

Ersterfassung der makrozoobenthischen Fauna von Kalktuffquellen im Eichsfeld (Thüringen)

ERIK ARNDT, SARAH MÜLLER, ANTJE EHRLE, HELKE GRÖGER-ARNDT, ARNE WILLENBERG & FRANZISKA DÖLL

Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurde Makrozoobenthos von 13 Kalktuffquellen an 10 Gewässern des Eichsfeldes (Nordwest-Thüringen) untersucht. Mit Ausnahme von zwei Limnokrenen (Tümpelquellen) und einer Helokrene (Sickerquelle) sind die untersuchten Standorte dem Quelltyp der Rheokrene (Sturzquelle) zuzuordnen. Die Probenahmen erfolgten jeweils zwischen April und Juli in den Jahren 2018/19. Es wurden insgesamt 96 Makroinvertebraten-Taxa nachgewiesen. Außerdem wurden Larven des Feuersalamanders in sechs Quellen gefunden. Die artenreichsten Gruppen sind die Diptera mit 27 sowie die Trichoptera mit 18 Arten bzw. Gattungen. *Gammarus pulex* ist die mit Abstand am häufigsten nachgewiesene Art und gleichzeitig die einzige, die in allen Quellen gefunden wurde. Mit sehr hoher Stetigkeit traten daneben *Micropterna nycterobia*, *Plectrocnemia conspersa*, *Tipula maxima* sowie *Crenobia alpina* auf. Insgesamt 29 Arten bzw. Gattungen sind als krenophil bzw. krenobiont einzustufen. Unter den nachgewiesenen Taxa befanden sich 20 Arten, die Anpassungen an temporär trockenfallende Gewässer besitzen. Möglicherweise profitierten diese Arten vom Trockenfallen einer Reihe von Rheokrenen infolge der geringen Niederschläge im Untersuchungszeitraum. Außerdem fiel ein mosaikartiges Verteilungsmuster auf, d. h. eine hohe Zahl von Arten besiedelte jeweils nur eine oder zwei Einzelquellen, sodass benachbarte Quellen sich in der Artenzusammensetzung durchaus unterschieden.

Summary

First examination of the macrobenthic fauna of calcareous tufa springs in the Eichsfeld (Thuringia)

In the present work, the macrozoobenthos of 13 calcareous spring habitats from 10 different brooks were examined. With the exception of two limnocrenes and one helocrene, all of the examined springs were rheocrenes. The field sampling took place between April and July 2018/19. A total of 96 macrobenthic invertebrate

taxa were recorded. Additionally, larvae of *Salamandra salamandra* were found in six springs. The most species-rich groups were Diptera with 27 and Trichoptera with 18 species or genera respectively. *Gammarus pulex* was the most abundant species and the only one that we found at every site. *Micropterna nycterobia*, *Plectrocnemia conspersa*, *Tipula maxima* and *Crenobia alpina* were also present at a large proportion of sites. Altogether, 29 of the species or genera captured were considered typical spring inhabitants (crenophilic and crenobiont taxa). We recorded 20 species adapted to intermittent dry stream beds. Possibly, these species benefited from the drying out of several rheocrenes due to the low precipitation in the period of investigation. Furthermore, we recognized a mosaic-like distribution pattern of species, i.e. a large number of species occurred only in one or two springs, leading to different species communities in neighbouring springs.

Key words: Rheocrenes, crenophilic Trichoptera, Diptera, *Crenobia alpina*, *Niphargus schellenbergi*

Einleitung

Quellen sind Übergänge (Ökotone) zwischen Grund- und Oberflächenwasser wie auch zwischen aquatischen und terrestrischen Lebensräumen. Quellen zeichnen sich durch weitgehend konstante Lebensbedingungen aus. Die Wassertemperatur von Quellen mit großen, porösen Grundwasserleitern schwankt nur geringfügig um den Jahresdurchschnitt des Einzugsgebietes (MARTIN et al. 2015, SCHÖNBORN 2003), sie sind deshalb als „sommerkalt“ und „winterwarm“ zu bezeichnen. Quellen bilden einzigartige Lebensräume für eine charakteristische Flora und für kaltsteno- tope Makroinvertebraten (FISCHER et al. 1998). Die Makrofauna der Quellen wird von zahlreichen Faktoren beeinflusst, von welchen die Hydrologie, die Substratkomposition, physiko-chemische Parameter, die Artengemeinschaften der angrenzenden Grundwasser- und Rhithralbe-

reiche sowie die direkte Quellumgebung, d. h. gegebenenfalls Beschattung und Laubeintrag durch umstehende Vegetation, die wichtigsten sind (HAHN 2000, ORENDT 2000, ILMONEN & PAASIVIRTA 2005, MARTIN et al. 2015).

In Mitteleuropa sind Quellen in der Regel kleinräumige Habitate, was sie besonders sensibel gegenüber anthropogenen Einflüssen, wie Einfassung, Trockenlegung, Überbauung, Eutrophierung, Versauerung und Verschmutzung macht. Das Absinken des pH-Wertes wirkt sich beispielsweise gravierend auf die gesamte hier lebende Artengemeinschaft aus (REINHART & ORENDT 1997, SCHINDLER 2004).

Kalktuffquellen stellen hinsichtlich ihres Wasserchemismus und oft auch aufgrund ihres Erscheinungsbildes einen besonderen Quelltyp dar. Sie führen kalkhaltiges Wasser und zeigen in der Regel Kalkausfällungen im Hypokrenal, dem Übergang vom Quellbereich im engeren Sinn zum abfließenden Bach. Das Hypokrenal ist deshalb häufig von kalkverkrusteten Moosüberzügen gekennzeichnet (BfN 2012). Aufgrund ihrer Seltenheit und Gefährdung sind Kalktuffquellen im Anhang I der FFH-Richtlinie als prioritär zu schützender Lebensraumtyp aufgelistet (Code: 7220*; EU 1992).

An ihre Bewohner stellen Kalktuffquellen spezielle Anforderungen, da z. B. Kalkablagerungen auf den grünen Pflanzenteilen die Photosynthese behindern. Die Versiegelung des Interstitials erschwert die Besiedelung der Quellen durch Makroinvertebraten. Kalkablagerungen auf Körperteilen der Makroinvertebraten beeinflussen deren Ernährung und Atmung. So weisen einzelne Untersuchungen auf verringerte Abundanzen und absolute Taxazahlen von Makroinvertebraten im Vergleich zu Quellen ohne Kalkablagerungen hin. Dies betrifft bspw. die Limnephilidae und die Coleoptera (ZOLLHÖFER 1997, MARTIN & WISCHNIOWSKY 2014).

Trotz der naturschutzfachlichen und ökologischen Bedeutung ist die Zahl von Publikationen über die Fauna der Kalktuffquellen in Deutschland überschaubar. Vereinzelt Untersuchungen, oft nur als kurze Zusammenfassung publiziert, liegen aus Schleswig-Holstein (MARTIN & RÜCKERT 2011, BÜSCHER & MARTIN 2016), von Rügen (IRMSCHER 2003), den Kalk-Alpen (ORENDT 2000, GERECKE et al. 2009), der Frankenalb (FOECKLER et al. 2007, RUMM et al. 2011) und aus Rheinland-Pfalz (SCHINDLER 2007) vor.

BÖSSNECK & REUM (2003) sowie REISS & ZANKER (2007) publizierten Ergebnisse zu einzelnen Taxa in Kalktuffquellen der Rhön, mit Teilgebieten in Thüringen. Die eigentlichen Schwerpunktgebiete der Kalktuffquellen im Nordwesten von Thüringen sind jedoch noch gänzlich unerforscht.

Unsere Arbeit hat daher folgende Zielstellungen: (A) Es werden die Ergebnisse der Ersterfassung von Makrozoobenthos in Kalktuffquellen des Eichsfeldes vorgestellt. Dabei soll (B) herausgearbeitet werden, welche quelltypischen Arten gefunden wurden. Die der Publikation zugrundeliegende Feldarbeit wurde in den Jahren 2018 und 2019 bei überwiegend extremer Trockenheit durchgeführt. Durch sinkende Grundwasserstände fiel die oberste Quelle mancher Bäche trocken und nachfolgende Beprobungen konnten lediglich an Sekundärquellen weiter unten im Bachbett durchgeführt werden. Daher wird (C) untersucht, ob sich unter den häufigen Makroinvertebraten auch solche mit Anpassung an zeitweilige Austrocknung befanden.

Untersuchungsgebiet und Quellstandorte

Allgemeine Charakteristik des Untersuchungsgebietes

Die im Rahmen dieser Arbeit untersuchten Quellgewässer befinden sich im Thüringer Landkreis Eichsfeld (Abb. 1). Das Eichsfeld liegt im Nordwesten Thüringens und ist Teil der beiden Naturräume Buntsandstein-Hügelländer sowie Muschelkalk-Platten und -Bergländer. Alle untersuchten Quellen befinden sich im Naturraum Muschelkalk-Platten und -Bergländer. Typischerweise bilden sich Kalktuffquellen im Grenzbereich zwischen Unterem Muschelkalk und dem darunterliegenden Oberen Buntsandstein aus (JORDAN & WEDER 1995).

