Quellen kann eine repräsentative Grundwassertemperatur nur unmittelbar im Quellaustritt selbst gemessen werden. Wesentliche Temperaturveränderungen können bereits kurz unterhalb des Austrittes auftreten.
- **Elektrische Leitfähigkeit (LF):** Dieser Wert kann auch bei ungefassten Quellen zuverlässig und zügig gemessen werden. Messwertverfälschungen sind durch Luftblasen in turbulenter Strömung oder durch sich auf der Sonde absetzende Schwebstoffe möglich. Die Referenztemperatur des Messgerätes ist generell zu dokumentieren.
- **pH-Wert:** Eine zu starke Anströmung der Elektrode kann zu ungenauen Messungen führen (ATV-DVWK 2002). Wichtig ist eine Messung in ruhigem Wasser ohne wesentliche Veränderung durch die Atmosphäre. Die Messung erfolgt deshalb je nach Verhältnissen in der Quelle selbst oder in einem Messbecher.
- **Sauerstoff (O₂):** Üblich ist die Messung mit elektrometrischen oder optische Messsonden. Elektrometrische Sonden benötigen an der Messmembran je nach Modell eine bestimmte Anströmung. Wenn dies nicht im Quellaustritt selbst möglich ist, werden Durchflussmesszellen oder Messbecher mit Magnetrührer empfohlen (LfU 2001).
- **Redox-Potenzial:** Da genaue Messungen sehr aufwändig sind (DVWK 1991), dienen Vor-Ort-Messwerte eher zur Orientierung. Ergebnisse unterschiedlicher Messungen sind nur bedingt vergleichbar. Bei der Grundwasserprobennahme an Quellen ist dies bisher bei Vor-Ort-Messungen kein Standard (ATV-DVWK 2002).
- **Schüttung (Q):** Für Stichtags- und Kalibriermessungen ist die Gefäßmessung (volumetrisch) die erste Wahl (ATV-DVWK 2002). Um zufällige Fehler zu verringern, muss die Messung mehrfach durchgeführt werden (LAWA 1995). Weitere Messverfahren beruhen auf der Ermittlung von Strömungsgeschwindigkeiten über das Querprofil des Quellgerinnes. Hierfür wird beim LHW ein induktives Messgerät (Flow Mate) auch in relativ flachen Gerinnen erfolgreich eingesetzt. Aus technischer Sicht wären auch Ultraschall-Doppler-Messgeräte einsetzbar; hierzu liegen aber keine praktischen Erfahrungen vor. Auch Schüttungsmessungen mit eingeschränkter Genauigkeit stellen wichtige Informationen zur Probennahme dar, wobei zur Nachvollziehbarkeit auch die Messgenauigkeit dokumentiert werden sollte. Tracerverdünnungsmethoden (SCHUDEL et. al. 2002) kommen nur bei stärker schüttenden Quellen mit turbulenten Strömungsverhältnissen in Frage. Ideal ist eine kontinuierliche Registrierung der Quellschüttung durch Datensammler.

5.1.2 Laborparameter:

Entscheidend für die Planung und Vorbereitung der Probennahme ist die Ausprägung der Quellaustritte und die Abstimmung mit dem Labor. Bei Beprobung durch Pumpen müssen die materialspezifischen Spülzeiten beachtet werden, um Messwertverfälschungen durch Sorption zu vermeiden. Zur Nachvollziehbarkeit (Qualitätssicherung) sollten verwendete Materialien, Förderstrom und Pumpzeit dokumentiert werden. LUBW (2001) und VEGAS (2001) empfehlen für Teflon 15 min und für PVC 30 min als Pumpzeiten vor der Probennahme.

