

**Bewertung der Auswirkungen von Umweltfaktoren
auf die Struktur und Lebensgemeinschaften
von Quellen in Rheinland-Pfalz**

Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
im Institut für Naturwissenschaften der Universität Koblenz-Landau, Abt. Biologie

vorgelegt von
Holger Schindler
aus Kaiserslautern

Schwarzbach, im August 2004

Unter der Erde murkst etwas,
unter der Erde auf Erden.
Pitschert, drängelt. - Was will das
Ding oder was wird aus dem Ding,
das doch in sich anfing, einmal werden??
Knolle, Puppe, Keim jeder Art
hält die Erde bewahrt,
um sich vorzubereiten
für neue Zeiten.
Die Erde, die so viel Gestorbenes deckt,
gibt dem Abfall, auch Sonderlingen
Asyl und Ruhe und Schlaf. Und erweckt
sie streng pünktlich zu Zwiebeln, zu Schmetterlingen.
Zu Quellen, zu Kohlen - - -
Unter der Erde murkst ein Ding,
irgendwas oder ein Engerling.
Zappelt es? Tickt es? Erbebt es? -
Aber eines Tages lebt es.
Als turmaufkletternde Ranke,
als Autoöl, als Gedanke - - -
Fäule, Feuchtigkeit oder feiner Humor
bringen immer wieder Leben hervor.

JOACHIM RINGELNATZ

Inhaltsverzeichnis

A	Einleitung	1
B	Untersuchungsgebiet	9
	B 1 Lage, Besiedlungsstruktur und Klima von Rheinland-Pfalz	9
	B 2 Geologie, Böden, Vegetation und Nutzung	9
	B 3 Hydrologie und Hydrographie	12
	B 4 Naturräumliche Gliederung	14
	B 5 Lage der untersuchten Quellen	18
C	Methodik und Vorgehensweise	21
	C 1 Abgrenzung von Quellen	21
	C 2 Voruntersuchungen und Auswahl der Quellen	22
	C 3 Stichprobe, Bearbeitungszeitraum und zeitliche Vorgehensweise	25
	C 4 Erfassung der Stamm- und Strukturdaten	27
	C 5 Probenahme von Hydrochemie und Fauna	27
	C 6 Auswertung und Analyse der Daten	30
	C 7 Ökologische Bewertung	32
	C 8 Kartier- und Bewertungsverfahren zur Quellstruktur	33
	C 8.1 Das kompakte Verfahren zur Quellstruktur	33
	C 8.2 Der Kartierbogen zur Quellstruktur	34
	C 8.3 Kartierung und Bewertung der Quellstruktur	34
	C 8.3.1 Gliederung des Quellstrukturbogens	34
	C 8.3.2 Materialien und Techniken zur Kartierung	34
	C 8.3.3 Erläuterung zur Kartierung und Abgrenzung von Quellen	36
	C 8.3.4 Erläuterungen zu den Merkmalsgruppen im Strukturbogen	37
	C 8.3.5 Berechnung der Bewertungsklasse	48
D	Ergebnisse	50
	D 1 Naturkundliche Übersicht über die Quellen von Rheinland-Pfalz	50
	D 1.1 Landesweite hydrogeologische Übersicht und Quellraumbene	50
	D 1.2 Beschreibung der abgegrenzten hydrogeologischen Quellräume in Rheinland-Pfalz	52
	D 1.3 Ebene des Einzugsgebietes	56
	D 1.4 Ebene des Quellumfeldes und Quellbereichs	59
	D 2 Die Struktur von Quellen in Rheinland-Pfalz	61
	D 2.1 Ergebnisse des Strukturbewertungsverfahrens und natürliche Strukturen	61
	D 2.2 Anthropogene Strukturveränderungen	66
	D 2.3 Morphologische Quelltypologie von Rheinland-Pfalz	70
	D 2.3.1 Morphologische Quelltypen	71
	D 2.3.2 Die vier Basisquelltypen	72
	D 2.3.3 Gemeinsamkeiten naturnaher Basisquelltypen	74
	D 2.3.4 Geochemische Sondertypen	75
	D 2.3.5 Morphologisch nicht zugeordnete Quellen	77
	D 2.3.6 Verteilung der Quelltypen in Rheinland-Pfalz	78
	D 2.4 Strukturreferenzquellen	80
	D 3 Hydrochemie der Quellen in Rheinland-Pfalz	83
	D 4 Die Fauna von Quellen in Rheinland-Pfalz	95
	D 4.1 Nachgewiesene Arten	95
	D 4.2 Naturräumliche Verteilung der Fauna	106
	D 4.2.1 Naturräumliche Übersicht	106