Das Eichsfeld zeichnet sich im Vergleich zu Thüringen insgesamt durch ein bei West- und Nordwestwetterlagen feuchtes Klima aus. Der Landkreis befindet sich vorwiegend in einer Luvlage, was sich auf die exponierten Höhenzüge des Mackenröder Waldes, Ohmgebirges und nordwestlichen Hainichs zurückführen lässt. In den Jahren 2010–2019 lagen die Jahresniederschlagssummen im Untersuchungsgebiet zwischen 508 und 1470 mm (Durchschnitt 773 mm). Im gleichen Zeitraum betrug die Jahresdurchschnittstempe-

Abb. 1: Der Freistaat Thüringen mit dem Landkreis Eichsfeld im Nordwesten. Eingezeichnet sind die beiden Untersuchungsgebiete im Ohmgebirge sowie im Obereichsfeld südlich von Heilbad Heiligenstadt (Quelle der Grundkarte: TUBS/Alwexrk2, Creative Commons 3.0).



ratur 8,4 °C. Die Untersuchungsjahre 2018/19 waren mit 11,0 und 10,3 °C jedoch deutlich wärmer und mit 553 bzw. 736 mm auch niederschlagsärmer als die langjährigen Mittelwerte (Naturpark Eichsfeld-Hainich-Werratal, unveröff. Daten der Wetterstation Fürstentagen).

Die hydrogeologischen Eigenschaften des Untersuchungsgebietes werden maßgeblich von Kalkgesteinen bestimmt, wodurch das Gebiet durch eine gute bis sehr gute Grundwasserführung charakterisiert ist. Die Grundwasserneubildung des Kreises ist, gewichtet nach den Flächenanteilen der Teileinzugsgebiete, mit 156 mm pro Jahr vergleichsweise hoch. Das jährliche Thüringer Mittel liegt bei 111 mm (TLUBN ohne Jahr).

Die untersuchten Gewässer lassen sich zwei räumlich getrennten Gebieten zuordnen, dem Ohmgebirge im Nordosten des Landkreises und dem Obereichsfeld im Südwesten (Abb. 1).

Beschreibung der Quellstandorte

Insgesamt wurden 13 Quellen an 10 Gewässern in die Untersuchung einbezogen (Tab. 1). Mit Ausnahme von zwei Limnokrenen (Tümpelquellen in der Terminologie des BfN 2012) und einer Helokrene (Sickerquelle) sind alle untersuchten Standorte dem Quelltyp der Rheokrene (Sturzquelle) zuzuordnen. Der pH-Wert der Quellen liegt mit Werten von 6,8 bis 7,7 im neutralen bis schwach alkalischen Bereich. Der Nitratgehalt schwankt zwischen der nährstoffärmsten (HQ Griefsbach: ca. 3 mg/l) und der nährstoffreichsten Quelle (Rosoppe: 70 mg/l) um mehr als den Faktor 20. Die Quellen mit hoher Nitratbelastung (neben der Rosoppe auch der Pfannenbrunnen sowie Saugraben) liegen zwar in bewaldeten Tälern, aber auf den Plateaus oberhalb der bewaldeten Hänge wird Ackerbau betrieben. Das auf den landwirtschaftlichen Flächen versickernde Wasser muss lediglich die poröse Muschelkalkschicht passieren, wobei es offenbar zu keiner ausreichenden Nitratminderung kommt, bevor das Wasser in den Quellen am Hangfuß wieder austritt.

Jütze und Salzbrunnen, zwei im Ohmgebirge unmittelbar benachbarte Quellen, fallen durch erhöhte Kalzium- und sehr hohe Sulfat-Werte aus dem Rahmen. Im Einzugsbereich dieser Quellen wurde Gips (CaSO_4) durch das Grundwasser ausgelaugt.

Tabelle 1. Koordinaten und Erfassungsdaten der 2018/19 untersuchten Kalktuffquellen im Eichsfeld
 HQ - Hauptquelle, NQ - Nebenquelle

Bezeichnung der Quelle	Abk.	Probenahmedaten	Koordinaten
Grießbach HQ	GB HQ	28.04.18; 23.06.18; 15.05.19; 03.07.19	51°19'45.59"N, 10° 4'56.96"E
Grießbach NQ1	GB NQ1	13.04.18; 23.06.18; 15.05.19; 03.07.19	51°19'51.92"N, 10°5'4.88"E
Grießbach NQ2, Quelltümpel	GB NQ2	13.04.18; 23.06.18; 15.05.19; 03.07.19	51°19'54.63"N, 10°5'14.20"E
Hollenbach bei Mackenrode, Quellsumpf	MR	26.04.18; 23.06.18; 24.04.19; 03.07.19	51°17'59.00"N, 10° 3'12.25"E
Saugraben HQ	SG HQ	03.07.19	51°18'24.58"N, 10°10'28.35"E
Saugraben NQ	SG NQ	14.04.18; 23.06.18; 24.04.19; 03.07.19	51°18'14.80"N, 10°10'28.85"E
Rosoppe	RO	15.05.19; 03.07.19	51°18'25.81"N, 10°11'51.70"E
Kümmelgraben	KG	14.04.18; 23.06.18; 24.04.19; 03.07.19	51°16'58.95"N, 10°12'20.57"E
Frieda	FR	26.04.18	51°12'48.40"N, 10°15'45.49"E
Pfannenbrunnen	PF	15.04.18; 22.06.18	51°31'2.74" N, 10°24'28.99"E
Salzbrunnen, Quelltümpel	SB	26.04.18; 22.06.18	51°30'23.40"N, 10°23'10.00"E
Jütze	JZ	26.04.18; 22.06.18	51°30'20.00"N, 10°23'13.42"E
Quelle südlich Holungen	FB	15.04.18; 22.06.18	51°29'1.69"N, 10°24'13.20"E

Obereichsfeld

Grießbach (GB)

Das Quellgebiet am Grießbach liegt in einem Buchenwaldgebiet nahe der Ortschaft Lenterode, wobei die Hauptquelle und zwei Nebenquellen beprobt wurden. An der Hauptquelle sind vereinzelte Moospolster im Bereich des abfließenden Baches nennenswert. Im Hypokrenal, ca. 180 m unterhalb des Quellmundes, befinden sich gut ausgeprägte Sinterterrassen. Bei der Beprobung am 03.07.2019 wurde ein Steinrutsch vorgefunden, der den Quellmund teilweise bedeckte.

Die erste Nebenquelle des Grießbaches liegt etwa 250 m nordöstlich von der Hauptquelle und besitzt ähnliche Standorteigenschaften. Der Krenalbereich ist durch Moospolsterstrukturen geprägt. Im direkten Umfeld des Quellaustritts sind Versinterungen ersichtlich, in einiger Entfernung zur Quelle befinden sich wasserfallartige Kalktuffablagerungen. Anzumerken ist die schwankende Wasseraustrittshöhe während der Untersuchungen, welche bei der zweiten Probenahme in beiden Untersuchungsjahren einen Meter weiter hangabwärts lag als bei der ersten Probenahme.

Als zweite Nebenquelle des Grießbaches wird eine angestaute Limnokrene (Quellteich) geführt. Die Limnokrene wird einerseits von mehreren nahe dem Ufer befindlichen Rheokrenen mit schwacher Schüttung gespeist, andererseits auch durch Wasser, welches an mehreren Stellen aus dem Gewässergrund austritt. Das Wasser sammelt sich auf einer ca. 750 m² großen Fläche, die hangabwärts durch einen kleinen Damm abgegrenzt wird. Der angebrachte Durchlass wurde so hoch angelegt, dass ein Teil des austretenden Wassers im Teich zurückgehalten wird. Den Quellteich prägen ein massives Characeen-Vorkommen, Weichsubstrate sowie eine dicke Schicht Blattstreu im Uferbereich. Die einmündenden Rheokrenen weisen vereinzelte Moospolsterstrukturen auf. Im dahinterliegenden Bachabfluss sind gut ausgebildete Sinterstufen vorhanden. Im direkten Umfeld des Gewässers befindet sich eine Lichtung mit Kraut- und Staudenfluren sowie Gehölzen (Abb. 2).

Hollenbach bei Mackenrode (MR)

Die Quelle des Hollenbaches befindet sich in einer Senke südwestlich von Mackenrode (Abb. 3) und bildet einen sumpfigen Bereich unterhalb einer landwirtschaftlichen

Nutzfläche (Weizenanbau). Es handelt sich hier um die einzige untersuchte Helokrene. Die etwa 30 x 80 m große Fläche weist mehrere Grundwasseraustritte mit jeweils nur geringer Schüttung auf und wird durch eine Schwarzerlengruppe geprägt. Die gehölzfreie Sumpffläche wird im Sommer im oberen Teil durch dichte *Phragmites*- und im unteren Bereich durch dichte *Carex*-Bestände dominiert, die bei ausreichender Schüttung das Wasser auf der Fläche im Vergleich zu den Frühjahrsbegehungen deutlich anstauen. Der Boden bzw. Gewässergrund ist von Weichsubstraten gekennzeichnet, die in Nähe der Erlen einen hohen organischen Anteil aufweisen. Auf der übrigen Fläche besteht der Boden im Wesentlichen aus anorganischem Feinmaterial, das durch Niederschläge vom angrenzenden Acker ausgeschwemmt wurde. Wildschweine nutzen das Quellgebiet als Rückzugsraum bzw. Suhle. Im Quellbereich und anschließenden Bach waren keine Kalkablagerungen sichtbar, diese treten erst nach etwa 200 m im abfließenden Quellbach auf.

Saugraben (SG)

Die Hauptquelle des Saugrabens liegt in einem Laubmischwald östlich von Bernterode (bei Heilbad Heiligenstadt). Das direkte Umfeld des Krenalbereiches ist durch das Vorkommen verschiedener Gehölze (z. B. *Sambucus nigra*) geprägt, der gemessene Nitratwert lag mit 38 mg/l sehr hoch. Die Rheokrene wies zum Zeitpunkt der Probenahme eine relativ hohe Schüttung auf und war im Krenalbereich und abfließenden Bach durch regelmäßig auftretende Moospolster gekennzeichnet. Der Quellaustritt war teilweise durch Totholz verdeckt. Kalktuffbildungen treten erst einige Meter weiter unten im ablaufenden Bach auf.

