© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

Ber. Naturf. Ges. Freiburg i. Br., **102**, S. 93 - 110, Freiburg 2012

Farben des Wassers durch Kalkausfällung in der Rheinaue bei Burkheim am Kaiserstuhl

Wolfhard Wimmenauer & Carola Seifried

Zusammenfassung

In Quellen kalkgesättigten Grundwassers, die in Gewässern der Rheinaue austreten, wird zu Zeiten Calcit ausgefällt. An Partikeln, deren Durchmesser noch klein gegenüber der Wellenlänge des sichtbaren Lichtes ist, wird durch Rayleigh-Streuung blaues Licht emittiert. In der Sicht vom Ufer her ist diese Farbe durch die grüne Eigenfarbe des Wassers modifiziert. Auch größer gewachsene Teilchen aus diesem Mineral werden als Schwebstoffe in bis zu 20 m langen, getrübten Strähnen vom Wasser weggeführt. Auch das an ihnen reflektierte Licht nimmt auf seinem Weg zum Betrachter die grüne Farbe an. Weitere Folgen der Ausfällung sind die Bildung eines Kristallsandes aus Calcit und Überkrustungen von Algen und Zweigen höherer Pflanzen.

Stichwörter

Wasser, Farbe, Calcitausfällung, Rheinaue, Burkheim

Anschrift der Verfasser:
Prof. Dr. W. Wimmenauer, Rehhagweg 21, 79100 Freiburg i. Br.
Dipl.-Min. C. Seifried, GfU GmbH, Castellbergstr. 5, 79282 Ballrechten-Dottingen

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

Colours of Water by Calcite Precipitation near Burkheim (Kaiserstuhl SW Germany)

Abstract

Calcite is, at times, precipitated from calcium-saturated springs which rise in some ponds of the Rhine foreland near Burkheim (SW Germany). Blue light is emitted, by Rayleigh diffraction, on particles smaller than the wavelength of visible light. Observed from the low banks, that colour is modified to turquoise by the green colour proper to the water at such conditions. Larger grown particles of calcite are floated away in streaks up to 20 m in length; the light reflected from them also acquires, on its way through the water, the green colour. Other consequences of the precipitation are the formation of a mobile crystal sand of calcite and coatings on the branches of algae and higher plants.

Key words

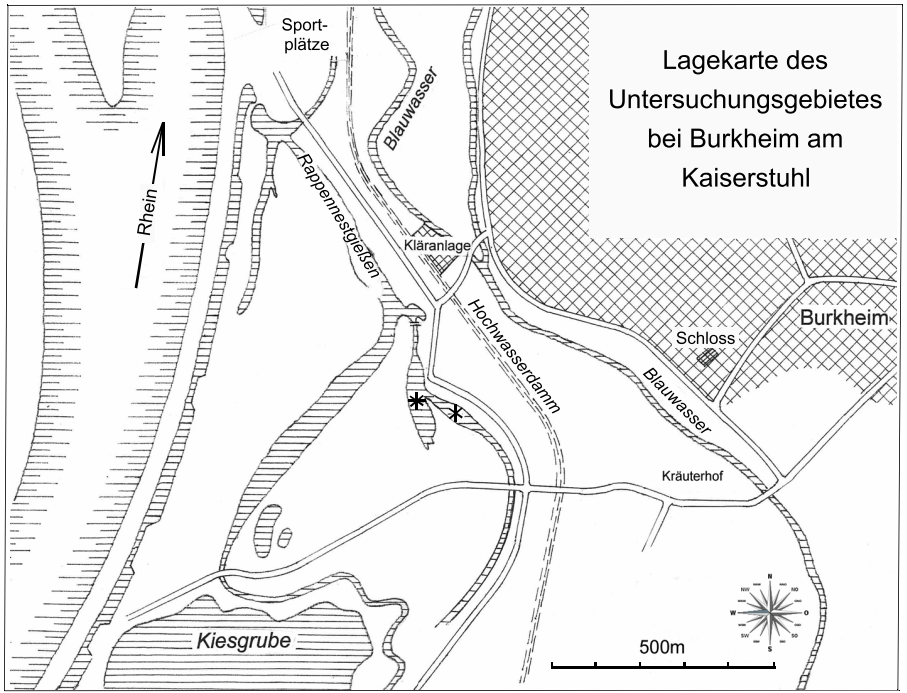
Water, colour, calcite precipitation, Burkheim (SW Germany)

1. Die Vorkommen

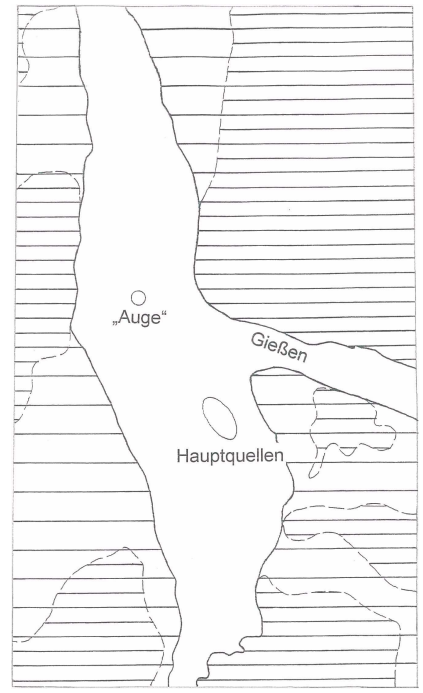
Ein in der Rheinaue bei Burkheim gelegener Quelltopf (Koordinaten R3494900/ H5329960), der in den *Rappennestgießen* mündet, zählt nach Fläche und Tiefe (bis zu 4 m) zu den größeren noch existierenden Grundwasseraustritten der Rheinauen. Hier dringt zeitweise aus dem Untergrund ein auffallend blau gefärbtes Wasser nach oben, das dann den Anblick des Gewässers prägt und 1985 mit ein Grund für die Einrichtung eines Naturschutzgebietes war. Die Lage des Vorkommens ist in den Abb. 1a und 1b dargestellt. Die hydrologischen und biologischen Verhältnisse des Gewässers wurden seinerzeit von B. GERKEN, K. WESTERMANN, A. BOGENRIEDER und W. KRAUSE beschrieben und damit seine Schutzwürdigkeit begründet. Eine kurze Darstellung des Naturschutzgebietes durch B. KOCH findet sich auch in dem Werk „Die Naturschutzgebiete im Regierungsbezirk Freiburg“ (1998, S. 218-220). Weitere Beschreibungen des „Quelltopfs Burkheim“ mit Angaben zur Wasserflora finden sich bei K. & S. WESTERMANN (1998). Eine ähnliche Färbung des Wassers kommt auch im Waldweiher in der Rheinaue nördlich von Breisach vor.