D 4.2.2	Verteilung ausgewählter Arten	109
D 4.3	Auswirkung der erfassten Faktoren auf die Fauna	112
D 4.3.1	Fauna und Hydrochemie	112
D 4.3.2	Fauna und Struktur	119
D 4.3.3	Untersuchung ausgewählter Quellen der Pfalz	127
D 4.4	Faunistische Verfahren und Referenzquellen	128
D 4.5	Referenzzönosen und Leitarten	141
E	Diskussion	145
E 1	Naturkundliche Übersicht über die Quellen von Rheinland-Pfalz	145
E 1.1	Landesweite hydrogeologische Übersicht und Quellraumbene	145
E 1.2	Beschreibung der abgegrenzten hydrogeologischen Quellräume in Rheinland-Pfalz	147
E 1.3	Ebene des Einzugsgebietes	147
E 1.4	Ebene des Quellumfeldes und Quellbereichs	149
E 2	Die Struktur von Quellen in Rheinland-Pfalz	149
E 2.1	Ergebnisse des Strukturbewertungsverfahrens und natürliche Strukturen	149
E 2.2	Anthropogene Strukturveränderungen	153
E 2.3	Morphologische Quelltypologie von Rheinland-Pfalz	154
E 2.4	Strukturreferenzquellen	158
E 3	Hydrochemie der Quellen in Rheinland-Pfalz	159
E 4	Die Fauna von Quellen in Rheinland-Pfalz	164
E 4.1	Nachgewiesene Arten	164
E 4.2	Naturräumliche Verteilung der Fauna	170
E 4.3	Auswirkung der erfassten Faktoren auf die Fauna	171
E 4.3.1	Fauna und Hydrochemie	174
E 4.3.2	Fauna und Struktur	177
E 4.3.3	Untersuchung ausgewählter Quellen der Pfalz	181
E 4.4	Faunistische Verfahren und Referenzquellen	183
E 4.5	Referenzzönosen und Leitarten	187
F	Zusammenfassung	190
G	Literaturverzeichnis	193
H	Anhang	204
H 1	Monatssummen der Niederschläge im Untersuchungszeitraum (1998 - 2002)	
H 2	Quellerfassungsbogen für Struktur und Umfeld, Rückseite (Chemie, Fauna, Flora)	
H 3	Tabelle speichernutzbarer Hohlraumanteil verschiedener Locker- und Festgesteine	
H 4	Kurzbeschreibung der neun intensiver beprobten Quellen der Pfalz	
H 5	Artenlisten der drei am besten bewerteten Quellen der Pfalz	
H 6	Liste der 56 Referenzquellen mit Eckdaten	
H 7	Fotos ausgewählter Referenzquellen	
H 8-11	Datenbank aller Quellen, Teile Stammdaten, Struktur und Umfeld, Hydrochemie, Fauna (Standortlisten) mit ökologischer Wertzahl nach Fischer (1996), verändert	
H 12	Faunaliste nach SCHMEDITJE & COLLING (1996) mit DV-Nr. und ökologischer Typisierung	
H 13	Faunaliste der zusätzlichen 48 Taxa mit Erstbeschreiber	
H 14	Überblick über die Ergebnisse der faunistischen Verfahren und Zusatzabbildungen	

Danksagung

Dass die Arbeit in vorliegender Form erstellt werden konnte, verdanke ich der Unterstützung vieler. Zunächst Herrn Prof. Dr. Eckhard Friedrich und Herrn Prof. Dr. Gero Koehler für die Annahme des Themas und die Begutachtung der Arbeit.

Herrn Dr. Hans Jürgen Hahn danke ich besonders für die intensive und freundschaftliche Betreuung, die vielen fachlichen Diskussionen und für die Rezension der Arbeit. Letzteres gilt auch für meinen langjährigen und geschätzten Kollegen Dr. Wolfgang Frey.