Außer der Hauptquelle wurde ein zweiter Standort am Saugraben (Abb. 4) untersucht. Dieser befindet sich ca. 250 m südlich der Hauptquelle und besteht aus mehreren kleinen Rheokrenen, die an einem Steilhang im Buchenwald austreten und parallel hangabwärts abfließen. Wie Abb. 4 zeigt, liegen die Quellaustritte teilweise direkt im Wurzelbereich der Buchen und das direkte Umfeld zeigt große Moospolster. Insofern besitzt dieser Quellkomplex ein Alleinstellungsmerkmal.

Rosoppe (RO)

Das untersuchte Quellgewässer liegt nahe der L1007 zwischen Martinfeld und Flinsberg in einem bewal-

deten Tal. Es handelt sich um eine Nebenquelle, welche zusammen mit anderen gebietsnahen Quellen in das Fließgewässer „Rosoppe“ führt. Die Hauptquelle fiel bereits vor den Probenahmen trocken, sodass nur noch die Nebenquellen eine Schüttung aufwiesen. Das direkte Umfeld der Quelle war von einer Brennesselfur (*Urtica dioica*) geprägt, welche Hinweise auf eine stoffliche Belastung des Grundwassers gab. Der Nitratgehalt war mit 70 mg/l der höchste aller untersuchten Standorte. Der Krenalbereich und unmittelbar abfließende Bach waren nur durch vereinzelte Moose und Versinterungen charakterisiert.

Kümmelgraben (KG)

Die hier untersuchte Rheokrene (Abb. 6), eine Nebenquelle des Kümmelgrabens, liegt östlich von Martinfeld in einem tief eingeschnittenen Tal mit Buchenwald. Der Quellbereich und abfließende Bach wiesen regelmäßig auftretende Moosstrukturen und größere Mengen Totholz auf. Erste Versinterungen befinden sich ca. 80 m unterhalb der Quelle. Nur die Beprobung im April 2019 konnte im eigentlichen Quellbereich (Eukrenal) stattfinden. Bei allen weiteren Begehungen war die Quelle trockengefallen und die Probenahme wurde an 10–30 m weiter unten liegenden Wasseraustritten durchgeführt. Das Quellwasser zeichnete sich durch einen sehr niedrigen Nitratgehalt aus.

Frieda (FR)

Es wurde eine Nebenquelle der Frieda südwestlich von Annaberg beprobt. Der Quellmund liegt im Bereich eines bewaldeten Hanges, das austretende Wasser läuft aber unmittelbar in eine Grünlandfläche. Im Hypokrenal sind Sinterterrassen ausgeprägt. Das Quellwasser zeichnete sich durch einen sehr niedrigen Nitratgehalt aus.

Ohmgebirge

Pfannenbrunnen (PF)

Der Pfannenbrunnen liegt ca. 800 m südöstlich der kleinen Ortschaft Gerode und ist damit die am weitesten nördlich gelegene Probestelle. Die Quelle befindet sich in einem Mischwald, der ablaufende Bach bildet die Grenze zwischen Wald und benachbartem Ackerland. Im oberen Bereich des ablaufenden Baches bildeten sich großflächig Kalktuffablagerungen mit Moosbe-



Abb. 2. Gießbach Nebenquelle 2, eine Limnokrene (Quellteich) mit Wasseraustritten oberhalb und unterhalb der Wasseroberfläche. Foto: E. Arndt, 15. Mai 2019.



Abb. 3. Quelle des Hollenbachs bei Mackenrode, die einzige untersuchte Helokrene. Foto: E. Arndt, 24. April 2019

wuchs, der weitere Bachverlauf ist durch Feinsedimenteintrag aus der Ackerfläche geprägt. Das Eukrenal des Pfannenbrunnens weist typische Strukturen einer Rheokrene und die mit Abstand höchste Quellschüttung aller untersuchten Standorte auf. Daher kann dieser Standort strukturell als „Referenzquelle“ für eine naturnahe Kalktuff-Rheokrene bezeichnet werden. Die Nitratbelastung war jedoch in beiden Untersuchungsjahren hoch (April 2018: 28 mg/l; April 2019: 21 mg/l). Die hohe Nährstoffbelastung wurde vor Ort durch eine starke Ausbildung schleimiger, fädiger Grünalgen sichtbar. Der Nitratreintrag ins Grundwasser steht im Zusammenhang mit Austrägen aus den umgebenden Ackergebieten. Eine weitere Ursache können forstwirtschaftliche Eingriffe darstellen. Zum Zeitpunkt der Beprobung wurde eine Reihe von Fichten in direkter Quellnähe gerodet und damit der Wald stark aufgelichtet.

Salzbrunnen (SB)

Der Salzbrunnen liegt zwischen den Ortschaften Jützenbach und Holungen im Übergangsbereich von Wald zu Weideland. Bei der Quelle handelt es sich um einen Weiher mit künstlicher Anstauung des Wasserspiegels (LPR Landschaftsplanung Dr. Reichhoff GmbH 2017). Die Beprobung fand nicht im Weiher, sondern im ablaufenden Bach (Hypokrenal-Bereich) statt. Die Quelle war mit Nitrat belastet und wies darüber hinaus weit überdurchschnittliche Kalzium- (450 mg/l) und Sulfatwerte (ca. 2580 mg/l) auf.

Jütze (JZ)

Der Quellbereich der Jütze befindet sich in unmittelbarer Nähe (etwa 100 m südwestlich) des Salzbrunnens auf einer Rinderweide. Der Quellbereich ist eingefasst, die Sohle durch Rasengittersteine verbaut. Die Probe wurde unterhalb dieses Bereiches genommen. Im abfließenden Bach finden sich Kolke und stark versinterte Abschnitte. Das hier austretende Grundwasser kommt wie der Salzbrunnen aus einem gipshaltigen Untergrund, die Kalzium- (133 mg/l) und Sulfatwerte (578 mg/l) waren stark erhöht.

Quellbach südlich Holungen (FB)

Die untersuchte Quelle befindet sich etwa 400 m südlich des Ortsrandes von Holungen in einem Laubmischwald, der nach Norden abfließende Bach läuft parallel zum 200 m weiter östlich liegenden Fischbach. Der Quell-

mund wurde in etwa 60 cm Höhe durch eine Steinplatte abgedeckt und dadurch gegen die Ansammlung von Laub im direkten Quellbereich geschützt. Der abfließende Bach durchströmt ein Waldstück unweit der Waldkante und zeigt abschnittsweise deutliche Sinterstrukturen. Das Quellwasser zeichnete sich durch einen sehr niedrigen Nitratgehalt aus.

Methoden

Die Probenahme des Makrozoobenthos orientierte sich an der Arbeitsanleitung der Gesellschaft für Quellökologie (1993, zitiert in SCHINDLER et al. 2017). Aufgrund des Vorkommens verschiedener Quelltypen (Rheo-, Limno-, Helokrene) wurde jeweils ein angepasstes Vorgehen bei der Beprobung angewendet. Die Dauer einer faunistischen Beprobung wurde im Zuge dieser Arbeit auf einen zeitlichen Rahmen von 30 Minuten festgelegt. Im abfließenden Bereich der Rheokrenen wurde ein Hand-Wasserkescher (Durchmesser 20 cm, Maschenweite 500 µm) oder Auffangsieb aus Metall (Maschenweite ca. 1 mm; Durchmesser je nach Größe des Eukrenals 6–20 cm) bis zur Hälfte seines Durchmessers im Substrat fixiert. Anschließend konnte im darüber liegenden Krenal das vorliegende Substrat etappenweise umgelagert werden, wodurch das abtreibende Material triftbedingt im Sieb bzw. Kescher aufgefangen wurde. Das aufgefangene Substrat wurde in eine Weißschale mit Wasser gegeben und dort auf Makrozoobenthos durchsucht. Für die spätere Bestimmung der vorkommenden Organismen wurden 2–10 Belegexemplare jeder Morphospecies in 80%igem Ethanol fixiert. Die restlichen in der Weißschale befindlichen Individuen wurden ausgezählt, notiert und lebend wieder in das Gewässer zurückgesetzt. Nach Beendigung der Probenahme wurden die umgelagerten Substrate in ihre ursprüngliche Lage zurückgeführt, um Veränderungen im Krenal möglichst gering zu halten.

Im Fall der Limnokrene (Grießbach NQ2) erfolgte die Probenahme mit einem Kick-Sample-Wasserkescher (fünfeckig 40 x 28 cm b/h) sowie einem Hand-Wasserkescher (Durchmesser 20 cm, Maschenweite 500 µm). Bedingt durch die Länge des Kescherstiels konnte das vorkommende Substrat (Laub, Makrophyten, Schlamm) bis auf ca. 1,50 m vom Ufer entfernt beprobt werden. Anschließend wurde das Material im Kescher in einer



Abb. 4. Nebenquelle Saugraben bei Bernterode. Der Quellaustritt liegt direkt im Wurzelbereich einer Buche. Foto: E. Arndt, 24. April 2019.