2. Die Farbphänomene

Bei Besuchen im Laufe vieler Jahre zeigte sich blaugrün gefärbtes Wasser an zwei bevorzugten Stellen: Von der an der Straße zur Kläranlage stehenden Bank her gesehen, liegt die erste etwa 20 bis 25 Meter südwärts (die „Hauptquelle“, Abb. 1b und 2). Ein zweiter Austritt (das „Auge“) liegt nur wenige Meter von der Bank entfernt (Abb. 1b und 3). Gewöhnlich ist dort das gefärbte Wasser nur über einer etwa vier Quadratmeter großen, sandigen Fläche zu sehen; sie ist von üppigem Algenbewuchs umrahmt. Gelegentlich tritt aber im Abflussbereich unterhalb des „Auges“ eine farbige Strähne getrübten Wassers aus; sie



a



b

Abb. 1a: Lageskizze des Untersuchungsgebietes. Sternchen: Entnahmestellen der Analysenproben.
Fig. 1a: *Location of the study area. Asterisks: Sampling places.*
Abb. 1b: Lageskizze der Quellaustritte im Rappennestgießen nach Unterlagen der AG Limnologie Oberrhein. Lange Bildkante etwa 120 m. Die gestrichelte Linie stellt die vermutete Lage des Ufers vor der Rheinkorrektion dar.
Fig. 1b: *Sketch map of the sources in the Rappennestgießen after documents from the Working Group Upper Rhine Limnology. N-S length about 120 m. Dashed lines indicate the supposed position of the Rhine banks prior to the correction in the 19th century.*

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

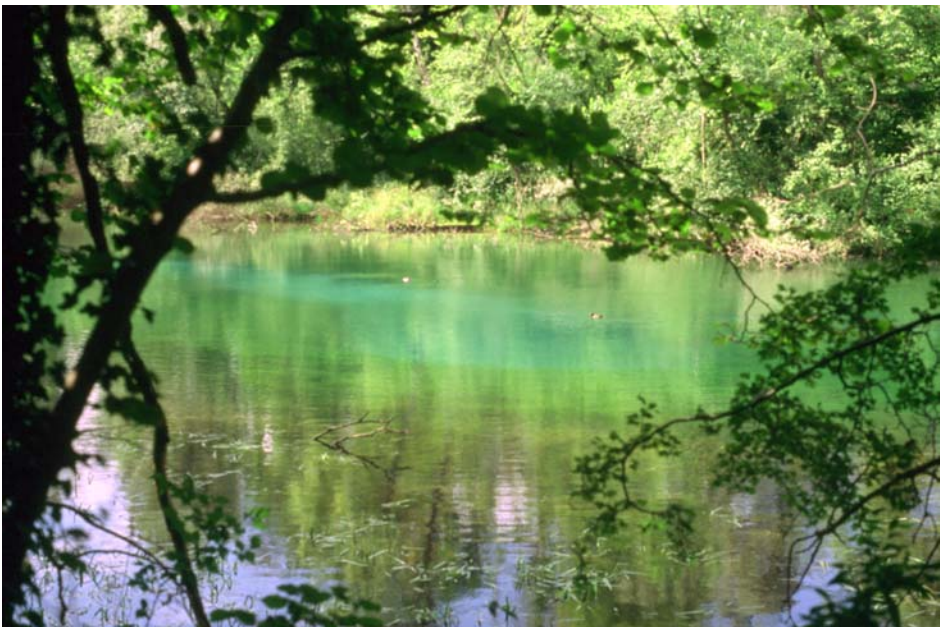


Abb. 2: Blick auf den Quelltopf mit farbig erscheinender Trübung am Austritt der Hauptquelle, Sommer 2007.
Fig. 2: *View on the source basin with coloured turbidity at the issue of the main source, summer 2007.*

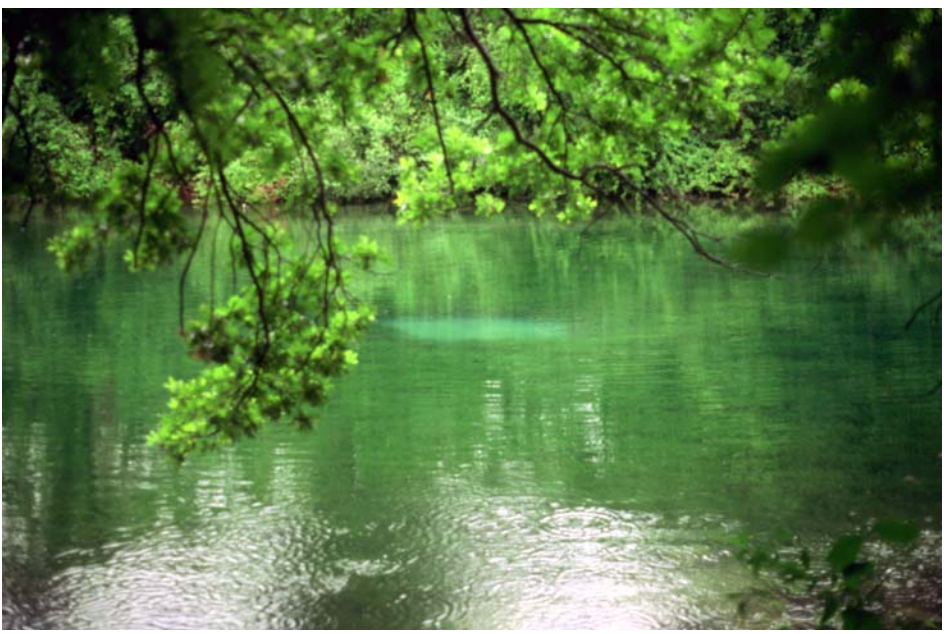


Abb. 3: Das „Auge“ im Sommer 2007.
Fig. 3: *The „eye“, summer 2007.*

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

Abb. 4: Strähne getrübten Wassers im Abflussbereich unterhalb des „Auges“, April 2008.
Fig. 4: *Strand of turbid water downstream of the „eye“, April 2008.*

kann sich über 15 bis 20 Meter Länge flussabwärts ziehen und schwächt sich dann bis zum völligen Verschwinden ab (Abb. 4). Solche Strähnen zeigen besonders deutlich die *beständige Nachlieferung des trübenden Mediums* aus den aufsteigenden Quellen an. Unter dem weitere 50 Meter flussabwärts liegenden Steg sind keine Farberscheinungen mehr sichtbar; das klare Wasser des Gießens fließt dort mit einer Geschwindigkeit von etwa 1 m pro Sekunde ab. Ein weiterer, auch schon von WESTERMANN & WESTERMANN (1998) beobachteter, schwächerer Quellaustritt liegt in dem namenlosen Gießen, der von Südosten her in den größeren Quelltopf mündet. Die Erscheinungen an allen Quellaustritten treten unregelmäßig, aber bevorzugt in den wärmeren Jahreszeiten auf; sie sind bei Sonnenlicht am besten sichtbar; darüber hinaus ist indessen keine Abhängigkeit von meteorologischen Bedingungen erkennbar. Bei Hochwasser des Rheins und der Gießen ist nach mündlicher Mitteilung von Herrn P. Munzinger (AG Limnologie Oberrhein) die Aktivität der Quellaustritte stark abgeschwächt; die Farberscheinungen fehlen dann. Zu anderen Zeiten ist die Blaufärbung des Wassers auf die bodennächste Schicht der Quellbereiche beschränkt, wo das Fehlen dichteren Algenbewuchses den hellen, sandigen Untergrund durchscheinen lässt. Dies gilt auch für die Verhältnisse in dem kleinen Weiher bei R3494850/H5329850. Es ist noch offen, wie weit hier Populationen von Cyanobakterien allein eine ganz ähnliche, farbige Trübung des Wassers bewirken können. Für die Erscheinung der bewegten, ständig sich erneuernden Strähnen des farbigen Wassers im oben genannten Quelltopf kommt aber diese stationäre Vegetation nicht in Betracht.