Meiner Arbeitsgruppe in Landau, besonders Herrn Mag. Andreas Fuchs und Herrn Dipl.-Ökol. Dirk Matzke sowie meiner Arbeitsgruppe in Kaiserslautern, besonders Frau Yulyia Vladimirova, Frau Leonie Geef, Frau Christel Möhlmann, Frau Alexandra Thömmes und Frau Brigitte Kolbe, Herrn Dirk Barz und Herrn Jens Gilcher danke ich für die fachliche und technische Unterstützung und die Geduld, die sie mir entgegenbrachten.

Ansonsten danke ich meinen Eltern, Frau Dipl.-Biol. Désirée Maaß und Frau Dipl.-Phys. Amrie Landwehr für ihre Unterstützung und Rücksicht in den letzten Jahren.

A Einleitung

„Alles hängt - irgendwie - mit allem zusammen“ HANS ALBERT (1991), kritischer Rationalismus

Der Nachweis dieser scheinbar trivialen Vermutung war für die klassische Naturwissenschaft eine Herausforderung, da bis in die heutige Zeit hinein die deterministisch geprägte, atomistische Naturphilosophie dominiert. Die mechanistischen Vorstellungen basieren auf der griechischen Logik, die die Welt analytisch in überschaubare Einheiten und Teildisziplinen zerlegt. Obwohl dieses reduktionistische Denken in gewisser Hinsicht sehr erfolgreich war - so bildet das Kausalgesetz laut Max Planck unseren wertvollsten Wegweiser (SCHLICHTING 2002) – wurden Wechselbeziehungen vernachlässigt. Vermeintliche Grenzen stellten sich als nicht haltbar heraus und isolierte Betrachtungen ergaben ein falsches Bild. Dies führt nach Meinung von Wissenschaftstheoretikern so weit, dass ein neuer Ganzheitsbegriff nötig wird, um die immer komplexer werdenden Probleme, mit denen wir es in unserer Umwelt zu tun haben, lösen zu können (PRIMAS 1996). Solche Erkenntnisse finden sich interessanterweise bereits in östlichen, holistischen Weltanschauungen.

Als Ernst Haeckel 1866 den Begriff Ökologie prägte, stellte er erstmalig die Wechselbeziehungen der Lebewesen mit ihrer belebten und unbelebten Umwelt in den Mittelpunkt. Wechselwirkungen zeigen sich auch bezüglich der Nutzung natürlicher Ressourcen, etwa im Wasserkreislauf, wo Auswirkungen menschlicher Eingriffe schwer vorhersehbar sind. Obwohl die Komplexität gerade bei Langzeitwirkungen groß ist, sind Prognosen aufgrund der geforderten Nachhaltigkeit bei der Nutzung dieser Ressourcen unabdingbar. Zur Nachhaltigkeit gehört neben dem vorrausschauenden Umgang auch der Schutz der Biodiversität. Hier ist besonders die vor etwa 20 Jahren begründete Disziplin der Naturschutzforschung bzw. conservation biology zu erwähnen (JAX 2003). Die Anstrengungen im Gewässerschutz werden in der Europäischen Union aktuell gebündelt durch die EU-Wasserrahmenrichtlinie (EU 2000). Grundlage der Bewertung ist die Erforschung ökologischer Zusammenhänge, wobei große Unterschiede zwischen einzelnen limnologischen Teilbereichen existieren. Sind Bäche, Flüsse und Stillgewässer gut untersucht, klafft beim Grundwasser und bei Quellen noch eine große Kenntnislücke.

Quellen spielen eine wichtige wirtschaftliche Rolle für die Trinkwassergewinnung, obwohl sie nach und nach durch Tiefbrunnen ersetzt werden. Viele Kulturdenkmäler an Quellen befinden sich in Siedlungszentren. Als kulturhistorische Orte besitzen Quellen einen hohen Stellenwert in Mythologie, Sagen und Legenden. Dies dürfte damit zusammenhängen, dass die Quelle im Berg „verschwindet“ und der Ursprung des Wassers unsichtbar bleibt. So wurden Quellen zum Mysterium der Natur und zum Symbol für den Beginn des Lebens. Brunnenheiligtümer sind im keltischen, römischen wie im christlichen Kulturkreis bekannt. Hier wurden Symbolhandlungen oder rituelle Waschungen durchgeführt, so die Taufe im frühen Christentum. Noch heute werden Münzen als Glücksbringer („Quellopfer“) in Brunnen geworfen. In der Kunst ist die Quelle Symbol von Reinigung und Heilung, des Kreislaufs, der Fruchtbarkeit, des Unbewussten, der Sexualität, der Wahr- und Weisheit sowie der schöpferischen Tätigkeit (BAUR 1989).