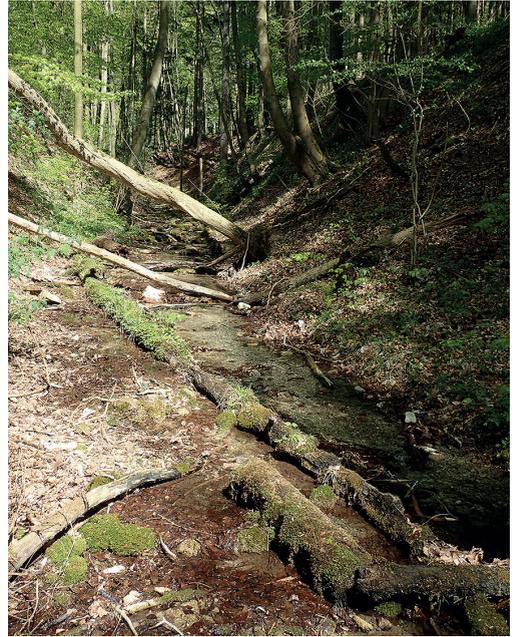


Abb. 5. Kalktuffablagerungen unterhalb der Hauptquelle des Saugrabens. Foto: E. Arndt, 24. April 2019.



Abb. 6. Nebenquelle des Kümmeigrabens in einem Buchenwald bei Martinfeld. Foto: E. Arndt, 24. April 2019.

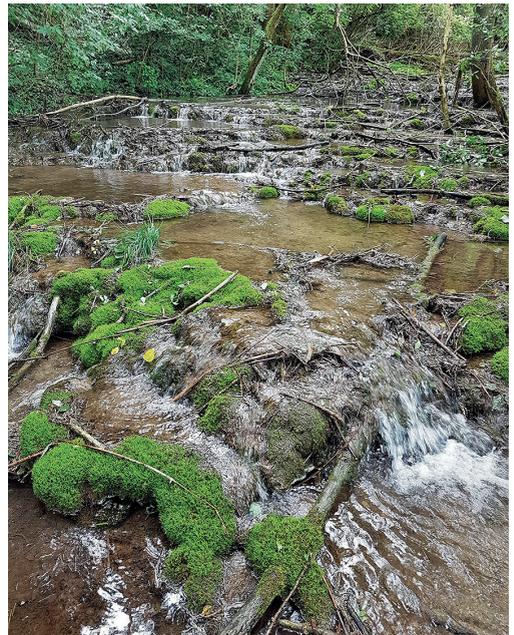


Abb. 7. Sinterstufen am Pfannenbrunnen. Foto: F. Döll 15.08.2017.

mit Wasser gefüllten Weißschale geleert, auf Organismen untersucht und wie oben beschrieben in Ethanol fixiert bzw. ausgezählt.

Aufgrund der geringen Schüttung der untersuchten Helokrene (Mackenrode) musste aus den dortigen Krenalbereichen schlammiges Substrat mit Hilfe einer Schaufel entnommen und im naheliegenden Quellbach mit Hilfe der Weißschale aufgeschwemmt werden.

Die Beprobung der Quellen erfolgte unter Berücksichtigung der Kartieranleitung für FFH-LRTs nach SACHTELEBEN et al. (2010), welche auf die Ausprägungsstufen der lebensraumtypischen Habitatstrukturen und das charakteristische Arteninventar eingeht. Bei den Beprobungen der Kalksinterstufen und des abfließenden Baches wurde auf die Kartierungshinweise des BFN (2012) Bezug genommen.

Die Erfassung des Makrozoobenthos erfolgte über einen Zeitraum von zwei Jahren (2018–2019), die Untersuchungen fanden jeweils zwischen April und Juli statt (vgl. Tab. 1). An den Quellen im Ohmgebirge fanden zwei, an denen im Obereichsfeld vier Untersuchungen statt. Ausnahmen bildeten die Frieda, welche die einzige untersuchte Quelle im Offenland und 2018/2019 aufgrund ihrer südexponierten Lage stark von Austrocknung betroffen war, sowie die Hauptquelle des Sauggrabens, die zur besseren Einordnung der Ergebnisse der Nebenquellen einmalig erfasst wurden.

In die Auswertung wurden alle aus den Weißschalen fixierten Belegexemplare sowie die ausgezählten Individuen der Turbellaria und Crustacea einbezogen. Außerdem wurden Sichtungen mit Fotobelegen von zwei Libellenarten (*Cordulegaster bidentata* und *Pyrrhosoma nymphula*) mit einbezogen. Soweit möglich, wurden alle Taxa bis zur Art bestimmt. Dies war bei jüngeren Larvenstadien einiger Insektengruppen (Ephemeroptera, Limnephilidae und Notonectidae) nicht möglich, daher werden in diesen Gruppen summarisch die nicht näher bestimmbar Individuenzahlen angegeben. Darüber hinaus existieren für viele Familien der Diptera bisher keine Bestimmungsschlüssel bis auf Artniveau. Die Zuordnung der Arten hinsichtlich der Kategorien „krenobiont“ bzw. „krenophil“ erfolgt im Wesentlichen auf der Grundlage von SCHMEDTJE & COLLING (1996), WARINGER & GRAF 2011 sowie SCHINDLER et al. (2017). Einige weitere Literaturquellen, die für die Einteilung einzelner Arten ausschlaggebend waren, werden in Tab. 2 genannt.

Ergebnisse

Übersicht zu nachgewiesenen Arten und Gattungen

An den 13 untersuchten Kalktuffquellen wurden insgesamt 96 Makrozoobenthos-Taxa nachgewiesen (Tab. 2). In der folgenden Ergebnisdarstellung werden die nicht näher bestimmten Ephemeroptera, Limnephilidae sowie *Plectrocnemia*-Puppen nicht berücksichtigt. Die artenreichsten Gruppen sind die Diptera mit 27 sowie die Trichoptera mit 18 Arten bzw. Gattungen.

Die Zahl der an einzelnen Quellen nachgewiesenen Taxa reicht von 13 (Jütze) bis 36 (Grießbach, NQ2), wobei die hohe Zahl an Arten im Quellteich zu erwarten war. Die Limnokrene weist einerseits ein großes Spektrum an limnophilen, d.h. Stillwasserarten auf, andererseits zeigen die Wasseraustritte im Uferbereich des Quellteiches Merkmale von kleinen Rinnsalen, sodass auch an Strömung angepasste Arten nachgewiesen wurden. Die zweithöchste Zahl an Taxa (24) wurde in der Helokrene Mackenrode festgestellt. In den Rheokrenen wurden mit wenigen Ausnahmen jeweils 20–22 Taxa gefunden (Tab. 2).

Gammarus pulex ist die mit Abstand am häufigsten nachgewiesene Art und gleichzeitig die einzige, die in allen Quellen gefunden wurde. Mit sehr hoher Stetigkeit traten daneben die Köcherfliegen *Micropterna nyctero-bia* und *Plectrocnemia conspersa* (je neun Gewässer) sowie *Tipula maxima* (acht Gewässer) auf. Auch die häufigen Gattungen der Steinfliegen (*Leuctra*, *Nemoura*, *Protonemura*), *Dixa maculata* und die Alpenplanarie (*Crenobia alpina*) wurden an der Mehrzahl der Gewässer gefunden. Sehr viele Arten waren jedoch auf nur eine oder zwei Quellen beschränkt. Dies gilt insbesondere für die Stillwasserbewohner, die ausschließlich die Limnokrene Grießbach (NQ2) besiedelten. Darunter fallen sieben Libellenarten, zwei Wanzen, vier Käfer, vier Zweiflügler sowie *Sialis lutaria* und *Limnephilus lunatus*. Ferner wurden auch alle vier nachgewiesenen Mollusken sowie die Mehrzahl der verbleibenden Käferarten nur vereinzelt gefunden.

Neben den Makroinvertebraten konnten im April 2018 Larven des Feuersalamanders im direkten Quellbereich der Nebenquelle Griesbach, der Jütze und des Salzbrunnens sowie im Hypokrenal der Hauptquelle Griesbach, des Hollenbachs und Kümmeigrabens dokumentiert werden.

Diptera																	
Chironomidae, <i>Brillia bifida</i> *4,5																	
<i>Chironomus parathummi</i> *6														7			
<i>Conchapelopia</i> sp.																	
<i>Diamesa incallida</i> **7									7					19			
<i>Macropelopia</i> sp.																	
<i>Micropecta</i> sp.														1			
<i>Microtendipes chloris-petellus</i> -gr.																	
<i>Paratanytarsus</i> sp.																	
<i>Prodiamesa</i> sp.														5			
<i>Tanytarsus</i> sp.																	
Culicidae, <i>Anopheles</i> sp.																	
Dixidae, <i>Dixa maculata</i>														1			
Pediciidae, <i>Dicranota</i> sp.																	
<i>Pedicia</i> sp. *1														2			
Psychodidae, <i>Satchelliella cabiospinosa</i>														1			
<i>Tonnoiriella</i> sp. **1																	
<i>Ulomyia</i> sp.														1			
Psychoptenidae, <i>Psychoptera lacustris</i> *8																	
Rhagionidae, <i>Rhagio</i> sp.														1			
Simuliidae, <i>Simulium</i> (<i>Nevermannia angustitarse</i>)														8			
Stratiomyidae, <i>Oxycera</i> cf. <i>pardalina</i> **9, 10																	
<i>Boris</i> sp. **9, 10														1			
Tabanidae, <i>Aplylon</i> sp.																	
Thaumaleidae, <i>Androsposoda</i> sp.														5			
<i>Thaumalea</i> sp. **1																	
Tipulidae, <i>Tipula maxima</i>														1			
<i>Tipula</i> (<i>Savitschenka</i> sp.)														1			
Summe der Taxa (ohne Linnephilidae indet. und <i>Plectrocnemia</i> Puppen)																	
Anzahl der quell-typischen Taxa																	
	22	22	36	24	20	20	20	20	20	9	5	5	21	21	16	13	18
	8	7	5	12	7	7	7	7	9	9	5	9	5	7	6	7	7

1) SCHINDLER et al. 2017; 2) SCHMIEDTJE & COLLING 1996; 3) WARINGER & GRAF 2011; 4) MÖLLER PILLOT 2013; 5) REIF 1994; 6) VALLENDIUK (schriftl. Mitt., 2017); 7) ROSSARO & LENCIONI 2015; 8) WAGNER 1978; 9) SCHINDLER 2004; 10) KOZKOSŃNY 1978.