- Für **F, Cl, SO₄, NO₂, NO₃, NH₄, GH, KH, HCO₃, Na, K, Ca, Mg** konnten an den untersuchten Quellen keine Beeinflussungen von der Probennahmetechnik festgestellt werden. Für diese Parameter sind auch in der Fachliteratur keine materialspezifischen Hinweise zur Beprobung gefunden worden. Zur Beanstandung von sauber durchgeführten Schöpfproben liefern die Ergebnisse keine Hinweise. Bei größeren Schwebstoffmengen wären aber auch für diese Stoffe Fehler zu erwarten (LAWA 2003).
- **TOC, DOC, Bor gel., Bor gesamt, Zn gel.** zeigten Abweichungen, die möglicherweise auf Materialeigenschaften (PVC-Schlauch mit kurzer Pumpzeit) zurückzuführen sind (LfU 2001, VEGAS 2001). **TOC** und **Bor ges.** sind auch Schwebstoffabhängig (LAWA 1999).
- Für **Fe-II, Fe, Al, As, Bor, Mn; Cd, Pb, Cu** sind deutliche Schwebstoffabhängigkeiten bekannt (LAWA 1998, LAWA 1999, DVWK 1998, KÖLLE 2003), auch wenn die hier untersuchten Referenzquellen wegen zu geringer Konzentrationen hierzu keine Aussagen zulassen. **Pflanzenschutzmittel** und **Radionuklide** (dieser Studie nicht untersucht) werden ebenfalls partikulär angelagert und sind somit schwebstoffabhängig (LAWA 1999). Eine Beeinflussung durch Probennahmetechniken ist deshalb an Quellaustritten möglich.
- Nach LfU (1999) können gasförmige Parameter aus Schöpfproben nicht bestimmt werden. Folgende Parameter können sich durch Ausgasung leicht verändern, insbesondere bei Druck- oder Temperaturänderungen oder bei Verwirbelung des Proben-gutes: **O₂, pH, KS-4.3 (Säurekapazität), KB-8.2 (Basenkapazität)**. Bei den vorliegenden Probennahmen traten geringe unregelmäßige Abweichungen für KB-8.2 auf.
- Zu beachten ist auch, dass Konzentrationsänderungen von **pH, Sauerstoff** oder **H₂CO₃** Auswirkungen auf andere Stoffverbindungen oder auf Speziierungen haben können. Wenn von Ausgasung betroffene Parameter oder Spurenelemente (Schwermetalle, PSM) beprobt werden sollen, stellt ein Tauchpumpe mit Teflonschlauch die beste Entnahmetechnik dar.

Tab. 3 gibt eine parameterspezifische Orientierung zu Schwebstoffabhängigkeit, Gasaustausch (Druck- und Temperaturänderungen), Phasenänderungen nach Probennahme, Entnahmetechnik und Entnahmematerial. Die Zusammenstellung basiert auf Informationen aus BUWAL 2003, LfU 1999, LfU 2000, VEGAS 2001, DVWK 1998, KÖLLE 2003, OEMICHEN et. al. 2003, ROSS 2006).

Tab. 3: Parameterspezifische Anforderungen bei der Probennahmen an ungefassten Quellen.