In der Limnologie finden Quellen erst seit etwa zehn Jahren größeres Interesse. Trotz ihrer Vielfalt wurden Quellen in der Vergangenheit meist auf ihre Funktion als Wasserspender reduziert. Mittlerweile gewinnen die sensiblen Kleinbiotope aber auch ökologischen Stellenwert. Dies ist nicht zuletzt darin begründet, dass sie zu den am stärksten bedrohten Lebensräumen Mitteleuropas gehören. Quellbiotope sind in Deutschland nach dem Bundesnaturschutzgesetz (§30) und in Rheinland-Pfalz nach dem Landespflegegesetz (§ 24) geschützt. Nach POTT (1996) sind die häufigsten Gefährdungen Fassungen und Wasserabsenkungen, Ausbau, Dränagen und Verschmutzung (Eutrophierung). Waldquellen sind besonders durch Wasserentnahmen und Fassungen gefährdet, aber auch durch Wildtritt, Fichtenforste, Schlagholzrücken und Besucherdruck. Offenlandquellen werden häufig trocken gelegt, gekoppelt mit Nährstoffeinträgen und Pestizidbelastungen. Eine

A Einleitung

vor kurzem in Rheinland-Pfalz durchgeführte Kartierung ergab, dass sich nur noch etwa 20 % der Quellen in einem naturnahen Zustand befinden (SCHINDLER & HAHN 2000). Da auch Studien aus anderen Teilen Europas zeigen, dass die meisten der oft unscheinbaren Quellbiotope geschädigt sind (ZOLLHÖFER 1997), ist dringender Handlungs- und Forschungsbedarf gegeben. Nur bei entsprechendem Kenntnisstand können Maßnahmen zu ihrem Schutz in die Wege geleitet werden.

Quellschutz fand bisher nur vor dem Hintergrund der Trinkwassergewinnung statt, so dass wasserwirtschaftlich ausgewiesene Quellschutzgebiete Trinkwassergewinnungsanlagen und nicht Quellbiotope sichern. Da einerseits die Fördermenge und andererseits die Verschlechterung der Wasserqualität durch Verschmutzungen oberflächennaher Grundwasserschichten steigt, tritt die Quellwasserentnahme langsam in den Hintergrund (HAHN & SCHINDLER 2001). Stattdessen fördern Tiefbrunnen Tiefengrundwasser, während Quellen häufig durch oberflächennäheres und somit belasteteres Grundwasser gespeist werden. Die Folge der Stickstoffbelastung sind hohe Nitratausträge aus Quellen intensiv landwirtschaftlich genutzter Räume. Der Grund der Störungsempfindlichkeit von Quellbiotopen liegt in der relativen Nährstoffarmut und kleinflächigen Konstanz der Lebensbedingungen. Auf engstem Raum findet sich eine Fülle kleinräumiger Habitate, in denen sich ihre Lebensgemeinschaften wie auf Inseln konzentrieren. Die Isolation wird dadurch verstärkt, dass viele Quellen bereits zerstört sind und naturnah besiedelte Quellen weit auseinanderliegen. Die Migration von Krenobionten wird auf diese Weise erschwert, vor allem bei der Wiederbesiedlung gestörte Habitate.

Schätzungen zufolge dürften in Rheinland-Pfalz bis zu 100.000 Quellen existieren, wobei die meisten periodisch trocken fallen oder nur zeitweilig schütten (SCHINDLER 2000). Weniger als die Hälfte dürfte ganzjährig schütten. Dabei sind Quellen - wie es häufig getan wird - keineswegs nur punktuell zu betrachten. Größere Sturzquellen erreichen Längenausdehnungen von über 100 Metern. Bei Quellen sticht die große Anzahl, die Differenzierung ihrer Morphologie und die daraus folgende Habitatvielfalt hervor. Sie bilden einen weitgehend eigenständigen Lebensraum - das Krenal (ZOLLHÖFER 1997). Auf die Abgrenzung von Quellen zu anderen Biotopen geht Kapitel C ein. Sind Quellen naturnah ausgeprägt, konzentriert sich an ihren Kleinhabitaten eine hohe Artenvielfalt aus aquatischen und semiaquatischen Organismen (FISCHER 1998). Quellen sind außerdem Sonderstandorte für spezielle Pflanzengesellschaften und Biotoptypen (POTT 1996). Zum Thema Quellschutz wurde in Deutschland bereits viel Informationsmaterial für Laien veröffentlicht (HUTTER 1996, HOHENBERGER 1989, BLAUSCHECK 1992, LAUKÖTTER et al. 1992, LÖLF 1994, HEBLIK et al. 1992, BISS 1999, BUND 1999, PAULUS 1995, <http://www.wasser-macht-schule.de/pub/f01quellen/galerie.htm>).