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

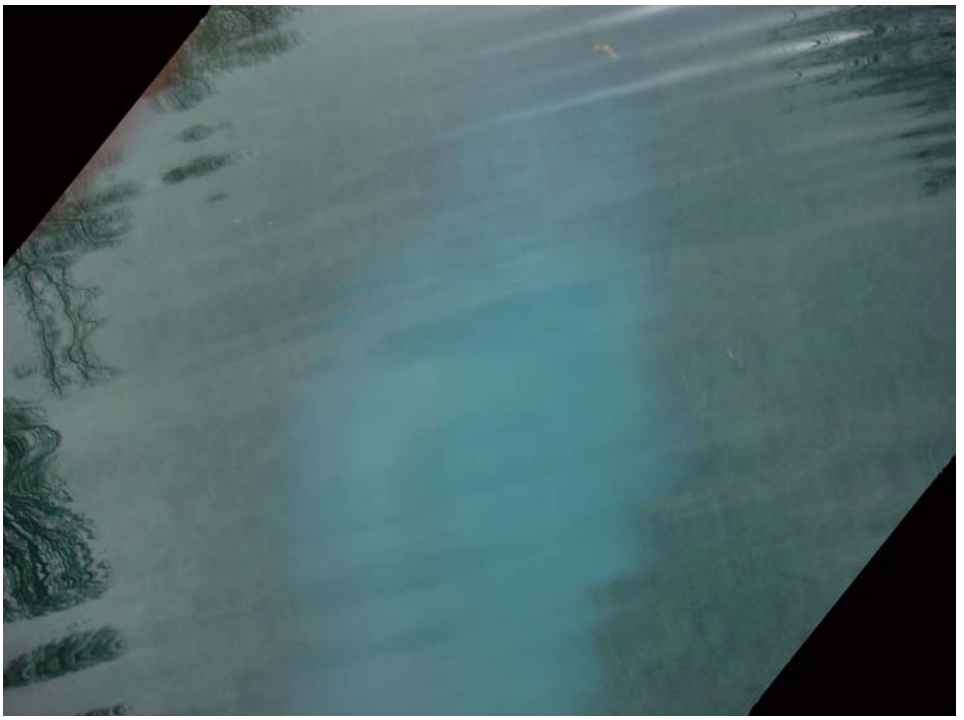


Abb. 5: Gipfel der Trübungs-„Wolke“ über der Hauptquelle, aus etwa 1,5 m Entfernung aufgenommen. Foto F. Lamparski.
Fig. 5: *Top of the turbidity “cloud” above the main source. Photo F. Lamparski.*

Der zu Zeiten sehr deutliche *blaue Farbton* des zusetzenden Wassers zeigt die ersten Stadien der Ausfällung des Calcits sichtbar an. Es tritt eine spezielle *Lichtstreuung* an den zunächst noch sehr kleinen Partikeln ein (*Rayleigh-Streuung* an Teilchen, deren Durchmesser klein gegenüber der Wellenlänge des Lichtes ist) (Abb. 5). Diese Deutung des blauen Farbanteils entspricht dem von WETZEL (1983) mitgeteilten Befund, dass in Seen mit sehr hartem, an Calciumkarbonat gesättigtem Wasser eine solche Streuung von sehr kleinen, „kolloidalen“ $CaCO_3$-Partikelchen bewirkt wird. Mit zunehmender Größe der Teilchen erzeugen diese dann eine „normale“ Trübung, die sich dem Effekt der Rayleigh-Streuung überlagert. Die als Einzelne farblosen, in der Menge aber als weiße „Wolke“ wirkenden Calcitpartikel reflektieren nunmehr das Tageslicht; es erreicht den Beobachter an dem niedrigen Ufer auf mehreren Metern Weg durch Wasser und erst danach durch die Luft. Die grüne Farbe dieses Lichtes ist Folge der Absorption und Lichtstreuung im Wasser auf dieser Strecke. Es gelten dabei die in der physikalischen Literatur (z. B. JOSEPH 1955, MÜTZE et al. 1972) dargestellten Gesetzmäßigkeiten für Gewässerfarben. In Abb. 6 sind diesbezügliche Kurven der Lichtextinktion in reinem Wasser bei verschiedenen Weglängen gezeigt; sie begründen die dann vor hellem Hintergrund (der Calcit-„Wolke“) eintretende, wellenlängenabhängige Extinktion und damit den Farbeindruck. Im weiteren Kristallisationsverlauf sinken die schwerer werdenden Teilchen zum Boden des Gewässers und die Trübung verschwindet. Der Vorgang vollzieht sich nach dem Augenschein innerhalb einiger Minuten; im Verlauf der oben genannten Strähnen sind die Erscheinungen nach wenigen Zehnern Metern Fließweges verschwunden.

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

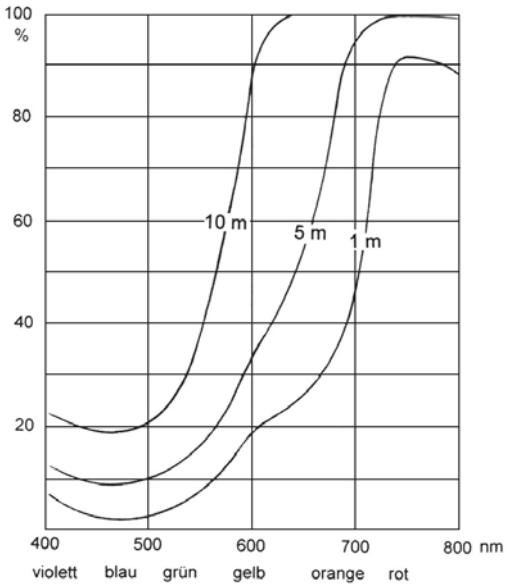


Abb. 6: Extinktionskurven des reinen Wassers nach 1 m, 5 m und 10 m Weglänge in %. Die Extinktion ergibt sich aus der Abschwächung der Lichtstärke durch Absorption und Streuung. Die 1 m-Kurve basiert auf dem Mittel der von JOSEPH (1952) angegebenen, gemessenen Werte; die 5 m- und 10 m-Kurven sind berechnet.

Fig. 6: *Extinction curves of light (in %) at 1 m, 5 m and 10 m of pure water. The extinction results from the attenuation of the intensity by absorption and dispersion. The 1 m-curve is based on the average of JOSEPH's (1952) measured values; the 5 m and 10 m curves are calculated.*

3. Sedimente, Trübungen und Schwebstoffe in Gewässern der Rheinaue

3.1 Sedimente

Im November und Dezember 2008 nahm Herr E. BOHN (AG Limnologie Oberrhein) je eine Probe des sandigen Sedimentes und des „Schlamms" im Bereich der Hauptquelle in gut 4 m Tiefe am Grunde des Quelltopfes bei Burkheim. Zur Zeit der Probenahme wurde infolge des Aufdringens von Quellwasser der Sand beständig bis zu etwa 20 cm hoch aufgewirbelt und wieder abgelagert. Er besteht hauptsächlich aus Calcit-Einzelkristallen und Aggregaten von solchen, Schneckengehäusen, deren Bruchstücken sowie wenig Quarz (Abb. 8 -10). Die Calcitkristalle sind meist nicht scharfkantig, sondern durch die ständige Bewegung im Wasser angerundet. Nach Behandlung des Sedimentes mit verdünnter HCl verbleiben die mineralischen Hauptkomponenten des Rheinsandes: Quarz, Feldspat und Hellglimmer, sowie, in geringer Menge, Kieselskelette von Diatomeen. Die Probe des feiner körnigen Sedimentes besteht ebenfalls hauptsächlich aus Calcitaggregaten, an denen gelegentlich Wachstumsformen des Minerals mit bis zu 0,5 mm Größe vorkommen. Bruchstücke von Muschelschalen und Schneckengehäusen sowie Gehäuse von Köcherfliegenlarven sind hier ebenfalls beteiligt. Dünne, von Calcit überzogene Pflanzenstengel erinnern an die in gleicher Weise beschichteten Kolonien von *Chara hispida* in dem gleichen Gewässer. Weiße Kalkausscheidungen haben sich auch an Zweigen von Sträuchern, die von oben in das Wasser herabhängen (Abb. 7) sowie an größeren, verzweigt wachsenden Algen gebildet.