Parameter	Schwebstoff abhängig	DruckTemp. relevanz(Gas)	Phasenveränderung?	Entnahme Technik	Material
FB Farbe	[+]	[-]			
TB-ol Trübung	[++]	[-]			
Ri Geruch	[~]	[++]			
BS Bodensatz	[++]	[-]			
T Temp.	[-]	[-]			
Lf. Elektr.Leitfähigkeit	[-]	[-]	[~]	[-]	[~]
pH-Wert	[-]	[+/+++]	[+]	(S, TP)	[~]
O ₂ , SSI gelöster Sauerstoff	[-]	[++]	[+]	(TP, S)	[~]
KS-4.3 Säurekapazität	[~]	[++]	[+]	(S, TP)	[~]
KB-8.2 Basenkapazität	[~]	[++]	[+]	(TP, S)	[~]
F Fluor	[~]	[~]	[~]	S, TP	[~]
Cl Chlorid	[~/+]	[~]	[~]	S, TP	[~]
SO ₄ Sulfat	[~/+]	[~/+]	[~/+]	S, TP	[~]
NO ₂ Nitrit	[~]	[~]	[+]	S, TP	[~]
NO ₃ Nitrat	[~/+]	[~]	[~/+]	S, TP	[~]
NH ₄ Ammonium	[~/+]	[~/+]	[+]	TP, S	[~]
GH Gesamthärte	[-]	[-]	[-]	S, TP	[~]
KH Karbonathärte	[-]	[-]	[-]	S, TP	[~]
HCO ₃ Hydrogenkarbonat	[~]	[~/+]	[~]	S, TP	[~]
Na Natrium	[~/+]	[-]	[-]	S, TP	[~]
K Kalium	[~/+]	[-]	[-]	S, TP	[~]
Ca Kalzium	[~/+]	[-]	[-]	S, TP	[~]
Mg Magnesium	[+]	[-]	[-]	S, TP	[~]
o-PO ₄ Orthophosphat	[+]	[~]	[+]	TP, S	Teflon,(PVC)
SiO ₂ Silicat	[+]	[-]	[-]	TP, S	Teflon,PVC
TOC					
Gesamtorg.Kohlenstoff	[+]	[~]	[++]	TP, S	Teflon
DOC					
Gelöstorg.Kohlenstoff	[+]	[~]	[++]	TP, S	Teflon
UV-254 UVSorption	[~]	[~]	[~]	S, TP	[~]
Fe-II EisenII	[++]	[+/+++]	[++]	TP, (S)	Teflon,(PVC)
Al Aluminium	[++]	[+]	[++]	TP, (S)	Teflon,(PVC)
As Arsen	[++]	[+]	[++]	TP, (S)	Teflon,PVC
Bor Bor	[++]	[~]	[+]	TP, (S)	Teflon
Pb Blei	[++]	[~]	[+]	TP, (S)	Teflon
Cd Cadmium	[++]	[~]	[+]	TP, (S)	Teflon
Cu Kupfer	[++]	[~]	[+]	TP, (S)	Teflon
Fe Eisen	[++]	[+/+++]	[+/+++]	TP, (S)	Teflon,PVC
Mn Mangan	[++]	[+/+++]	[+/+++]	TP, (S)	Teflon,PVC
Zn Zink	[++]	[~]	[+]	TP, (S)	Teflon
CKW*	[++]	[++]	[++]	TP	Teflon
Chlor.Kohlenwasserst.					
PSM* Pflanzenschutzmittel	[++]	[+]	[++]	TP, (S)	Teflon,(PVC)
Andere Spurenstoffe*	[+/+++]	[~/+++]	[~/+++]	TP, (S)	Teflon,(PVC)
Radionuklide* (U,Ra,Rn,T)	[~/+++]	[+/+++]	[~/+++]	TP, (S)	Teflon,(PVC)

[-] unkritisch, [~] eher unkritisch, [+] Fehlerpotenzial, [++] kritisch, TP Tauchpumpe, S Schöpfprobe,