Abb. 8. Ausgewählte krenophile bzw. krenobionte Arten. **A** - *Crenobia alpina*, Grundwasserart, die in acht Quellen in der Regel nahe am Quellmund gefunden wurde. **B** - *Niphargus schellenbergi*, Grundwasserart, die in sieben Quellen immer nahe am Quellmund gefunden wurde. **C** - *Wormaldia occipitalis*, kaltstenotherme Köcherfliegenart, unter Steinen, häufig in langen Gespinnstsäcken sitzend. **D** - *Synagapetus dubitans*, Köcherfliege mit Schwerpunkt vorkommen im Eukrenal, RL Kategorie 2 in Thüringen. **E** - *Diamesa incallida*, Zuckmückenart kaltstenothermer Quellbereiche. **F** - *Chironomus parathummi*, Zuckmückenart, die in schwach fließenden Quellen, kleinen Wasseraustritten und flachen langsam fließenden Bächen, die zeitweilig auch austrocknen können, vorkommt. Fotos: A, B - A. Willenberg (in situ-Aufnahmen), C-F - E. Arndt (Mikroskoptaufnahmen konservierter Individuen).

Quelltypische (krenophile bzw. krenobionte) Arten

Insgesamt 29 der 96 nachgewiesenen Arten bzw. Gattungen können als „quelltypisch“ im Sinne einer krenophilen bzw. krenobionten Lebensweise bezeichnet werden. Dazu gehören Grundwasserarten wie *Crenobia alpina* und *Niphargus schellenbergi*, Mollusken, die ihren Habitatschwerpunkt im Krenal haben (*Pisidium personatum*, *Galba truncatula*) sowie zahlreiche Insektenarten, die in Tab. 2 aufgeführt sind. Einige Beispiele krenophiler bzw. krenobionter Arten zeigt die Abb. 8. Mit 12 Vertretern weisen die Trichoptera überdurchschnittlich viele krenophile und krenobionte Arten auf. Aber auch bei den Diptera wurden neun Arten, die ihren Habitatschwerpunkt in Quellen haben, nachgewiesen. Die Waffenfliege *Oxycera pardalina*, die Faltenmücke *Ptychoptera lacustris* und die Gattung *Pedicia* aus der Verwandtschaft der Stelzenmücken sind Dipteren, die in mehreren Gewässern nachgewiesen wurden. Bei den Köcherfliegen sind, neben der oben genannten *Micropterna nycterobia*, fünf weitere krenophile und krenobionte Arten in drei oder mehr Gewässern vertreten, während sechs Arten nur lokal vorkamen.

Die Helokrene Mackenrode weist mit 12 Arten im o. g. Sinn die meisten quelltypischen Vertreter auf, gefolgt von den Rheokrenen Frieda, Rosoppe und Grießbach HQ. Mit nur fünf bzw. sechs quelltypischen Arten stehen der Quellteich (Grießbach NQ2), Kümmelgraben, Pfannenbrunnen sowie die Jütze am Ende der Skala. Die geringe Zahl an quelltypischen Arten ist im Quellteich und in der verbauten, auf einer Rinderweide liegenden Quelle der Jütze wenig überraschend. Dagegen ist ihre geringe Zahl in den strukturell sehr gut entwickelten Quellen Kümmelgraben und Pfannenbrunnen unerwartet.

Nachweis von Arten, die an zeitweilige Austrocknung von Gewässern angepasst sind

Da in den Untersuchungs Jahren 2018 und 2019 eine Reihe von Rheokrenen ausgetrocknet sind und die darauffolgenden Probenahmen an den nächstgelegenen Quellaustritten bachabwärts genommen wurden, stellt sich die Frage, ob sich das temporäre Trockenfallen auch in der Besiedlung durch speziell angepasste Invertebraten widerspiegelt. Zur Beantwortung dieser Frage

wurde von uns untersucht, welche der nachgewiesenen Makrozoobenthos-Arten Anpassungen an das Trockenfallen ihres Lebensraumes haben und ob sich die untersuchten Quellen im Auftreten dieser Arten unterscheiden. Von den nachgewiesenen Taxa können 21 Arten als typisch für temporär trockenfallende Gewässer bezeichnet werden (Tab. 3). Diese setzen sich vor allem aus Insekten der Ordnungen Eintags-, Stein- und Köcherfliegen, Schlammfliegen sowie Käfer zusammen. Die meisten dieser Arten wurden jeweils nur in einer oder zwei Quellen gefunden. Ausnahmen bilden die Eintagsfliege *Baetis rhodani* sowie die beiden Köcherfliegen *Micropterna nycterobia* und *Plectrocnemia conspersa*, die in einer Vielzahl unterschiedlicher Gewässer gefunden wurden. Auch der Schwimmkäfer *Agabus bipustulatus* und die Schlammfliege *Sialis fuliginosa* wurden in je drei verschiedenen Gewässern gefunden.

In den einzelnen Quellen wurden zwei bis sechs an temporäre Austrocknung angepasste Arten nachgewiesen. Rosoppe und Nebenquelle Kümmelgraben, die am stärksten von Wassermangel betroffenen Quellen, gehören mit jeweils sechs Arten zu den Quellen mit den höchsten Zahlen an trockenangepassten Invertebraten. Der prozentuale Anteil dieser Arten liegt mit 30 bzw. 24% deutlich höher als der Durchschnitt (19,2%).

Diskussion

Vergleich der Artengemeinschaften

Kalktuffquellen weisen keine eigenständige Makroinvertebraten-Fauna auf, sondern eine Mischung aus Grundwasserorganismen, Arten aus den sich anschließenden Rhithralbereichen sowie allgemein weit verbreiteten Arten (MARTIN & WISCHNIOWSKY 2014). Unsere Ergebnisse zeigen hinsichtlich der faunistischen Zusammensetzung deutliche Übereinstimmungen mit anderen Kalktuff-Quelluntersuchungen innerhalb von Deutschland (MARTIN & RÜCKERT 2011) wie auch in Westeuropa (SMITH et al. 2003; GERECKE et al. 2005). So sind in den genannten Untersuchungen die Trichoptera jeweils die artenreichste Makroinvertebraten-Gruppe. In Übereinstimmung mit den Ergebnissen von SMITH et al. (2003) sind die Coleoptera in unserer Untersuchung ebenfalls sehr artenreich vertreten. Dies steht in Widerspruch zu den Aussagen von ZOLLHÖFER (1997) und MARTIN

Tabelle 3. Nachgewiesene Makrozoobenthos-Arten mit Anpassung an zeitweilige Austrocknung ihrer Lebensräume (Literaturquellen verweisen auf die Beschreibung der Anpassung)

Taxon	Literaturquellen	GB HQ	GB NQ1	GB NQ2	MR	SG HQ	SG NQ	RO NQ	KG NQ	FR	PB	SB	JÜ	FB
Ephemeroptera														
<i>Baetis rhodani</i>	BOHLE 2000	X	X			X		X	X		X			
<i>Centropilum luteolum</i>	BOHLE 2000, FOLTYN 2000										X			
<i>Cloeon dipterum</i>	DETTINGER-KLEMM 2000			X										
<i>Paraleptophlebia submarginata</i>	BOHLE 2000	X	X											
Plecoptera														
<i>Brachyptera risi</i>	LORENZ 2000					X								
<i>Nemoura cinerea</i>	BOHLE 2000			X					X		X			
Coleoptera														
<i>Agabus bipustulatus</i>	FOLTYN 2000			X	X						X			
<i>Agabus guttatus</i>	BOHLE 2000, LORENZ 2000							X						
<i>Anacaena globulus</i>	BOHLE 2000							X						
<i>Helophorus brevipalpis</i>	BOHLE 2000						X							
<i>Helophorus grandis</i>	BOHLE 2000; DETTINGER-KLEMM 2000							X						
<i>Helophorus obscurus</i>	PIRINISU 1981					X	X							
Megaloptera														
<i>Sialis fuliginosa</i>	LORENZ 2000	X							X			X		
Trichoptera														
<i>Synagapetus dubitans</i>	WAHRINGER & GRAF 2011	X												
<i>Limnephilus lunatus</i>	BOHLE 2000			X										
<i>Micropterna nycterobia</i>	FOLTYN 2000, LORENZ 2000	X	X		X	X	X	X	X	X		X	X	X
<i>Stenophylax permistus</i>	BOHLE 2000, FOLTYN 2000	X							X					
<i>Crunoecia irrorata</i>	BOHLE 2000				X					X				
<i>Plectrocnemia conspersa</i>	BOHLE 2000		X		X	X		X	X	X		X	X	X
Diptera														
<i>Micropsecta</i> sp.	FOLTYN 2000			X									X	
Summe der Taxa		6	4	5	4	5	3	6	6	3	4	3	3	2

& WISCHNIOWSKY (2014). Mit einer hohen Stetigkeit werden ferner die Vertreter der Plecoptera-Gattung *Nemoura* in allen Kalktuffquellen gefunden (BÜSCHER & MARTIN 2016). Die Diptera wurden in keiner der vergleichbaren Untersuchungen bis zur Gattung oder Art bestimmt, was mit den erst in den vergangenen Jahren erschienenen Bestimmungsschlüsseln erklärt werden kann (insbesondere FAASCH 2015, MAUCH 2017 und VALLENDUOK 2017).