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

Abb. 7: Calcitausscheidung an Zweigen, die zeitweise ins Wasser reichen. Aufnahme Januar 2012.
Fig. 7: *Calcite precipitation on branches which temporarily are immersed in the water.*

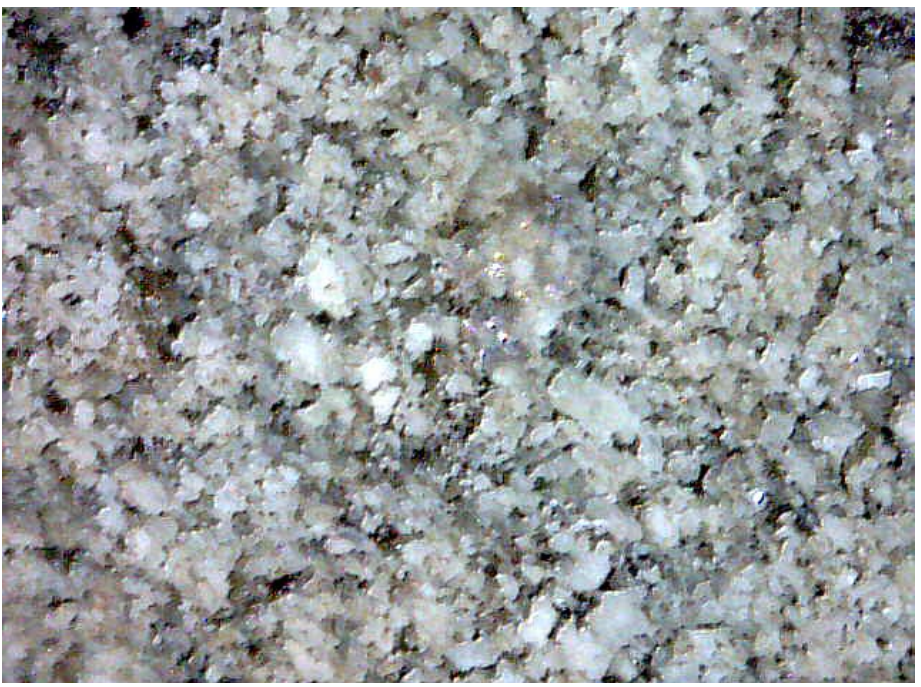


Abb. 8: Sand an der Hauptquelle, hauptsächlich bis zu 0,5 mm große Kristallaggregate von Calcit.
Fig. 8: *Sand from the main source, essentially aggregates of calcite crystals of up to 0,5 mm size.*

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

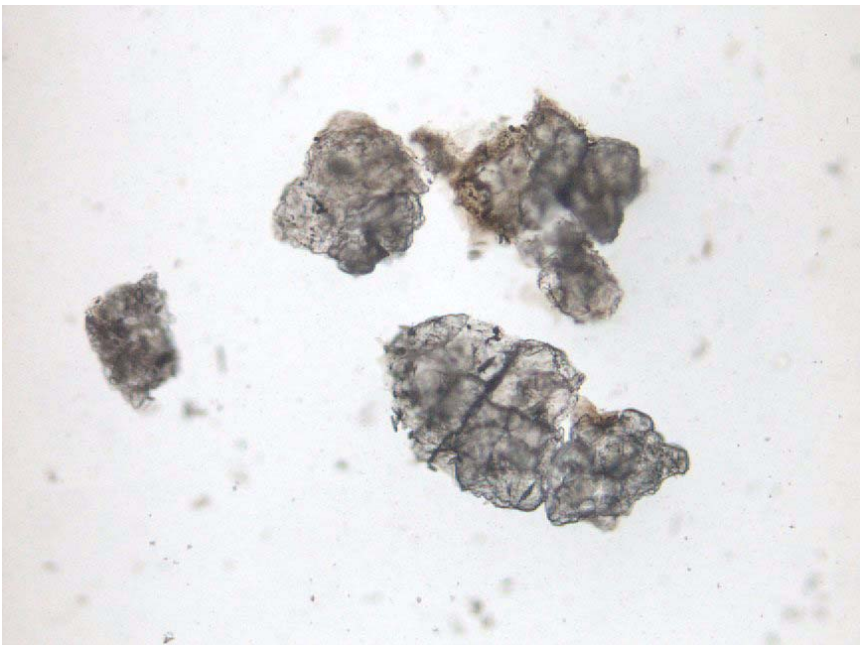


Abb. 9: Calcit-Kristallaggregate aus dem Sand an der Hauptquelle. Lange Bildkante 1,4 mm.
Fig. 9: *Aggregates of calcite crystals from the main source. Long edge of the figure 1,4 mm.*

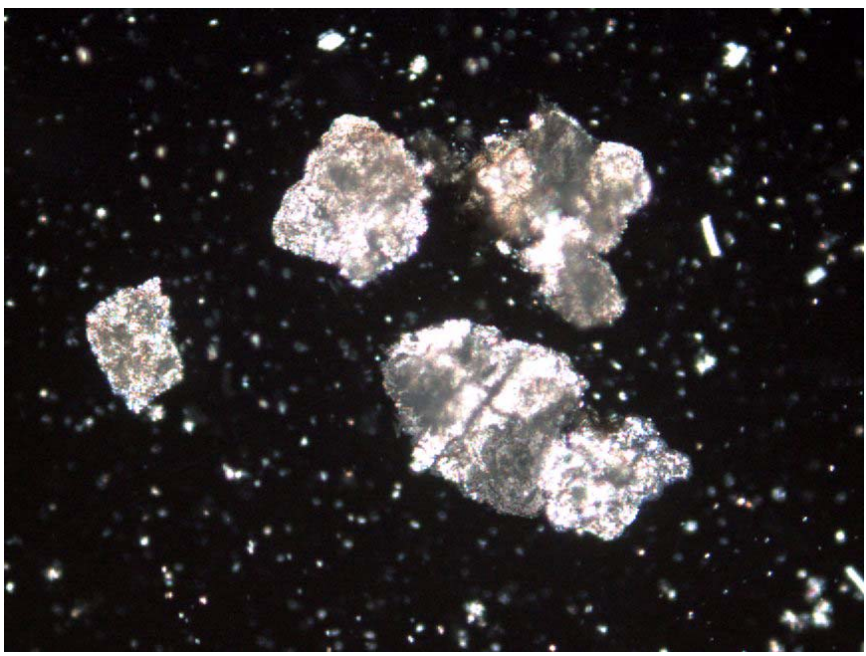


Abb. 10: Dieselben Objekte wie in Abb. 9 bei gekreuzten Polarisatoren.
Fig. 10: *The same objects as in fig. 9, crossed polarizers.*

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

Am 23.2.11 wurde auch von dem schlammigen *Sediment*, das am ufernahen Grund schon bei geringer Bewegung des Wassers aufgewirbelt wird, ein Probe entnommen; sie stammt aus einem Bereich, über den gelegentlich die „Strähne“ grün erscheinender Trübe hinzieht und sedimentiert. Unter Wasser wirkt dieser Schlamm, wo er den Boden ganz überdeckt, ziemlich dunkel. Die Probe lieferte über Nacht einen reichlichen Niederschlag; indessen hielt sich aber in dem darüber stehenden Wasser auch dann noch eine sehr stabile Trübung, die, vor dunklem Hintergrund beleuchtet, den bekannten Tyndalleffekt erzeugt. Das Sediment zeigt sich im mikroskopischen Bild als Ansammlung größerer und kleinerer Flokken organischer Substanz, die teils farblos, in größeren Partikeln auch bräunlich ist. An ihnen kleben viele Partikel von Calcit verschiedenster Größe und Gestalt, darunter auch die von der Sandprobe aus dem engeren Quellbereich beschriebenen Einzelkristalle und Aggregate. Reichlich sind auch eckige Quarzkörner von bis zu 0,1 mm Größe vorhanden. Die Substanz der stabileren Trübung lässt nach Verdampfen des Wassers außer einigen organischen Flöckchen viele, nur µm-kleine Calcit-Einzelkörner erkennen.