* in dieser Studie nicht analysiert () eingeschränkt oder längere Spülzeit

5.2 Empfehlungen zu Entnahmetechniken

- Die Ausprägung des Quellaustrittes ist für die Auswahl und Festlegung möglicher Entnahmetechniken entscheidend. Dabei müssen Probenentnahmegeräte mit geeigneten Materialien ausgewählt werden, die den Anforderungen der zu analysierenden Parameter entsprechen. In der Fachliteratur bezieht sich „Schöpfprobe“ oft auf einen gasdicht verschließbaren Wasserschöpfer nach Ruttner oder auf ähnliche Systeme (BUWAL 2003, LfU 1999). Für Quellen sind jedoch aus praktischer Sicht im Allgemeinen keine wesentlichen Unterschiede erkennbar, wenn unter der Wasseroberfläche mit einem Messbecher geschöpftes Wasser zügig und ruhig in Probenflaschen abgefüllt wird oder die Flaschen selbst unter die Wasseroberfläche getaucht werden.
- Bei Schöpfproben muss sich die Hand des Probennehmers im Abstrom des Quellaustrittes befinden (LfU 2001). Bei geringen Wasserständen im Quellaustritt steigt die Gefahr von Aufwirbelungen durch Schöpfproben, so dass eine Beprobung praktisch unmöglich wird.
- Bei einem ausreichend tiefen Quellpool mit klarem Quellwasser sind bei Schöpfproben lediglich für gasförmige Parameter und hiervon abhängige Parameter Veränderungen zu befürchten. In BUWAL (2003) wird zu Befüllung von Proben für gasförmige Parameter eine Technik mit Entlüftungsschlauch in der umgedrehten Probenflasche beschrieben.
- In flachen oder schwer zugänglichen Quellaustritten ist eine schwache, regelbare Tauchpumpe (12 V Campingpumpe mit max. 10-14 l/min und 5-10 m Förderhöhe) geeignet. Für gasförmige Parameter ist diese Entnahmetechnik ebenfalls geeignet.
- Die Regelung des Förderstromes sollte über die Stromversorgung der Pumpe durch einen Spannungsregler erfolgen. Bei mechanischer Drosselung erzeugt die Pumpe zusätzliche Wärme. Als Schlauchmaterial wird Teflon empfohlen. Vor der Probennahme sollte 15 min gespült werden. Nach LfU (2001) und VEGAS (2001) sollte bei Einsatz eines PVC-Schlauches mindestens 30 min gespült werden.
- Wenn aus geometrischen Gründen oder wegen sehr geringer Schüttung Tauchpumpe nicht und Schöpfprobe nicht durchführbar sind, kann die Probe eventuell mit einer Spritze „gezogen“ werden.
- Das Befüllen der Probenflaschen erfolgt entsprechend den Vorgaben des Analytiklabors. Das Wasser sollte stets langsam und laminar fließend in die Flasche einströmen (Zufluss ≤ 1 l/min). Wenn ein Kontakt des Probengutes mit der Atmosphäre ausgeschlossen werden soll (gasförmige und von Gasgehalten abhängige Parameter), bietet sich die sogenannte „best-fill“-Technik (VEGAS 2001, LfU 1999, LfU 2001) an. Hierbei wird ein sauberer, vorab außen und innen mit Quellwasser gespülter Teflonschlauch bis auf den Flaschenboden eingeführt und vor dem Verschließen der Flasche Quellwasser überlaufen gelassen.
- Die Filtrierung der Proben erfolgt vor Ort. Filtrierungstechnik, Porenweite und Filtermaterial müssen mit dem Labor abgestimmt sein.

Fazit: für die Beprobung der Quellen konnten angepasste Entnahmetechniken aufgezeigt werden. Die Eignung eines Quellaustrittes zur Grundwasserprobennahme und die Beprobungstechnik sind von den zu untersuchenden Parametern abhängig. Bei geeigneten ungefassten Quellaustritten können für „einfache“ Parameter auch mit Schöpfproben repräsentative Ergebnisse erzielt werden. Für schwebstoffsensible Parameter ist insbesondere bei flachen Quellaustritten ein aufwändigere Beprobungstechnik erforderlich.