Gammarus pulex repräsentiert in zahlreichen Untersuchungen des Flach- und Hügellandes (z. B. MARTIN & RÜCKERT 2011, SMITH et al. 2003) wie auch in der vorliegenden Arbeit die individuenreichste Art. Sie ist damit ein Charakterelement der Quellfauna, kann aber auf Grund ihrer weiten Verbreitung in allen fließenden Gewässerarten bis in Teiche und Seen (ILLIES 1978) nicht als krenophil bezeichnet werden. In Quellen der Mittelgebirge ist auch *G. fossarum* zu erwarten (SCHINDLER

2004, REISS 2011, SCHINDLER et al. 2017). Im Höhenbereich zwischen 100–450 m ü. NN treten beide Arten, *G. fossarum* und *G. pulex*, vergesellschaftet auf (MEIJERING & PIEPER 1982 in MEYER 1999). *G. fossarum* kommt im Eichsfeld vor, wurde von uns jedoch an keinem Quellstandort nachgewiesen.

In der vorliegenden Untersuchung fällt im Vergleich der beiden Untersuchungsjahre auf, dass 2018 relativ viele Larven der Ephemeroptera und Plecoptera erfasst wurden, 2019 dagegen nur sehr wenige Individuen. Die Ursache dafür könnte (a) der etwas zeitigere Untersuchungszeitraum im Jahr 2018 sein. Fast alle Eintags- und Steinfliegen wurden Mitte April 2018 gefangen. Im zweiten Jahr erfolgte eine Probenahme erst am 28. April bzw. am 15. Mai bei vergleichsweise hohen Spätwinter- und Vorfrühlingstemperaturen. Ein zweiter Grund (b) könnte die ab Frühjahr 2018 nachlassende Schüttung der Quellen und somit eine weiter unten im Bachbett stattfindende Eiablage der Eintags- und Steinfliegen sein, die sich bis in das Jahr 2019 auswirkte. Die endgültige Antwort auf diese Frage muss vorerst offen bleiben.

Hinsichtlich des Artenspektrums weicht die Limmokrene (Grießbach NQ2) deutlich von den anderen untersuchten Quellen ab. Insgesamt 19 Arten wurden nur in dieser Quelle nachgewiesen, darunter sieben der acht Libellenarten, sowie die Gattungen *Gerris*, *Notonecta* und *Haliplus* (vergl. Tab. 2). Das Gewässer liegt relativ isoliert in einem Buchenwald, in einem Umkreis von mehreren Kilometern ist uns kein anderes Stillgewässer bekannt. Alle dort siedelnden Arten, müssen auf weiten Streifzügen diesen Lebensraum gefunden haben. Das ist insbesondere für die Wasserspinne (*Argyroneta aquatica*) erstaunlich, die nicht zum aktiven Fliegen befähigt ist. Sie gilt als standorttreu und ausbreitungsschwach (HENDRICH & PLATEN 2010), allerdings ist Ballooning-Verhalten (Ausbreitung durch Fadenflug) auch bei dieser Art bekannt (PRESTON-MAFHAM & PRESTON-MAFHAM 1996 in BELL et al. 2005).

Unter den Tiergruppen, für die eine Rote Liste im Freistaat Thüringen existiert, können neun Arten einer Gefährdungskategorie zugeordnet werden: je eine Mollusca (BÖSSNECK & VON KNORRE 2011), Odonata (PETZOLD & ZIMMERMANN 2011) und Coleoptera (BELLSTEDT 2011) sowie sechs Trichoptera (BREITFELD 2011). Darunter werden *Valvata cristata* als gefährdet und *Cordulegaster bidentata* sowie *Haliplus confinis* als extrem selten eingestuft. Weiterhin gelten unter den Trichoptera vier

Arten als gefährdet (*Allogamus uncatus*, *Chaetopteryx major*, *Ecclisopteryx madida* und *Melampophylax mucoreus*), *Synagapetus dubitans* wird in Thüringen als stark gefährdet eingestuft und *Rhyacophila pubescens* ist vom Aussterben bedroht.

Quelltypische Arten

Krenophile und krenobionte Arten – „quelltypisch“ in der hier verwendeten Definition – sind in Tab. 2 gekennzeichnet und machen mit 29 nachgewiesenen Arten oder Gattungen einen erheblichen Teil der Invertebratenzönose aus. Beispielhaft soll das an zwei Ordnungen verdeutlicht werden. Die Trichoptera gehören zu den am häufigsten in Kalktuffquellen nachgewiesenen Insektengruppen (MARTIN & RÜCKERT 2011, RUMM et al. 2010, GERECKE et al. 2005). In der vorliegenden Untersuchung weisen die Trichoptera eine hohe Artenvielfalt und die meisten quellgebundenen Arten (jeweils sechs Krenobionte und Krenophile) auf. Damit können 2/3 der nachgewiesenen Köcherfliegen als quelltypisch bezeichnet werden. Hervorzuheben ist *Rhyacophila pubescens*, die als stenotope Quellbewohnerin und Charakterart der Kalktuffbereiche gilt (GERECKE et al. 2011).

Auch bei den Diptera, der artenreichsten Ordnung, wurden einige quelltypische Taxa nachgewiesen. Beispiele sind die Waffenfliegen mit *Oxycera pardalina*, einer Charakterart des Hügellands mit Kalkquellen (STUBBS & DRAKE 2001) sowie die Gattung *Beris*, deren Arten hygropetratisch in Moosen und an Pflanzenresten in klarem Quellwasser leben (WAGNER 1992 in SCHINDLER 2004). Hygropetratisch und krenobiont sind auch die Dunkelmücken der Gattung *Thaumalea*, die an glatten, überrieselten Abhängen und Quellrinnalen vorkommen (WAGNER 1992 in SCHINDLER 2004).

Eine größere Anzahl spezifisch angepasster Arten weisen die Zuckmücken auf: *Brillia bifida* ist eine Bewohnerin von Quellen und Bachoberläufen mit hohem O₂-Gehalt, deren Mikrohabitate in der Regel durch sich zersetzendes Laub beschattet sind (MOLLER PILLOT 2013). Ferner gilt *Diamesa incallida* als eine typische Bewohnerin von Quellen mit kaltem Wasser (ROSSARO & LENCIONI 2015) und die Gattung *Macropelopia*, die am Quellstandort Grießbach NQ2 gefunden wurde, hat mit *M. goetghebueri* und *M. notata* zwei heimische krenophile Arten (ORENDT 2000).

Arten, die an Austrocknung angepasst sind

Während unserer zweijährigen Untersuchungen an den Quellen im Eichsfeld war eine starke Schwankung der Quellschüttung bis hin zum zeitweiligen Austrocknen mancher Quellen sowie der sich anschließenden Bachregion zu beobachten.

Generell haben temporär sommertrockene Gewässer ein eigenständiges Arteninventar, das sich deutlich von permanent Wasser führenden Fließgewässern unterscheidet (SOMMERHÄUSER 2000). Typische Arten solcher Gewässer sind Eintagsfliegen der Gattung *Habrophlebia*, Steinfliegen der Gattung *Nemoura*, die Köcherfliegen *Plectrocnemia conspersa* und *Micropterna* sp., einige Arten der Schwimmkäfergattung *Agabus* sp. sowie *Gammarus pulex* (SOMMERHÄUSER 2000), die alle auch in unserer Untersuchung nachgewiesen wurden. Während *G. pulex* nicht gut an die temporäre Austrocknung seines Habitats angepasst ist und daher mit zunehmender Dauer der Trockenheit eine hohe Sterblichkeit aufweist (VADHER et al. 2018), besitzen die anderen Arten sowie weitere Vertreter des Makrozoobenthos spezielle Anpassungsstrategien an temporäre Austrocknung der Gewässer (vgl. Tab. 3).

Diese Anpassungen lassen sich in folgende Kategorien zusammenfassen:

- (A) Überdauerung der zeitweiligen Austrocknung als (flugfähige) Adulte in feuchter Umgebung oder/ und semiaquatische Lebensweise (LORENZ 2000). Beispiele sind *Anacaena globulus*, *Agabus* sp. und *Helophorus* sp.
- (B) Diapause der Adulten, die Eiablage erfolgt erst nach der Trockenphase (WICHARD & REICHEL 1970, VERDONSCHOT et al. 1992, BOHLE 2000, LORENZ 2000). Beispiele sind *Limnephilus lunatus*, *Micropterna nycterobia* und *Stenophylax permistus*.
- (C) Verkürzung der Flugphase der Adulten (LORENZ 2000). Ein Beispiel ist *Plectrocnemia conspersa*.
- (D) Diapause im Ei- oder im Larvenstadium, d. h. Rückzug der Larven in Refugien bzw. in feuchtes Substrat. Die Diapause verhindert das Zusammenfallen der Trockenphase im Gewässer mit einem nicht angepassten Entwicklungsstadium (BOHLE 2000, LORENZ 2000). Beispielarten sind *Brachyptera risi* und *Chaetopteryx villosa*.
- (E) Eiablage außerhalb des Wassers (BOHLE 2000). Ein Beispiel ist *Stenophylax permistus*.

Bisher wurden nur von einem Bruchteil der Makroinvertebraten entsprechende Anpassungen untersucht, die in Tab. 3 genannten Literaturzitate stellen eine Zusammenfassung der bisherigen Kenntnisse in Mitteleuropa dar. Es ist deshalb anzunehmen, dass die Liste der Arten mit Strategien zum Überleben in zeitweilig trockenfallenden Quellen und Bächen noch länger wird.