In der Wissenschaft wurden Quellen lange Zeit vernachlässigt, obwohl der Gewässerkundler THIENEMANN (1924) bereits Mitte der 20er Jahre des letzten Jahrhunderts diese Lebensräume untersuchte. In jüngerer Zeit werden Quellen in Biologie und Ökologie aber immer stärker berücksichtigt (GfQ 1992-1999, BOTOSANEANU 1998, FISCHER 1996c, CREMA et al. 1996, FERRINGTON 1995, LINDEGAARD & THORUP 1975, VERDON-SCHOT & SCHOT 1987, WAGNER et al. 1998). Insbesondere wird beachtet, dass Quellen keine „Anhängsel“ der Bäche, sondern eigenständige Biotope mit einer ebensolchen Fauna und Flora sind. Wurden sie in alten Lehrbüchern der Fließgewässerökologie selten genannt und als Lebensräume dargestellt, nehmen sie heute in einschlägigen Lehrbüchern der Gewässerökologie wie in BOHLE (1995) eigene Kapitel ein.

Quellen haben besondere Bedeutung als wissenschaftliche Forschungsobjekte. E. P. ODUM (1983) schreibt hierzu: „Quellen sind für den aquatischen Ökologen natürliche Laboratorien mit konstanter Temperatur. Wegen ihrer relativen Konstanz der chemischen Zusammensetzung, Wasserführung und Temperatur im Vergleich zu Seen, Flüssen, Meer und terrestrischen Gemeinschaften, sind Quellen als Untersuchungsobjekte in einer Weise wichtig, die nicht im Verhältnis zu ihrer Größe und Zahl steht“. H.T. ODUM (1957) beschäftigte sich in ökologischen Pionierarbeiten mit dem Stoffwechsel von Quellzönosen, wobei Analysen der Biomasse mit in situ-Messungen des Energieflusses und Stoffaustausches kombiniert wurden. Untersu-

chungsobjekt waren die Silver Springs in Florida, ein Spezialfall für Quellen (große Hartwasserquelle, Makrophyten und Algen als Primärproduzenten), der nicht auf kleinere Silikatquellen in Europa übertragbar ist. Außerdem nennt E. P. ODUM heiße Quellen als Sonderfall für besonders konstante Bedingungen. E. P. ODUM (1983) betont außerdem die Funktion der Quellen als „Zufluchtstätten“ aquatischer Organismen bei Klimaänderungen und zitiert hierzu THIENEMANN (1926), der *Crenobia alpina* und *Hygrobatas norvegicus* als Glazialrelikte nennt.

Quellen haben eine große Bedeutung im Umweltmonitoring (BEIERKUHNLEIN 1996), da sie als Spiegel ihrer Einzugsgebiete Auskunft über die Qualität des Grundwassers geben. Da die chemischen und physikalischen Bedingungen im Krenon teilweise sehr konstant sind, geben langjährige Untersuchungen Auskunft über Veränderungen im Einzugsgebiet. Bei Umweltbeeinträchtigungen erlauben Quellen Rückschlüsse auf den Landschaftswasserhaushalt und sind Messpunkte für verschiedene Parameter der Hydrologie wie Schüttungsmenge und –periodik, aber auch für Pestizid- und Nährstoffbelastungen sowie die Versauerungsindikation. Auch Grundwasserentnahmen können überwacht werden, wobei Tracer- bzw. Isotopenmessungen die Bestimmung der Abflusswege und der Verweilzeit des Grundwassers erlauben (OSTER 1996, 1997). Außerdem sind einige Quellen zur Überwachung globaler Temperaturveränderungen geeignet, da ihre Wassertemperatur dem Jahresmittel der Lufttemperatur entspricht. Zudem können großflächige Gebiete überwacht werden, was sonst nur schwer zu leisten ist. Noch werden diese Möglichkeiten relativ selten genutzt.