5.3 Empfehlungen für beprobte Referenz-Quellen

<p>Erlenborn MKZ 46353001</p>	<p>Im Erlenborn sind am Quellgrund deutliche Ablagerungen von Detritus aus eingetragenen Laub, Holz und Humus – bei einer Schöpfprobe besteht die Gefahr, diese terrestrischen Feststoffe mit zu beproben. Allerdings konnten für die beprobten Parameter bei den durchgeführten Vergleichsbeprobungen keine Verfälschungen durch Schöpfproben nachgewiesen werden.</p> <p><u>Vor-Ort-Parameter:</u> im Quellaustritt.</p> <p><u>Laborparameter:</u> für „einfache“ Parameter kann vorsichtig geschöpft werden, für gasförmige oder schwebstoffabhängige Parameter ist die Entnahme durch eine schwache Tauchpumpe geeigneter.</p>
<p>Roter Born MKZ 46350202</p>	<p><u>Vor-Ort-Parameter:</u> T und LF im Quellaustritt, pH und O₂ im Quellaustritt oder durch Tauchpumpe direkt von der Rückwand der Fassung.</p> <p><u>Laborparameter:</u> für „einfache“ Parameter kann vorsichtig geschöpft werden, für gasförmige oder schwebstoffabhängige Parameter ist die Entnahme durch eine schwache Tauchpumpe geeigneter. Bei den durchgeführten Vergleichsbeprobungen waren keine Unterschiede zwischen Schöpf- und Pumpprobe feststellbar.</p>
<p>Urtalsborn MKZ 46353008</p>	<p><u>Vor-Ort-Parameter:</u> T und LF im Quellaustritt, pH und O₂ im Quellaustritt oder durch Tauchpumpe.</p> <p><u>Laborparameter:</u> für „einfache“ Parameter kann geschöpft werden, wenn der Wasserstand ausreichend hoch ist. Die Beprobung gasförmiger Parameter durch eine Schöpfprobe ist kritisch.</p> <p>Die Fixierung einer Tauchpumpe kann über ein Fluchstabsstativ in der Kluftöffnung über dem Quellaustritt erfolgen, mit einem weiteren Stativ kann der Schlauch befüllt werden (2-3 m Schlauch erforderlich).</p>
<p>Geiselquelle MKZ 47363002</p>	<p><u>Vor-Ort-Parameter:</u> T und LF im Quellaustritt, pH und O₂ im Quellaustritt oder im Messbecher</p> <p><u>Laborparameter:</u> für „einfache“ Parameter kann geschöpft werden. Gasförmige Parameter können ebenfalls direkt im Quellbecken entnommen werden. Für die Analytik von gasförmigen oder an Schwebstoff gebundenen Parametern ist die Entnahme durch eine schwache Tauchpumpe generell geeigneter. Allerdings konnten für die beprobten Parameter bei den durchgeführten Vergleichsbeprobungen keine Verfälschungen durch Schöpfproben nachgewiesen werden.</p>
<p>Hottentottenborn MKZ 44363028</p>	<p><u>Vor-Ort-Parameter:</u> T und LF im Quellaustritt, pH und O₂ im Messbecher oder über Tauchpumpe</p> <p><u>Laborparameter:</u> Entnahme aus dem flachen ausgeprägten Quellaustritt durch temporären Aufstau mit schwacher Tauchpumpe. Bei geringer Schüttung muss eventuell mit einer Spritze beprobt werden. Schöpfproben sind wegen geringer Wassertiefe schwierig.</p>

<p>Müllersdorfer Born MKZ 44363019</p>	<p>Die genaue Lage des Quellaustrittes und die Ausdehnung der Fassungsanlage sind nicht bekannt. Bei regnerischer Witterung oder Schneeschmelze können Fremdstoffe in die Quelle eingespült werden.</p> <p><u>Vor-Ort-Parameter:</u> T und LF <u>direkt</u> am Auslauf in Messbecher, pH und O₂ im Messbecher.</p> <p><u>Laborparameter:</u> nur bei trockener Witterung. Entnahme direkt aus dem Strahl des Quellauslaufes. Für „sensible“ Parameter kann ein Teflonschlauch eingeschoben werden, so dass eine direkte Befüllung ohne Luftkontakt und Verwirbelungen möglich wird. Eine Beeinflussung von Eisen und in Eisenverbindungen enthaltenen Stoffen durch die Fassungsanlage kann nicht ausgeschlossen werden.</p>
<p>12-Apostel-Quelle MKZ 47363001</p>	<p><u>Vor-Ort-Parameter:</u> T und LF im Quellaustritt, pH und O₂ im Quellaustritt oder im Messbecher (muss niedrigem Wasserstand eventuell über eine Tauchpumpe befüllt werden)</p> <p><u>Laborparameter:</u> für „einfache“ Parameter kann geschöpft werden, wenn die Wassertiefe ausreicht. Für die Analytik von gasförmigen oder an Schwebstoff gebundenen Parametern ist die Entnahme durch eine schwache Tauchpumpe geeigneter.</p>