Zum Vergleich mit diesen Calcit-dominierten Sedimenten des Quelltopfes Burkheim sind Sandproben, die von E. Bohn im Dezember 2008 im *Amerikaloch* bei Weisweil genommen wurden, von besonderem Interesse. Hier dominieren die Hauptminerale der gewöhnlichen Rheinsande (Quarz, Feldspäte, Hellglimmer), Schneckengehäuse und Muschelschalen. In den Sedimenten des Amerikaloches kommt Calcit in Form von Gesteinsgeröllen und „dichten“ Aggregaten ohne Wachstumsformen vor. Eine Sandprobe aus einer Schlute im *Großkopfwald* bei Weisweil enthält neben den Hauptkomponenten des Rheinsandes viele Calcitaggregate, die denen aus dem Quelltopf Burkheim ähnlich sind, aber nicht die ausgeprägten Wachstumsformen aufweisen. In einem groben, geröllführenden Sand aus dem *Alten Rhein* bei Weisweil (nahe der Brücke) sind ebenfalls Calcitaggregate vorhanden, deren „indifferente“ Gestalt keinen direkten Schluss auf ihre Bildungsweise nahe legt. Die Erhaltung vieler Schalenreste von Schnecken und Muscheln in allen diesen Vergleichsproben verweist auf die hohen Karbonatgehalte dieser Gewässer.

3.2 Schwebstoffe und Trübungen

Die ersten Stadien der Calcitkristallisation im Wasser sind als „Wolken“ von Schwebstoffen wahrzunehmen. Es war deshalb erwünscht, von so getrübtem Wasser und seinem mineralischen Inhalt authentische Proben zu bekommen, was nur vom Boot aus geschehen konnte. Eine solche Beprobung wurde dankenswerter Weise am 18.3.2011 von Herrn Prof. Dr. F. LAMPARSKI durchgeführt. Fünf Wasserproben wurden durch stufenweises Versenken einer Zweiliterflasche in die sichtbar getrübten, blaugrün reflektierenden Wasserkörper gewonnen. Die darin enthaltenen Schwebstoffe setzten sich nach wenigen Stunden so weit ab, dass das überstehende Wasser völlig klar wurde. Die Niederschläge wurden durch vorsichtiges Dekantieren der Hauptmenge des Wassers angereichert und am Grund eines nach unten spitz zulaufenden Glasgefäßes erneut sedimentiert. Dort konnten sie leicht mittels einer Pipette für die weitere Untersuchung entnommen werden.

Die erste Stufe der mikroskopischen Untersuchung erfolgte noch im zugehörigen Wasser. Dort erscheint der Niederschlag als *lockere Aggregate* von *Calcit* und *Kieselalgen*, die durch Partikel einer *organischen Substanz* zusammengehalten werden. An größeren Körpern dieser Substanz sind Relikte von pflanzlichen Strukturen erkennbar; meist sind es aber gleichsam formlose Flocken, die zwar oft bräunlich pigmentiert sind, aber weder in Wasser noch in Immersionsöl deutliche Konturen zeigen. An ihnen haften viele mineralische Parti-

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

kel, die sich je nach Einbettungsmittel auch deutlich identifizieren lassen. Unter ihnen spielt Quarz, der ja ein Hauptmineral des umgebenden und unterlagernden Rheinsandes ist, nur eine sehr geringe Rolle. Es dominiert vielmehr *Calcit* in Gestalt von bis zu 0,015 mm großen Einzelkristallen und vielen Aggregaten von solchen. Die Kristalle sind indessen meist nur unvollkommen ausgebildet; Rhomboeder- und andere definierbare Formen kommen zwar vor, sind aber eher selten. Kristalle solcher Größen und viele kleinere (bis hinunter zur Grenze der mikroskopischen Sichtbarkeit) belegen mehr oder weniger dicht die organischen Flocken. Sie beherrschen von diesen Positionen aus die optische Erscheinung der Präparate im auffallenden und durchfallenden Licht. Die Befunde bestätigen die Vorstellung, dass in den Quelltöpfen des Rappennestbereiches beständig die Neukristallisation von Calcit aus $CaCO_3$-übersättigtem Wasser stattfindet. An der weißen Reflexion der Trübung beteiligen sich auch die Kieselskelette von Algen, die mit den Calciten größtenteils ebenfalls an den organischen Flocken haften. Unter den nach der Säurebehandlung noch vorhandenen Komponenten der Trübung befinden sich bis zu 0,05 µm große Aggregate einer organischen Substanz mit niedriger Licht- und Doppelbrechung. Sie schmilzt bei geringem Erhitzen auf dem Objektträger und verwandelt sich dabei in ein isotropes, dunkelbraunes bis opakes Medium.

Zur vergleichenden Untersuchung der Schwebstoffe in Wasser anderer Provenienz wurden am *nördlichen Ende des Rappennestgießens*, in 550 m Entfernung von den zuvor beschriebenen Fundorten, nahe der Oberfläche etwa 1,5 Liter ebenfalls trübe erscheinenden Wassers entnommen. Die darin über Nacht sedimentierten Partikel konnten durch vorsichtiges Dekantieren des Wassers angereichert und danach durch schonendes Verdampfen des Wassers in den trockenen Zustand gebracht werden. Das Konzentrat zeigt dann eine helle Sandfarbe; unter dem Mikroskop reflektiert bei auffallendem Licht ein großer Teil der Substanz farblos-weiß; größere Aggregate zeigen hell- bis dunkelbraune Farben. In Immersionsöl eingebettet und im durchfallenden Licht ist zu erkennen, dass die Trübe hauptsächlich aus Aggregaten besteht, von denen größere deutlich pflanzliche Zell- oder andere Gewebsstrukturen erkennen lassen. Im Übrigen dominieren verschieden große Flocken organischer Substanz, an denen viele mineralische Partikel im Größenbereich von 0,01 bis 0,05 mm haften; eckige Körner von Quarz sowie Einzelkörner oder Kornaggregate von Calcit sind gut identifizierbar. Die Trübung besteht demnach hauptsächlich aus organischen Partikeln, von denen die schwereren mineralischen Substanzen in dem am Fundort schwach bewegten Wasser gewissermaßen getragen werden.

4. Interpretation der mikroskopischen Befunde hinsichtlich der Farberscheinungen

Unter dem Mikroskop und in Wasser eingebettet, zeigen die Niederschläge aus den getrübten Wässern des Rappennest-Quelltopfes insgesamt eine helle, fast weiße Reflexion, eine Feststellung, die für die Begründung der dort wahrgenommenen Erscheinungen maßgeblich ist. Für den Anblick des Gewässers, in dem solche Schwebstoffe mit ihren mineralischen Belägen infolge der Wasserbewegung für einige Zeit suspendiert sind, erzeugt die helle Reflexion, aus einiger Entfernung betrachtet, den türkisfarbigen bis hellblauen Gesamteindruck. Er ist bedingt durch die *Extinktionsfarbe* des Wassers und die Strecke, die das Licht von dem getrübten Bereich her *noch unter Wasser* den Beobachter erreicht. Dafür genügen nach allen Erfahrungen bereits einige Meter Lichtweg; die Wahrnehmungen entsprechen insofern den Erwartungen.