Quellen sind nach wie vor Orte der Biodiversitätsforschung (WEIGAND 1999). In den vergangenen Jahren und besonders seit 1992 - der Konferenz von Rio - hat die Biodiversitäts- und mit ihr die Quellforschung einen Aufschwung genommen. Die Kleinräumigkeit und Isolation schaffen Bedingungen für Spezialisten, deren Verbreitung räumlich begrenzt ist. Besonders bei der Meiofauna werden noch neue Arten beschrieben. Auch die genaue Verbreitung makrobenthischer Quellarten ist noch weitgehend unbekannt. In der Debatte um Nachhaltigkeit kommt der Erhaltung der Biodiversität großes Gewicht zu, wobei die Erhaltung biotoypischer Arten im Zentrum ihrer natürlichen Verbreitung im Mittelpunkt steht (MAYER, CLEMENS & FISCHER 2002). In der hochspezialisierten Quellfauna, die sich an die Konstanz des kleinräumigen Mosaiks von Habitaten und Feuchtegradienten angepasst hat, sind praktisch alle limnischen Wirbellosen vertreten. Die Quellzoozönose mit hochstenöken Krenobionten grenzt sich dabei in der Längszonierung deutlicher ab als alle anderen Fließgewässerabschnitte untereinander (ILLIES 1952, ZOLLHÖFER 1997).

Obwohl in älterer Literatur oft die geringe oder fehlende Besiedlung der Quellen angeführt wird, ist es umso erstaunlicher, dass mittlerweile in Quellen fast genauso viele Arten beschrieben sind wie in Bächen. Da Quellen keinen einheitlichen Lebensraum darstellen, ist ihre Fauna entsprechend heterogen (BOHLE 1995). Die Gesamtartenzahl in europäischen Quellen beträgt nach ZOLLHÖFER (1997) bzw. ILLIES (1978) rund 1500 Arten. 465 Arten sind krenophil (bevorzugt) oder krenobiont (ausschließlich in Quellen, ILLIES 1978). Zwar finden sich in einzelnen Quellen aufgrund der Kleinräumigkeit und der relativen Nährstoffarmut auch tatsächlich weniger Arten in kleineren Populationen als in Bächen, die Vielzahl unterschiedlicher Habitate und Quelltypen bedingt allerdings die große faunistische Gesamtartenzahl. Trotzdem sind im Krenon geringere Individuenzahlen pro Flächeneinheit und durchschnittlich geringere Größen der Makrozoobenthosorganismen charakteristisch. Krenobionte Taxa finden sich vor allem bei Turbellarien, Gastropoden, Crustaceen, Trichopteren und Dipteren. Zusätzlich zum Makrozoobenthos ist das Krenon von einer reichhaltigen Meiofauna aus Nematoden, Wassermilben und Kleinkrebsen besiedelt. Eine ökologische Einstufung der meisten Makrozoobenthosarten Deutschlands machen SCHMETDJE & COLLING (1996).

Da die Quellfauna empfindlich auf Veränderungen der Hydrologie, Temperatur und Hydrochemie reagiert, ist sie für Bewertungsfragen aus wissenschaftlicher und naturschutzfachlicher Sicht gut geeignet. Es ist von naturraumtypischen Artengemeinschaften auszugehen (SCHINDLER & HAHN 2002a).

Umstritten und wenig bekannt sind die Faktoren, die Krenobionten an das Krenon binden. Als „klassischer“ Bindungsfaktor gilt die Kaltstenothermie, da in Quellen sowohl kälteliebende, alpin-arktische Glazialrelikte wie *Bythinella sp.* leben, als auch frostempfindliche atlantisch-submediterrane Arten wie *Agapetus fuscipes*. So verweist ODUM (1983) darauf, dass arktische Insekten in norddeutschen Quellen vorkommen. Durch die Temperaturkonstanz entwickeln sich viele Insektenlarven im Winter weiter, weshalb die Flugzeit der Imagines früher liegt als bei Arten und Populationen aus dem Rhithral. Die Entwicklungszeit ist aber oft lang und beträgt etwa für *Crunoecia irrorata* zwei Jahre und für *Cordulegaster sp.* bis zu sechs Jahre. Rhithralarten schließen ihren Entwicklungszyklus in der Regel nach einem Jahr ab. FISCHER (1996b) nennt neben der Kaltstenothermie weitere Faktoren, die bei der Bindung an das Krenon eine Rolle spielen. Wichtig sind danach neben der Nährstoffarmut der konstante Feuchtigkeitsgradient in Verbindung mit Substratbenetzungen bei geringer Strömung, kleinklimatische Faktoren und fehlender Konkurrenzdruck (FISCHER 1996b).