6 LITERATUR

- Amtsblatt der Europäischen Union: Richtlinie 2006/118/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 12. Dezember 2006 zum Schutz des Grundwassers vor Verschmutzung und Verschlechterung „Tochtrichtlinie Grundwasser der WRRL“.
- ATV-DVWK (2002): Messeinrichtungen an Quellen, ATV-DVWK Merkblatt M 604, Hennef.
- BfN - Bundesamt für Naturschutz, Hrsg. (2002): Systematik der Biotoptypen- und Nutzungstypenkartierung (Kartieranleitung). Heft 73.
- BUWAL Bundesamt für Umwelt Wald und Landschaft (2003): Praxishilfe Grundwasserprobennahme. Arbeitsgruppe der Schweizerischen Gesellschaft für Hydrogeologie, Bern.
- DIN 4049-3 (1994): Hydrologie, Begriffe zur Quantitativen Hydrologie. Deutsches Institut für Normung, Berlin.
- DVGW (2001): Entnahme von Wasserproben bei der Erschließung, Gewinnung und Überwachung von Grundwasser. DVGW Technische Mitteilungen Merkblatt W 112. Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas- und Wasser, Bonn.
- DVWK Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau (1998): Hydrogeochemische Stoffsysteme. Schriften 117. Verlag P. Parey, Hamburg.
- DVWK Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau (1992): Entnahme und Untersuchungsumfang von Grundwasserproben. Regeln zur Wasserwirtschaft 128. Verlag P. Parey, Hamburg.
- DVWK Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau (1991): Grundwasser-Redoxpotentialmessung und Probennahmegeräte-I. Redoxpotential-Messungen im Grundwasser, II. Grundwasser-Entnahmegeräte, Zusammenstellung von Geräten für die Grundwasserentnahme zum Zweck der qualitativen Untersuchungen. Schriften 84. Verlag P. Parey, Hamburg, 182 pp.
- Hering E (2001): Erfassung und Bewertung der ständig fließenden Quellen des Regierungsbezirks Halle nach hydrogeologischer Situation, Quelltyp, Quellschüttung und hydrogeochemischer Beschaffenheit. Unveröffentlichte Diplomarbeit am Institut für Geographie der Universität Halle-Wittenberg
- Kölle, W (2003): Wasseranalysen – richtig beurteilt. Grundlagen, Parameter, Wassertypen, Inhaltsstoffe, Grenzwerte nach Trinkwasserverordnung und EU-Trinkwasserrichtlinie. Wiley-VCH Verlag, Weinheim.