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

Für die beobachteten Farberscheinungen ist indessen außer der reinen Absorption im Wasser auch eine im blauen Bereich zunehmende *Streuung* wirksam; sie vollzieht sich außer an den Wassermolekülen auch an Partikeln, deren Größen deutlich unter den Wellenlängen des blauen Lichtes liegen (Rayleigh-Streuung). Dass in den untersuchten Gewässern auch Calcitpartikel dieser Größe vorkommen, ist im Hinblick auf die beständige Erneuerung der Trübung plausibel. Es sind die ersten mineralischen Ausscheidungen des an Calciumkarbonat gesättigten Wassers. Von besonderem Interesse war deshalb in diesem Zusammenhang die Beobachtung, dass die blaue Streuungsfarbe des Wassers auch vom Boot aus, das heißt von oben und aus einer Entfernung von nur 1 bis 1,5 m deutlich zu sehen war (Abb. 5). In dieser Situation kann nicht die farbige Transparenz des Wassers relevant sein; diese und ganz besonders der grüne Farbton wird erst auf größeren Lichtwegen wirksam. Vielmehr kann die aus nächster Nähe gesehene Bläue nur durch die Rayleigh-Streuung an submikroskopischen Partikeln zustande kommen.

Der Anteil der *organischen Substanz* an der Lichtstreuung, die von den Trübungs-„Wolken“ ausgeht, ist als vergleichsweise gering einzuschätzen. Niedrige Lichtbrechung und damit geringe eigene Reflexion lassen ihre optische Wirkung gegenüber der, die von den mineralischen Partikeln ausgeht, zurücktreten. Die Funktion der organischen Anteile in den Trübungswolken besteht vielmehr darin, dass sie jene trägt und, nach Maßgabe der gegebenen Größen und Gewichte, über längere oder kürzere Zeit in der Schwebe hält und dem Licht darbietet.

5. Mineralische Komponenten der Quellsedimente in Gehäusen von Köcherfliegenlarven

Außer den verschiedenen, schon oben angesprochenen mineralischen und organischen Komponenten der Quellsedimente enthalten diese auch Muschelschalen und Schneckengehäuse sowie *Gehäuse von Köcherfliegenlarven*, die wegen der an ihnen verwendeten, neugebildeten Calcitaggregate eine direkte Beziehung zu den frisch kristallisierten mineralischen Komponenten der Quellen haben. Im Laufe ihrer Entwicklung verlassen diese Larven das Wasser und begeben sich z. B. an herabhängenden Weidenzweigen an die Luft. An solchen konnten über einhundert, von geschlüpften Fliegen zurückgelassene, leere Gehäuse hinsichtlich ihrer mineralischen Komponenten durchmustert werden. Sie gehören, nach Größe und Gestalt beurteilt, der Art *Sericostoma personatum* an. An mehreren solcher Gehäuse sind *Aggregate von Calcitkristallen*, die denen an den Quellen neu gebildeten gleichen, die Hauptkomponenten (Abb. 11). Andere Gehäuse bestehen zum großen Teil aus Kieselskeletten von Algen, die sich mit ihren von Natur aus gekrümmten, schlauchartigen Formen offenbar gut der Gesamtform des Gehäuses anfügen; sie sind oft, zu „Gürteln“ gebündelt, um die röhrenartigen Gehäuse angeordnet. Sie können der Art *Ellerbeckia arenaria* (früher auch *Melosira arenaria*) zugeordnet werden (Abb. 12). Auch Fragmente von Muschelschalen und Schneckengehäusen kommen trotz ihrer relativen „Sperrigkeit“ mit Größen bis zu knapp 1 mm an einigen Gehäusen mehrfach vor. Bei Weitem am häufigsten sind Gehäuse, die hauptsächlich aus Quarz- und Quarzitkörnern von bis zu 0,3 mm Größe zusammengesetzt sind; seltener sind auch Bruchstücke von Feldspäten. Neben diesen aus dem gewöhnlichen Rheinsand herzuleitenden Mineralen kommen an einigen Stücken auch wenige Körner eines dunklen Minerals vor, das als Augit, also eine aus dem Kaiserstuhl

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

Abb. 11: Gehäuse einer Köcherfliegenlarve, vorwiegend aus Calcitaggregaten bestehend. Lange Bildkante 6 mm. Foto E. Bohn.
Fig. 11: *Case of a Trichoptera larva, consisting mainly of calcite aggregates. Long edge of the figure 6 mm. Photo E. Bohn.*

stammende Komponente, identifiziert werden konnte (Abb. 13). Die Befunde zeigen, dass die Larven beim Sammeln der Minerale für ihre Gehäuse offenbar aus dem gemischten Angebot durchaus nicht immer die häufigsten, sondern nur ganz bestimmte auswählen. Wenn sich an *einem* Gehäuse die Art der „Bausteine“ mit dem Wachstum verändert, kann dies mit einem Wechsel des Habitats des betreffenden Individuums zusammenhängen; anders müsste das Tier im Verlauf des Köcherbaus verschiedenartige Partikel aus dem Angebot gewählt haben.

6. Chemismus und Herkunft der Wässer des Quelltopfes Burkheim

6.1 Chemismus

Am 19. September 2009 wurden von Prof. Dr. W. KÄSS und Herrn E. BOHN (als Taucher) vier Wasserproben zur Beschaffenheitsuntersuchung entnommen. Tabelle 1 zeigt die wichtigsten dabei gefundenen Merkmale. Die Probenahmen 1 - 3 wurden mit einer Kleinst-Tauchmotorpumpe Marke COMET durchgeführt. Die Rheinwasserprobe wurde geschöpft. Die Analysenproben wurden an einem spätsommerlich warmen Tag mit mäßiger Aktivität

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

Abb. 12: Gehäuse einer Köcherfliegenlarve vorwiegend aus Kieselskeletten der Alge *Ellerbeckia arenaria*. Lange Bildkante 6 mm. Foto E. Bohn.

Fig. 12: *Case of a Trichoptera larva, predominantly silicious skeletons of the alga Ellerbeckia arenaria. Long edge of the figure 6 mm. Foto E. Bohn.*

Abb. 13: Gehäuse einer Köcherfliegenlarve; vorwiegend Quarz und Quarzit, daneben Feldspäte und Augit (dunkel). Lange Bildkante 6 mm. Foto E. Bohn.

Fig. 13: *Case of a Trichoptera larva, predominantly Quartz and Quartzite, some feldspars and augite grains (dark). Long edge of the figure 6 mm. Photo E. Bohn.*

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

Tab. 1: Analysen von Wässern des Untersuchungsgebietes, Proben vom 10.9.2009, ausgeführt von Prof. Dr. W. KÄß.- Gehalte in mg/Liter.

	1	2	3	4
Temperatur °C	13,8	14,6	14,2	17,2
Leitfähigkeit µS/cm	1120	872	872	353
PH-Wert	6,8	7,5	7,5	6,4
Calcium	137	165	137	56
Magnesium	19,5	7,4	19,5	62
Natrium	25,7	25,4	24,8	17,2
Kalium	3,1	6,5	2,5	2,1
SiO_2	10	10	10	10
Chlorid	133	177	129	12,4
Nitrat	9,3	0	15,2	4,6
Sulfat	29	24	26	26
Hydrogenkarbonat	232	396	250	n.b.
CO_2	21	121	18	n.b.