Fazit

Auch wenn die meist sehr kleinräumige Einzelquelle oft nicht viele Arten aufweist, so stellt sich die nachgewiesene Fauna in den Kalktuffquellen doch in ihrer Gesamtheit als überaus artenreich dar. Diese Beobachtung wird auch durch die Literatur bestätigt (MARTIN & RÜCKERT 2011). Dies bedeutet im Umkehrschluss, dass viele Arten nur an einer oder an wenigen Quellen gefunden wurden und benachbarte Quellen sich auf Artniveau durchaus unterscheiden. Die Untersuchung der Ursachen für dieses mosaikartige Verteilungsmuster wäre eine interessante Aufgabe für die Zukunft. Zudem ist die Artengemeinschaft mit bis zu zwölf quelltypischen und bis zu sechs an trockenfallende Gewässer angepasste Arten an einzelnen Quellstandorten durch einen hohen Anteil von Spezialisten sowie einigen seltenen und damit besonders schützenswerten Arten gekennzeichnet.

Dank

Bei den Probenahmen wurden wir von Studierenden der Hochschule Anhalt unterstützt, wir bedanken uns diesbezüglich bei Sarah Westphal, Jella Schnirch und Martin Schultz. Wir möchten uns darüber hinaus bei einer Reihe von Kollegen bedanken, die Individuen ausgewählter Arten determinierten oder unsere Bestimmungsergebnisse überprüften, insbesondere bei Dr. Ulrich Bößneck (†) (*Pisidium*), Herrn Wolfgang Kleinsteuber (Trichoptera), Dr. Claus Orendt (Chironomidae, Plecoptera), Herrn Michael Seifert (Odonata) und Herrn Dietmar Spitzenberg (aquatische Coleoptera). Außerdem danken wir Henk J. Vallenduuk für die Mitteilung ökologischer Details zu *Chironomus*-Larven. Revierförster J. Walter danken wir für Angaben zur Holzentnahme im Quellbereich des Pfannenbrunnens.

Literatur

- BELL, J. R.; D. A. BOHAN, E. M. SHAW & G. S. WEYMAN (2005): Ballooning dispersal using silk: world fauna, phylogenies, genetics and models. – *Bulletin of Entomological Research* **95**: 69–114.
- BELLSTEDT, R. (2011): Rote Liste der Wasserkäfer (Insecta: aquatische Coleoptera) Thüringens. – 3. Fassung, Stand: 08/2011. – *Naturschutzreport* **26**: 179–188.
- BfN – Bundesamt für Naturschutz (2012): *Kaltuff-Quellen (Cratoneurion). – <https://www.bfn.de/lrt/0316-typ7220.html>. Letzter Zugriff am 18. März 2020.
- BOHLE, H.W. (2000): Anpassungsstrategien ausgewählter Organismen an temporäre Wasserführung – Insekten periodischer Fließgewässer in Mitteleuropa. – In NUA (Hrsg.) (2000): *Gewässer ohne Wasser. Ökologie, Bewertung, Management temporärer Gewässer*. Seminarbericht **5**: 53–71.
- BÖSSNECK, U. & D. REUM (2003): Mollusken in Quell-Lebensräumen Südhüringens (Mollusca: Gastropoda & Bivalvia). – *VERNATE* **28**: 191–182.
- BÖSSNECK, U. & D. von KNORRE (2011): Rote Liste der Schnecken und Muscheln (Mollusca) Thüringens. 3. Fassung, Stand: 04/2011. – *Naturschutzreport* **26**: 76–82.
- BREITFELD, R. (2011): Rote Liste der Köcherfliegen (Insecta: Plecoptera) Thüringens. 3. Fassung, Stand: 08/2010. – *Naturschutzreport* **26**: 297–306.
- BÜSCHER, T. & P. MARTIN (2016): Kalktuffquellen im Offenland: ein faunistisch „überschätzter“ FFH-Lebensraumtyp? – Deutsche Gesellschaft für Limnologie e.V. (DGL), *Erweiterte Zusammenfassungen der Jahrestagung*. – Tagungsband 2015: 194–199.
- DETTINGER-KLEMM, P.-M. A. (2000): Temporäre Stillgewässer – Charakteristika, Ökologie und Bedeutung für den Naturschutz. – NUA Seminarbericht **5**: 17–42.
- Europäische Union (1992): Richtlinie 92/43/EWG des Rates vom 21. Mai 1992 zur Erhaltung der natürlichen Lebensräume sowie der wildlebenden Tiere und Pflanzen. (Amtsblatt nr. L 206 vom 22/07/1992), zuletzt geändert durch RL 2006/105/EG des Rates v. 20.11.2006 (Abl. L 363 v. 20.12.2006).
- FAASCH, H. (2015): Bestimmungshilfe für aquatische und semiaquatische Dipterenlarven. – Hrsg: Deutsche Gesellschaft für Limnologie e.V., 179 S.
- FISCHER, J.; F. FISCHER, S. SCHNABEL & H. W. BOHLE (1998): Spring fauna of the Hessian Mittelgebirge: Population structure, adaptive strategies, and relations to habitats of the macroinvertebrates, as exemplified by springs in the Rhenisch metamorphic shield and in the East-Hessian sandstone plate. – In: BOTOSANEANU, L. (Hrsg.). *Studies in Crenobiology. The Biology of Springs and Springbrooks*. – Backhuys Publishers, Leiden, The Netherlands: 182–199.
- FOECKLER, F.; J. BREHM, R. RICHTER & O. DEICHNER (2007): Monitoring an Kalktuffquellen in der Frankenalb – In: LBV – Landesbund für Vogelschutz in Bayern e.V. (Hrsg.): *Kalktuffquellen in der Frankenalb*. – Tagungsband Life-Natur-Projekt „Optimierung von Kalktuffquellen und des Umfelds in der Frankenalb“.
- FOLTYN, S. (2000): Überlebensstrategien in sommertrockenen Lehm-Lössbächen. – In NUA (Hrsg.) (2000): *Gewässer ohne Wasser. Ökologie, Bewertung, Management temporärer Gewässer*. Seminarbericht **5**: 72–81.
- GERECKE, R.; F. STORCH, C. MEISCH & I. SCHRANKEL (2005): Die Fauna der Quellen und des hyporheischen Interstitials in Luxemburg. Unter besonderer Berücksichtigung der Acari, Ostracoda und Copepoda. – *Ferrantia* **41**: 1–140.
- GERECKE, R.; H. FRANZ & M. CANTONATI (2009): Invertebrate diversity in springs of the National Park Berchtesgaden (Germany): relevance for long-term monitoring. – *Verhandlungen des Internationalen Vereins für Limnologie* **30**: 1229–1233.
- GERECKE, R.; U. HECKES, M. HESS & E. MAUCH (2011). *Limnologische Untersuchungen von Fließgewässern und Quellen am Hohen Trauchberg, Ostallgäu/Bayerische Alpen*. – *Lauterbornia* **73**: 23–148.
- HAHN, H. J. (2000): Studies on classifying of undisturbed springs in southwestern Germany by macrobenthic communities. – *Limnologia* **30**: 247–259.
- HENDRICH, L. R. & PLATEN (2019): Die Wasserspinne *Argyroneta aquatica* (Clerck, 1757) (Arachnida: Araneae) in Berlin und Brandenburg. – Veröffentlichungen des Naturkundemuseums Potsdam 2018, **4**: 5–27.
- ILLIES, J. (Hrsg.) (1978): *Limnofauna Europaea*. – G. Fischer Verlag, Stuttgart, 532 S.
- ILMONEN, J. & L. PAASIVIRTA (2005): Benthic macrocrustacean and insect assemblages in relation to spring habitat characteristics: patterns in abundance and diversity. – *Hydrobiologia* **533**: 99–113.
- IRMSCHER, S. (2003): Faunistische, wasserchemische und vegetationsökologische Untersuchungen an ausgewählten Quellen der Halbinsel Jasmund (Rügen). – GRIN Verlag, München, 156 S. <https://www.grin.com/document/24982>.
- JORDAN H. & H.-J. WEDER (1995): *Hydrogeologie, Grundlagen und Methoden. Regionale Hydrogeologie: Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg und Berlin, Sachsen-Anhalt, Sachsen, Thüringen*. – Enke, Stuttgart, 603 S.
- LORENZ, A. (2000): Ökologische Auswirkung periodischer Wasserführung auf die Makroinvertebratenzönose eines Mittelgebirgsbaches im Weserbergland. – In NUA (Hrsg.) (2000): *Gewässer ohne Wasser. Ökologie, Bewertung, Management temporärer Gewässer*. Seminarbericht **5**: 129–146.
- LPR Landschaftsplanung Dr. Reichhoff GmbH (2017): *Managementplan (Fachbeitrag Offenland) für das FFH-Gebiet 197 „Waldgebiet um Wenderhütte mit Soolbachtal und Sonnenstein“ (DE 4428–303)*. – Abschlussbericht im Auftrag der Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie (TLUG). XII+155 S.
- MARTIN, P. & M. RÖCKERT (2011): Die Quellfauna Schleswig-Holsteins und ihre regionale Stenotopie. – *Faunistisch-Ökologische Mitteilungen* **9**: 171–224.
- MARTIN, P. & L. WISCHNIOWSKY (2014): Kalktuffquellen: FFH-Lebensraum ohne Charakterarten in der Limnofauna? – Deutsche Gesellschaft für Limnologie (DGL). *Erweiterte Zusammenfassungen der Jahrestagung 2013 (Potsdam)*, Hardegsen: 72–76.
- MARTIN, P.; R. GERECKE & M. CANTONATI (2015): Quellen. – In: BRENDLBERGER, H.; P. MARTIN, M. BRUNKE & H. J. HAHN (Hrsg.): *Grundwassergeprägte Lebensräume. Eine Übersicht über Grundwasser, Quellen, das hyporheische Interstital und weitere grundwassergeprägte Lebensräume*. – *Limnologie aktuell*, Bd. 14. Schweizerbart, Stuttgart: 49–132.
- MAUCH, E. (2017): Aquatische Diptera-Larven in Mittel-, Nordwest- und Nordeuropa. Übersicht über die Formen und ihre Identifikation. – *Lauterbornia* **83**: 1–404.
- MEYER, D. (1999): *Makroskopisch-biologische Feldmethoden zur Wassergütebeurteilung von Fließgewässern*. – Natur & Umwelt-Verlag, Hannover, 142 S.
- MOLLER PILLOT, H. K. M. (2013): *Chironomidae Larvae of the Netherlands and Adjacent Lowlands: Biology and Ecology of the Aquatic Orthocladiinae*. – KNNV Publishing, Zeist, The Netherlands, 314 S.
- ORENDT, C. (2000): The chironomid communities of woodland springs and spring brooks, severely endangered and impacted ecosystems in a lowland region of eastern Germany (Diptera: Chironomidae). – *Journal of Insect Conservation* **4**: 79–91.
- PETZOLD, F. & W. ZIMMERMANN (2011): Rote Liste der Libellen (Insecta: Odonata) Thüringens. 4. Fassung, Stand: 11/2009. – *Naturschutzreport* **26**: 105–110.
- PIRISINU, Q. (1981): Palpicorni (Coleoptera: Hydroaenidae, Helophoridae, Spercheidae, Hydrochidae, Hydrophilidae, Sphaeridiidae). – *Consiglio Nazionale delle Ricerche AQ/1/128*. *Guide per il riconoscimento delle specie animali delle acque interne italiane*, Verona **13**: 1–97.