- Lagally, U. et al. (1997): Bericht über die Ergebnisse der "Ad hoc Arbeitsgruppe Geotopschutz" des Bund/ Länder-Ausschusses Bodenforschung: "Arbeitsanleitung Geotopschutz in Deutschland". - Schriftenreihe Deutsch. Geol. Ges, 5, 43-48, Stuttgart
- LAWA – Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (1987): Grundwasser – Richtlinien zur Beobachtung und Auswertung: Teil 2 - Grundwassertemperatur.
- LAWA – Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (1999): Fließgewässer der Bundesrepublik Deutschland – Schwebstoffmessungen. Bestandsaufnahme Stand 1996, Empfehlungen.
- LAWA – Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (1995): Grundwasser – Richtlinien zur Beobachtung und Auswertung: Teil 4 Quellen.
- LAWA – Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (1998): Beurteilung der Wasserbeschaffenheit von Fließgewässern in der Bundesrepublik Deutschland. Chemische Gewässergüteklassifikation.
- LAWA – Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (2003): Ermittlung von Stoff-Frachten in Fließgewässern Probenahmestrategien und Berechnungsverfahren.
- LfU Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (1999): Beprobung von Grundwasser – Literaturstudie.
- LfU Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (2000): Grundwasserüberwachungsprogramm. Rahmenkonzept Grundwassermessnetz.
- LfU Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (2001): Grundwasserüberwachungsprogramm. Leitfaden für Probenahme und Analytik von Grundwasser.
- LUBW - Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (2002): Arbeitshilfe Qualitätssicherung – Kap. 2.7.5 Entnahme der Grundwasserproben.
www.xfaweb.baden-wuerttemberg.de/alfaweb/berichte/s-labo/
- LUBW – Landesanstalt für Umwelt. Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg 2006: Merkblatt „Schwermetall-Probe LUBW-Labor“ unveröffentlicht.
- Oehmichen U., Schmitz, M., Seeliger, P. (2003): Die neue Trinkwasserverordnung: der Kommentar aus rechtlicher und technisch wirtschaftlicher Sicht. Wvgw-Verlag, Bonn.
- Putzien J. (1988): Präzise pH-Messung in Trinkwasser. Zeitschrift Wasser-, Abwasser-Forschung 21: 1-6. VCH Verlagsgesellschaft mbH, Weinheim.
- Riecken, U., Finck, P., Raths, U., Schröder, E. und Symank, A. (2006): Rote Liste der gefährdeten Biotoptypen Deutschlands. Zweite fortgeschriebene Fassung Hrsg. Bundesamt für Naturschutz. Heft 34.
- Ross J.-H. (2006): Probennahme an komplizierten Quellaustritten. Bericht für die Sächsische Landesanstalt für Umwelt und Geologie, unveröffentlicht.
- Ross J.-H. (2007): Probennahme an ungefassten Quellaustritten - Schwebstoffverhalten. Bericht für das LHW Sachsen-Anhalt, unveröffentlicht.
- Ross J.-H., Barthel E., Geletneký J., Schubert H, (2006): Eignung von Quellen und Stollen als repräsentative Grundwassermessstellen. Tagungsband „Repräsentative Grundwasserprobennahme“ unter Leitung der Sächsischen Akademie für Natur und Umwelt, 02.-05.11.2006 in Magdeburg.
- Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt, Umweltschutz, UFZ-Forschungszentrum Leipzig-Halle (2000): Repräsentative Grundwasserprobennahme. Lehrgang am 02. und 03. November in Bitterfeld.
- Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt, Umweltschutz, UFZ-Forschungszentrum Leipzig-Halle (2004): Handbuch Grundwasserbeobachtung, Teil 5 Grundwasserprobennahme. Materialien zur Wasserwirtschaft.
- SCHUDEL B., BIAGGI D., DERVEY T., KOZEL R., MÜLLER I., ROSS J.-H., SCHINDLER U. 2002: Einsatz künstlicher Tracer in der Hydrogeologie – Praxishilfe. Arbeitsgruppe Tracerhydrologie in der Schweizerischen Gesellschaft für Hydrogeologie.
- Sigg, Stumm (1989): Aquatische Chemie: eine Einführung in die Chemie wässriger Lösungen und die Chemie natürlicher Wässer, Teubner-Verlag, Stuttgart.
- VEGAS, LfU Baden Württemberg (2001): Lehrgang I+II für Probennehmer. Grundkurs für Probennehmer beim Grundwassermessnetz.

Anhang 1 Analysenergebnisse

Tab. A1: Laborparameter.

Quelle		Geiselquelle		Roter Born		Erlenborn		Urtalsborn			Einschätz.	
		07H05469	07H05470	07H05472	07H05473	07H05476	07H05475	07H05598	07H05599	07H05600		
Probennr.:	Entnahmeart	[]	Schöpf	Pumpe stark	Schöpf	Pump	Schöpf	Pump	Schöpf	Pump schw.	Pumpe stark	
FB			10	10	10	10	10	10	10	10	10	=
TB-ol			10	10	10	10	10	10	10	10	10	=
Ri			10	10	10	10	10	10	10	10	10	=
BS			10	10	10	10	10	10	10	10	10	=
T	°C		10,2	10,2	8,9	8,9	9,2	9,2	10,1	10,1	10,1	=
T-Luft	°C		22	22	15	15	19	19	24	24	24	=
Lf	µS/cm		1274	1274	520	520	680	680	2770	2770	2770	=
PH			7,1	7,1	7,1	7,0	7,2	7,2	7,1	7,1	7,1	=
UH	MV		n.b.	n.b.	343	343	413	413	485	485	485	=
O ₂	mg/l		3,2	3,2	8,0	8,0	6,6	6,9	9,0	9,0	9,0	~
SSI	%		28,5	28,5	69,1	69,1	57,4	60,0	80,0	80,0	80,0	~
KS-4.3	mmol/l		5,4	5,4	2,8	2,8	3,5	3,5	5,5	5,5	5,5	=
KB-8.2	mmol/l		0,68	0,66	0,73	0,72	0,50	0,55	0,86	0,75	0,68	!
F	mg/l		0,33	0,34	0,22	0,21	0,20	0,21	0,46	0,46	0,46	=
Cl	mg/l		84,4	84,7	25,8	25,8	34,8	34,4	68,6	68,5	68,0	=
SO ₄	mg/l		405	403	73,1	72,9	98,9	98,1	1440	1450	1450	=
NO ₂ N	mg/l		<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	X
NO ₃ N	mg/l		4,97	5,04	4,29	4,27	7,23	7,11	10,7	10,7	10,7	~
NH ₄ N	mg/l		<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	X
NO ₂	mg/l		<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	X
NO ₃	mg/l		22,0	22,3	19,0	18,9	32,0	31,5	47,4	47,4	47,4	=
NH ₄	mg/l		<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	X
TIN	mg/l		<5,02	<5,09	<4,34	<4,32	<7,28	<7,16	<10,8	<10,8	<10,8	=
GH	°dH		42,7	42,9	13,6	13,5	18,2	18,0	102,3	102,6	101,6	=
KH	°dH		15,1	15,1	7,8	7,8	9,8	9,8	15,4	15,4	15,4	=
HCO ₃	mg/l		329,5	329,5	170,8	170,8	213,6	213,6	335,6	335,6	335,6	=