1 Quelltopf, südliche Quelle
2 „Auge“, mit starkem H_2S-Geruch
3 Zufluss zum Quelltopf von Süden („Gießen“)
4 Rhein, rechtes Ufer

der Quellen, aber deutlichen Farberscheinungen genommen. Indessen zeigen die Analysen des Hauptquelltopfes und des Gießens Zustände nahe dem Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht an. Eine verstärkte Zufuhr von kalkgesättigtem Wasser aus dem Untergrund muss bei dieser Ausgangssituation zu der beobachteten Ausfällung von Calcit führen. Der für die Probe 3 („Gießen“) getroffenen Feststellung „abscheidend“ entsprechen die auch in diesem Gewässer vorkommenden Calcitbildungen im Quellsediment und an hereinhängenden Weidenzweigen. Bei der Entnahme des Wassers am „Auge“ fiel ein deutlicher Geruch von Schwefelwasserstoff auf. Auch bei der späteren Probenahme vom Boot aus wurde dieser Geruch wahrgenommen. Die nahe liegende Suche nach frisch ausgefälltem Schwefel in der Trübe fiel indessen negativ aus. Nitrat liegt hier unter der Nachweisgrenze. Bemerkenswert sind die ungewöhnlich hohen Chloridgehalte aller Quell- und Gießenwässer, was auf die weitreichende Chloridführung der Grundwässer im Abstrombereich der Abraumhalden des ehemaligen Kalisalzabbaus bei Buggingen und Heitersheim zurückzuführen ist.

Eine Probe wenig getrübten Wassers (Nr. 1 der Tabelle 2) wurde am 7.4.11 aus dem *Quelltopf*, nahe dem *„Auge“* entnommen. Das Wasser erschien an diesem Tage gut durchsichtig; im Bereich der Probenahme zeigte es sich über entfernteren, hellen Flächen des Untergrundes mit deutlich grüner Transparenz. Nach 24-stündigem Stehen der Wasserprobe hatte sich nur ein minimaler Niederschlag gebildet; er besteht aus Teilchen organischer Substanz mit anhängenden Calcit- und Quarzkörnchen, wie sie auch die Hauptmasse des jüngsten Bodensedimentes an dieser Stelle bilden.

Tab. 2: Analysen von Wässern aus dem Untersuchungsgebiet Rappennestgießen. Gehalte in mg/Liter. 1 - 14: GfU/GmbH, Ballrechten-Dottingen, 15: Gewerbliches Institut für Fragen des Umweltschutzes, Freiburg i. Br.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Temperatur °C	n.b.	12,2	10,5	10,4	10,3	10,3	13,1	12,3	12,0	11,7	11,6	13,3	12,6	12,2	9,9
Leitfähigkeit, µS/cm	744	790	795	800	801	884	761	788	797	794	793	783	791	794	502
pH-Wert	7,59	7,47	7,45	7,48	7,47	7,4	7,47	7,46	7,46	7,43	7,46	7,55	7,60	7,62	7,92
Calcium	120	120	120	120	120	120	110	110	120	120	120	110	110	120	11,7*
Magnesium	12	12	12	12	12	12	10	10	11	10	10	9,6	9,9	9,9	2,7*
Natrium	31	29	30	31	29	31	27	27	27	25	25	29	31	30	n.b.
Kalium	3,3	3,3	3,4	3,3	3,3	3,3	3,6	3,6	3,6	3,6	3,5	3,2	3,4	3,5	n.b.
Ammonium	0,039	0,01	u.N.	u.N.	0,010	0,01	<0,005	<0,005	<0,007	0,22	0,22	0,007	0,020	0,054	<0,03
SiO_2	7,5	7,4	7,6	7,8	7,8	7,9	9,5	9,6	10	11	11	8,8	9,6	9,6	n.b.
Chlorid	174	149	160	153	152	147	140	147	148	145	145	141	148	148	42,5
Nitrat	12	14	12	13	14	13	10	11	12	12	11	11	11	11	23,0
Sulfat	30	31	32	31	36	38	26	28	28	29	28	27	27	28	20,6
o-Phosphat	n.b.	<0,005	<0,005	<0,005	0,009	0,009	0,009	0,02	0,016	<0,005	0,015	0,022	0,022	0,025	0,06
Hydrogenkarbonat	195	199	196	201	205	205	170	180	190	190	190	190	200	190	n.b.
Kohlensäure	n.b.	8,38	10,03	10,98	10,68	10,56	10,36	10,82	11,55	11,71	11,57	9,81	8,89	7,71	4,4
O_2	n.b.	7,4	4,8	4,5	4,2	4,1	5,3	3,5	2,4	1,9	1,9	5,2	4,8	5,0	8,4
Gesamthärte	20	20	20	20	20	20	18	18	19	19	19	18	18	19	14,4
Karbonathärte	8,7	9,1	9,0	9,2	9,4	9,4	8,0	8,1	8,5	8,6	8,8	8,6	9,0	8,7	9,0
Calcitlösevermögen	n.b.	-23	-16	-16	-18	-19	-6,4	-5,2	-9,9	-8,1	-11	-14	-18	-21	n.b.
TOC	n.b.	2,6	1,4	1,4	1,3	1,2	4,9	4,9	5,0	4,5	4,3	5,0	5,2	3,9	n.b.
TNb	n.b.	4,7	4,3	4,6	4,4	4,6	2,7	3,1	3,0	3,3	3,4	2,7	3,2	3,3	n.b.
Permanganat-Index	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	1,4	1,2	1,2	0,89	0,89	0,53	0,71	1,1	2,8
Trübung (FNU)	0,56	0,26	0,22	0,21	0,43	0,27	0,13	0,14	0,13	0,36	0,51	0,20	0,19	0,23	n.b.

1 Probe Nr. 47798 farbloses Wasser, Oberfläche, 7.4.11
2 “ 47920 farbl. W., Oberfläche, 7.5.11
3 “ 47921 “ Tiefe 1 m, 7.5.11
4 “ 47922 “ , Tiefe 2 m, 7.5.11
5 “ 47923 “ , Tiefe 3 m, 7.5.11
6 “ 47924 “ , Tiefe 3,85 m, 7.5.11
7 “ 48405 blaues Wasser, Oberfläche, 16.7.11
8 “ 48406 “ , Tiefe 1 m, 16.7.11
9 Probe Nr. 48407 blaues Wasser, Tiefe 2 m, 16.7.11
10 Probe Nr. 48408 “ , Tiefe 3 m, 16.7.11
11 “ 48409 “ , Tiefe 4 m,
12 “ 48410 farbloses Wasser, Oberfläche, 16.7.11
13 “ 48411 “ , Tiefe 1 m, 16.7.11
14 “ 48412 “ , Tiefe 2 m, Tiefe 2 m
15 “ Tiefbrunnen Faule Waag, 14.12.1989. Die mit * bezeichneten Werte sind Ca- bzw. Mg-Härte