Bindungen an das Krenon betreffen verschiedene natürliche Choriotope, wobei diese vor allem kleiner als in Bächen und oft auch nur einmal vorhanden sind, so dass jede Quelle ein Mosaik von Mikrohabitaten und besonderen Strukturen aus bildet, auf die spezielle Organismen angewiesen sind. Bestimmte Psychodidenlarven (Schmetterlingsmücken) leben z. B. ausschließlich in überrieselten Moospolstern, in denen sie festgehakt auch stärkerer Strömung widerstehen. Die Sensibilität des Quellbiotops hängt eng mit den kleinräumigen Populationen zusammen (kleiner Genpool). Die Seltenheit naturnah besiedelter Quellen verschärft die Isolation, da der Abstand zwischen naturnahen Quellen die Wiederbesiedlung und damit die Empfindlichkeit des Quellbiotops beeinflusst. Die Isolation führt nicht selten zur Bildung endemischer Arten mit kleinräumiger biogeographischer Verteilung wie bei den Quellschneckenarten der Gattung *Bythinella*. Stark ausgeprägt ist der Endemismus bei Turbellarien, harpacticoiden Copepoden und Ostracoden (Kleinkrebse), Gammariden sowie bei Mollusken, alles substratgebundene Tiere (LAMPERT & SOMMER 1993).

Die minimal schwankenden Standortbedingungen führten zur Entwicklung hochstenöker Arten mit speziellen Anpassungen, die Sekundärbiotope nicht mehr besiedeln können (ZOLLHÖFER 1997). Unterhalb treten Konkurrenzdruck, neue Fraßfeinde und neben wechselnden chemisch-physikalischen Bedingungen eine größere Hydro- und Morphodynamik auf. Da Strömung für Krenobionten die ständige Gefahr bedeutet, aus dem Quellbereich verdriftet zu werden, haben sie Strömungsanpassungen entwickelt, die ein Abdriften verhindern. Die Quellerbsenmuschel *Pisidium personatum* ist durch eine charakteristische Form der Brutpflege angepasst. Sie gebärt wegen der Abdriftgefahr keine Larven, sondern kleine Jungmuscheln, die sich durch ihr Schalgewicht in der Strömung halten können.

In Quellen ist der Verbreitungsweg durch organismische Drift aufgrund der terminalen Lage im Fließgewässersystem stark eingeschränkt, was den Hauptgrund für die erschwerte Wiederbesiedlung darstellen dürfte (LAMPERT & SOMMER 1993). Drift ist normalerweise der Hauptfaktor für die Verbreitung von Fließgewässerorganismen, die auch aktiv zur Flucht und Nahrungssuche angewendet wird. Verglichen mit Bächen finden sich erst nach relativ langer Zeit biotoptypische Arten ein. Eine Untersuchung von ZOLLHÖFER (1997) hat ergeben, dass erst nach mehreren Jahren die Hälfte der vorher vorhandenen Quellarten in geringen Häufigkeiten wieder einwanderten, wenn die Störungsursache beseitigt wurde. Da bei Ausfall einer Art die Wiederbesiedlung aus weit entfernten Quellen stattfinden muss, wirken sich Eingriffe stark aus. Die Ausbreitungswege von Quellorganismen liegen noch weitgehend im Dunkeln, wobei der Faunenaustausch vor allem über drei Wege stattfinden dürfte: über das Grundwasser (z. B. bei *Bythinella sp.* *Crenobia alpina*), über emergierende Stadien (bei Steinfliegen, Köcherfliegen und Dipteren) sowie über die Oberläufe (bei Quellbacharten). Dies ist aber noch weitgehend ungeklärt (ZOLLHÖFER 1997), so ist auch die passive Verfrachtung durch Vektoren denkbar, wenn Eier oder austrocknungsresistente Stadien passiv von einer Quelle zur nächsten verschleppt werden. Mögliche Vektoren sind Säugetiere (Wildschweinsuhlen) oder Vögel. Voraussetzung ist die Nähe naturnaher Quellen.