Einschätzung je Quelle =: identisch; ~: keine deutliche Abweichung, !: auffällige Abweichung, X: keine Aussage wegen zu geringen Konzentrationen

Tab. A1: Laborparameter (Fortsetzung).

Quelle Entnahmeart []		Geiselquelle		Roter Born		Erlenborn		Urtalsborn			Einschätzung
		Schöpf	Pumpe stark	Schöpf	Pump	Schöpf	Pump	Schöpf	Pump schw.	Pumpe stark	
Na	mg/l	18,6	18,8	9,62	9,59	10,5	10,6	21,6	21,5	21,5	=
K	mg/l	4,16	4,20	2,98	2,94	3,28	3,29	10,5	10,5	10,5	=
Ca	mg/l	191	192	63,1	62,8	82,6	81,8	619	621	614	=
Mg	mg/l	69,1	69,7	20,5	20,3	28,8	28,5	68	68,1	68	=
o-PO ₄	mg/l	<0,031	<0,031	0,337	0,337	0,245	0,245	<0,031	<0,031	<0,031	=
o-PO ₄ -P	mg/l	<0,01	<0,01	0,11	0,11	0,08	0,08	<0,01	<0,01	<0,01	=
SiO ₂ gel.	mg/l	9,2	9,2	17	17	14	14	8,6	8,6	8,6	=
TOC	mg/l	1,3	1,3	1,2	1,2	1,0	1,4	1,1	1,2	1,1	!
DOC	mg/l	1,3	1,3	1,2	1,2	1,0	1,2	1,1	1,2	1,1	!
UV-254	/m	1,9	1,8	1,2	1,4	1,2	1,3	1,9	1,9	1,9	=
Fe-II-gel		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	X
Al gel.	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	X
As gel.	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	X
Bor gel.		0,09	<0,05	0,07	0,08	0,08	0,07	0,4	0,32	0,34	!
Pb gel.	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	X
Cd gel.	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	X
Cu gel.	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	X
Fe gel.	mg/l	<0,05	<0,05	0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	X
Mn gel.	mg/l	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	X
Zn gel.	µg/l	32	38	37	41	41	30	33	38	33	!
Al	µg/l	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	X
As	µg/l	<0,5	<0,5	0,6	0,6	0,5	0,5	1,0	1,0	1,0	=
Bor	mg/l	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,32	0,27	0,31	!
Cd	µg/l	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	X
Pb	µg/l	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	X
Cu	µg/l	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	X
Fe	mg/l	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	X
Mn	mg/l	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	X
Zn	µg/l	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	X

Einschätzung je Quelle =: identisch; ~: keine deutliche Abweichung, !: auffällige Abweichung, X: keine Aussage wegen zu geringen Konzentrationen