- REIFF, N. (1994): Chironomidae (Diptera: Nematocera) oberbayerischer Seen und ihre Eignung zur Trophieindikation. – Dissertation, Ludwigs-Maximilian-Universität München, 297 S.
- REINHART, U. & C. ORENDT (1997): Waldbäche der Dübener und Dahlemer Heide. – In FELDMANN, R.; K. HENLE, H. AUGE, J. FLACHOWSKY, S. KLOTZ & R. KRÖNERT (Hrsg.): Regeneration und nachhaltige Landnutzung. Konzepte für belastete Regionen. – Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg: 130–136.
- REISS, M. (2011): Substratpräferenz und Mikrohabitat-Fauna-Beziehung im Eukrenal von Quellgewässern. Dissertation, Fachbereich Geographie an der Philipps-Universität Marburg, 244 S.
- REISS, M. & S. ZAENKER (2007): Quellen in der Rhön – Eine faunistisch-ökologische Erfassung im Biosphärenreservat Rhön: Anregungen und Berichte zum Biosphärenreservat Rhön. S. 153–163. – In: OTT, E. (Hrsg.): Beiträge Region und Nachhaltigkeit. Zur Forschung und Entwicklung im UNESCO-Biosphärenreservat Rhön. – Fulda, Heft 4.
- ROSSARO, B. & V. LENCIONI (2015): A key to larvae of *Diamesa* Meigen, 1835 (Diptera, Chironomidae), well known as adult males and pupae from Alps (Europe). – Journal of Entomological and Acarological Research 47: 123–138.
- ROZKOŠNÝ, R. (1978): Stratiomyidae. In: ILLIES, J. (Hrsg.): Limnofauna europaea. 2. Aufl. – Stuttgart, New York, Amsterdam: 461–464.
- RUMM, A.; O. DEICHNER, F. FÖECKLER, R. HOTZY & J. RÖMHELD (2011): Monitoring von Optimierungsmaßnahmen an Kalktuffquellen in der Frankenalb: Erweiterte Zusammenfassungen der Jahrestagung 2010 der Deutschen Gesellschaft für Limnologie e. V. (DGL) und der deutschen und österreichischen Sektion der Societas Internationalis Limnologiae (SIL). – Tagungsband 2010: 50–54.
- SACHTELEBEN, J.; T. FARTMANN, M., NEUKIRCHEN & K. WEDDELING (2010): Bewertung des Erhaltungszustandes der Lebensraumtypen nach Anhang I der Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie in Deutschland. – Im Auftrag des Bundesamtes für Naturschutz, FKZ 805 82 013: 87 S. https://www.bfn.de/fileadmin/BfN/monitoring/Dokumente/Bewertungsschemata_LRT_Sept_2010.pdf
- SCHINDLER, H. (2004): Bewertung der Auswirkungen von Umweltfaktoren auf die Struktur und Lebensgemeinschaften von Quellen in Rheinland-Pfalz. – Dissertation, Universität Koblenz-Landau.
- (2007): Quellschutz in Rheinland-Pfalz Zoologie und Struktur rheinland-pfälzischer Quellen. – In: LBV – Landesbund für Vogelschutz in Bayern e.V. (Hrsg.): Kalktuffquellen in der Frankenalb. – Tagungsband Life-Natur-Projekt „Optimierung von Kalktuffquellen und des Umfelds in der Frankenalb“, 203 S.
- SCHINDLER, H.; H. STEIN & H.-J. HAHN (2017): Quellen im Harz. – Wernigerode: Nationalparkverwaltung Harz, 224 S.
- SCHMEDTJE, U. & M. COLLING (1996): Ökologische Typisierung der aquatischen Makrofauna. – Informationsberichte des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft, München, 4/96: 1–543 S.
- SCHÖNBORN, W. (2003): Lehrbuch der Limnologie. – Schweizerbart, Stuttgart, 588 S.
- SMITH, H.; P. J. WOOD & J. GUNN (2003): The influence of habitat structure and flow permanence on invertebrate communities in karst spring systems. – Hydrobiologia 510: 53–66.
- SOMMERHÄUSER, M. 2000: Sommerrockene Fließgewässer im nordrhein-westfälischen Tiefland – Lebensbedingungen und Lebensgemeinschaften. – NUA Seminarbericht 5: 101–114.
- STUBBS, A. & M. DRAKE (2001): British Soldierflies and their Allies: A Field Guide to the Larger British Brachycera. – British Entomological & Natural History Society, 512 S.
- TLUBN, Thüringer Landesamt für Umwelt, Bergbau und Naturschutz (ohne Jahr): Landkreis Eichsfeld – Wasserwirtschaft. Abgerufen am 19.06.2020 von http://www.tlug-jena.de/uw_raum/umweltregional/eic/eic08.html.
- VADHER, A. N., J. MILLETT, R. STUBBINGTON & P. J. WOOD (2018): The duration of channel drying affects survival of *Gammarus pulex* (Amphipoda: Gammaridae) within subsurface sediments: an experimental flume study. – Hydrobiologia 820: 165–173.
- VALLENDUUK, H. J. (2017): Chironomini larvae of western European lowlands (Diptera: Chironomidae). Keys with notes to the species. – Lauterbornia 82: 1–216.
- VERDONSCHOT, P. F. M.; L. W. G. HIGLER, W. F. VAN DER HOEK & J. G. M. CUPPEN (1992): A list of macroinvertebrates in Dutch water types: A first step towards an ecological classification of surface waters based on key factors. – Hydrobiological Bulletin 25: 241–259.
- WAGNER, R. (1978): Ptychopteridae. In: ILLIES, J. (Hrsg.): Limnofauna europaea. 2. Aufl. – Stuttgart, New York, Amsterdam, S. 386.
- WAHRINGER, J. & W. GRAF (2011): Atlas der mitteleuropäischen Köcherfliegenlarven. – Erik Mauch Verlag, Dinkelscherben, 469 S.
- WICHARD, W. & H. REICHEL (1970): Zur Trichopterenfauna periodischer Gewässer. – Nachrichtenblatt der Bayerischen Entomologen 18: 57–58.
- ZOLLHÖFER, J. M. (1997): Quellen – die unbekanntesten Biotope im Schweizer Jura und Mittelland: erfassen, bewerten, schützen. Bristol-Schriftenreihe Band 6, Bristol-Stiftung, Ruth und Herbert Uhl-Forschungsstelle für Natur- und Umweltschutz, 153 S.

Adressen der Autoren:

Prof. Dr. Erik Arndt
Hochschule Anhalt, Fachbereich LOEL
Strenzfelder Allee 28, D-06406 Bernburg
E-mail: Erik.Arndt@hs-anhalt.de

Sarah Müller
Hochschule Anhalt, Fachbereich LOEL
Strenzfelder Allee 28, D-06406 Bernburg
E-mail: 1996sarahmueller@web.de

Antje Ehrle
Landschaftspflegeverband „Mittelthüringen“ e.V.
Am Stausee 36, D-99439 Am Ettersberg
E-mail: ehrle@lpv-mittelthueringen.de

Dr. Helke Gröger-Arndt
N2N – Fachbüro für Landschaftsökologie und
Naturschutz
Mottelerstraße 3, D-04155 Leipzig
E-mail: helke_groeger-arndt@arcor.de

Arne Willenberg
Naturpark Eichsfeld-Hainich-Werratal –
Naturparkzentrum und Verwaltung
Fürstnhagen, Dorfstraße 40, D-37318 Lutter
E-mail: Arne.Willenberg@nnl.thueringen.de

Franziska Döll
Biosphärenreservat Karstlandschaft Südharz
Hallesche Straße 68a, D-06536 Südharz, OT Roßla
E-mail: Franziska.Doell@suedharz.mule.sachsen-anhalt.de