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

Die weiteren Analysenproben der Tabelle 2, Nr. 2 bis 14, stammen von Entnahmen am 7.5. und 16.7.2011 durch C. SEIFRIED und B. PAUL; sie wurden im Laboratorium der Gesellschaft für Umweltanalytik GmbH in Ballrechten-Dottingen chemisch analysiert. Mit ihren Zusammensetzungen fügen sich die Wasserproben aus dem Bereich Rappennestgießen nur teilweise in die Variationsbreite der von WESTERMANN & WESTERMANN (1998, Tabelle 5) für Gewässer der Oberrheinniederung angegebenen hydrochemischen Parameter ein. Die zwischen 7,40 und 7,72 nur wenig variierenden *pH-Werte* unserer Proben liegen im unteren Bereich der von 7,2 bis 8,3 reichenden, in WESTERMANN'S Tabelle aufgeführten Werte. Mit ihren hohen, zwischen 18 und 20 liegenden Werten der *Gesamthärte* übertreffen die Wässer des Rappennest-Quelltopfes die von den genannten Autoren für die übrige Rheinniederung angegebenen (6,5 bis 16,3) ganz erheblich. Die **Karbonathärten** der Rappennestwässer schwanken zwischen 8,0 und 9,4, die der übrigen Rheinniederung zwischen 4,0 und 12,0, die *Leitfähigkeiten* zwischen 774 und 884 beziehungsweise 320 und 697. Alle Analysen unserer Tabelle 2 weisen ein stark negatives *Calcitlösevermögen* auf, das heißt, dass sie an Calciumkarbonat übersättigt sind und entsprechend die beobachtete Calcitausscheidung eintreten muss. Wo diese sichtbar begonnen hat („blaues Wasser" der Analysennummern 7 bis 11), ist die Übersättigung mit Werten zwischen -6,4 und -11 bereits niedriger als in den noch klaren Wässern (-14 bis -23 in den Nummern 1 bis 6 und 12 bis 14). Andere Besonderheiten der analysierten Wässer sind die erhöhten Gehalte an organischem Kohlenstoff (*TOC-Werte***)** der am 16.7.11 entnommenen Proben (7 bis 14) gegenüber denen vom 7.5.11 (Nummern 2 bis 6). Zugleich weisen diese letzteren höhere *TNb-Werte* als die vom 16.7.11 auf. Ob die im Mittel etwas niedrigeren Temperaturen bei der Probenahme im Mai gegenüber den höheren im Juli für diese Verhältnisse maßgeblich waren, kann angesichts der doch nur geringen Unterschiede nur vermutet werden. Die Herkunft der hohen *Chloridgehalte* (alle Analysen außer Nr. 15) ist bereits im ersten Absatz des Abschnittes 6.1 dieser Arbeit angesprochen worden. Offenbar hat das Wasser des Tiefbrunnens Faule Waag an der in den übrigen Analysen sichtbaren Kontamination im Abstrombereich der Salzhalden nicht teilgenommen; für den Weg des Grundwassers zum Rappennest-Quelltopfes bedeutet dies, dass er westlich des Wassers der Faulen Waag verlief und nicht, wie möglicherweise dieses, geradewegs von einem Zustrom von „Schwarzwaldwasser" um die Südwestecke des Kaiserstuhls herum herzuleiten ist. Ein vergleichbares Nebeneinander zweier Grundwasserströme unterschiedlicher Herkunft und mit verschiedenen Chloridgehalten hat bereits KRAUSE (1967) im rheinabwärts gelegenen Bereich Rust - Kappel dargestellt. Weitere, signifikante Beziehungen unserer Analysenwerte der übrigen Haupt- und Nebenkomponenten zu den Daten und Tiefen der Probenahmen lassen sich nicht erkennen. Vielmehr bestätigen die Analysen die Vermutung, dass, wenigstens zu Zeiten der Tätigkeit der Limnokrenen das Wasser des gesamten Quelltopfes fast ganz aus diesen Quellen stammt und dass dann selbständige, chemisch deutlich andersartige Zuflüsse keine wesentliche Rolle spielen.

6.2 Herkunft des Quellwassers

Auf Grund hydrologischer Überlegungen und chemischer Kriterien wurde schon lange angenommen, dass Grundwasser, vom Schwarzwald kommend, nahe der Südwestecke des Kaiserstuhls nach Norden abgelenkt wird und nach 8 km Lauf unter einer undurchlässigen Deckschicht erst im Bereich des Quelltopfes unter Druckentlastung wieder austritt. Diese Herkunft würde die sehr gleichmäßige, niedrige Temperatur des Quellwassers bedingen; seine Reinheit und Nährstoffarmut sind weitere, besondere Qualitäten. Indessen zeigen die hohen Chlorgehalte eine nahe Beziehung des Wassers zu dem allgemeinen Grundwasser-

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

strom in diesem Teil der Oberrheinebene deutlich an; nähere Angaben hierzu sind u.a. bei CHABEAUX et al. (2002) zu finden. Eine mögliche Unterbrechung dieses Stromes durch die flussaufwärts liegende, tiefe Kiesgrube scheint sich auf die Wasserbeschaffenheit nicht auszuwirken (s. Karte Abb. 1a). Ein Beitrag von unterirdisch zusetzendem Wasser aus dem Kaiserstuhl ist nicht nachweisbar.

Danksagungen

Frau Prof. Dr. O. Wilmanns hat den Verfasser W. W. erstmals über das Farbphänomen informiert. Herr Prof. Dr. W. Käss hat dankenswerter Weise vier Wasseranalysen zur Verfügung gestellt. Besonderer Dank gilt Herrn E. Bohn, Vorsitzender der Arbeitsgemeinschaft Limnologie Oberrhein e. V. in Freiburg i. Br., für die Entnahme von Wasser- und Sedimentproben bei mehreren Tauchgängen sowie für die in Abb. 11 - 13 gezeigten Fotos. Weiter ist für Probenahmen vom Wasser aus Herrn Diplomgeograph B. Paul, Herrn Prof. Dr. F. Lamparski und Frau Dr. A. Kobel-Lamparski sehr zu danken.

Eingang des Manuskripts: 17. Juli 2012

Angeführte Schriften

Bauer, M., Eichinger, L., Elsass, P., Kloppmann, W, & Wirsing, G. (2005): Isotopic and hydrochemical studies of groundwater flow and salinity in the Southern Upper Rhine graben.- Internat. J. Earth Sci., **94**: 565-579, Berlin & Heidelberg.

Chabeaux, F., Durand, S., Schmitt, A.-D., Risacher, F. & Elsass, Ph. (2002): U-Sr isotope tracing of water-rocks interaction in aquifer: example of the pollution of the Rhine water table by salty waters.- Geochim. Cosmochim. Acta, **66** (Goldschmidt Conference vol.): 127, New York.

Joseph, J. (1952): Meeresoptik. In: Landolt-Börnstein: Zahlenwerte und Funktionen aus Physik, Chemie, Astronomie, Geophysik und Technik, **3**: 441-458, Heidelberg.

Käß, W. (2002): Woher kommt das Blau im Blautopf?- Laichinger Höhlenfreund, **37**: 98-100, Laichingen.

Koch, B. (1998): Rappennestgießen.- In: Die Naturschutzgebiete im Regierungsbezirk Freiburg. Hrsg. Regierungspräsidium Freiburg, bearbeitet von der Bezirksstelle für Naturschutz und Landschaftspflege Freiburg, 636 S., Sigmaringen (Thorbecke).

Krause, W. (1967): Zur Hydrographie der Rheinaue im nördlichen Kaiserstuhlvorland.- Arch. Hydrobiol., **63**: 433-476, Stuttgart.

Mütze, K., Foitzik, L., Krug, W. & Schreiber, G. (1972): Gewässerfarbe und Gewässeroptik. In: Lexikon der Optik: 325-327, Hanau (Dausien).

Westermann, K. & Westermann, S. (1998): Die Quellgewässer und ihre Vegetation in der südbadischen Oberrheinniederung.- Naturschutz südlicher Oberrhein, **2**:1-93.

Wetzel, R. G. (1983): Limnology.- XI+767 S., Philadelphia (Saunders).

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Berichte der naturforschenden Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau

Jahr/Year: 2012

Band/Volume: 102

Autor(en)/Author(s): Wimmenauer Wolfhard, Seifried Carola

Artikel/Article: Farben des Wassers durch Kalkausfällung in der Rheinaue bei Burkheim am Kaiserstuhl 93-110