Besonders die Bedingungen der Atmung erfordern spezielle Anpassungen. Die hydrophoben Haarkränze vieler Dipteren dienen der Respiration von Luftsauerstoff durch das Oberflächenhäutchen der Wasseroberfläche (WAGNER et al. 1998). Bedingt durch die Wasserbenetzung großer Substratoberflächen bei geringen Wassertiefen kommt es zu überdurchschnittlich hohen Anteilen von Luftatmern und zur Kiemenreduktion aquatischer Organismen wie bei einigen Köcherfliegenarten. Viele Arten leben im dünnen Wasserfilm bzw. auf der Wasseroberfläche (Fauna hygropetrica), so etwa die Dixidae, Thaumaleidae und Psychodidae. Weitere Anpassungen hängen mit der Schüttungsdynamik von Quellen zusammen und betreffen vor allem Organismen in periodischen und temporären Quellen, Wanderquellen sowie in ihrer Ausdehnung sich ändernden Sickerquellen. Hierzu zählen Dormanz (Ruhestadium), Parthenogenese und die desynchrone Entwicklung von Larve und Schlupfzeitpunkt als Risikostreuung, da das Risiko schlechter Bedingungen für die Eiablage zu hoch wäre, wenn das Emergenzgeschehen auf eine kurze Zeitspanne fällt. Dass zyklische Massenvermehrungen wie in Bächen zum Schutz vor Feinden auch in Quellen vorkommen, ist nicht unwahrscheinlich („Strategie der Unvorhersehbarkeit“, vgl. FISCHER et al. 1998).

Kleine Fließgewässer und Quellen sind als heterotrophe Systeme im Wesentlichen von Außen bestimmt, so dass das Gesamtökosystem Quelle weit über dessen Ufer hinausgeht (Energiefixierung). Das Einzugsgebiet bestimmt Hydrochemie und Schüttungsdynamik, das Umfeld den Nahrungseintrag. Obwohl die vielfältigen Wechselwirkungen schwer zu durchschauen sind, bietet die eingeschränkte Dynamik gerade bei größeren Quellen die Chance der Erforschung dieser Zusammenhänge. Ein Schlüsselfaktor ist die Anpassung an Strukturen, die vom natürlichen Umfeld gewährleistet werden. Falllaub, Totholz und Wurzeln dienen nicht nur als Nahrungsbasis, sondern auch als Versteck- und Verankerungsmöglichkeit sowie Eiablageort. Geniste aus angetriebenen Ästen und Zweigen sowie Moose tragen zum krenalen Strukturreichtum erheblich bei.

Neben diesen allgemeinen Erkenntnissen ist die Datenlage für Quellen noch unzureichend, da sich die Quellökologie erst in jüngerer Zeit etabliert hat. So fehlen neben autökologischen Arbeiten beispielsweise Studien zu Nahrungsnetzen, zum Stoffaustausch und Energiefluss in Quellökosystemen, wenn man vom Spezialfall der Silver Springs in Florida absieht (ODUM 1957). Dies betrifft besonders Mitteleuropa. Die faunistische Quellökologie steht bei der Meiofauna noch am Anfang, während es beim Makrozoobenthos etwas besser aussieht, allerdings fehlen Studien zur geographischen und naturraumtypischen Verteilung. Zu Kieselalgen ist kürzlich eine neue Studie aus Hessen erschienen (WERUM 2001). Sind bereits verschiedene Quellpflanzengesellschaften für Mitteleuropa beschrieben (HINTERLANG 1992), steckt die Leitbildentwicklung und die Zuordnung typischer Tiergesellschaften zu bestimmten Quellformationen noch in den Anfängen (ZOLLHÖFER 1997). Außerdem gibt es kaum Studien zur Bedeutung von Struktur- und Substratverteilung in Quellen, ebenso wenig zur zeiträumlichen Dynamik der Besiedlung, was fast alle Organismen betrifft.

Die Dynamik von Quellbiotopen ist eine der schwierigsten und zugleich interessantesten Fragen. Sie hängt von Schüttung und Nahrungseintrag ab und betrifft die Größe von Gen- und Nahrungspools, Stoffkreisläufe, die Verzahnung mit Nachbarökosystemen und Schlüsselarten. Gerade die Falllaubnutzung und die Rolle des Eintrags im Jahresgang, aber auch Auswirkungen des Lichthaushalts auf den Algenaufwuchs sind noch ungeklärt. Produktion, Bestand bzw. Biomasse und Nährstoffmenge haben dabei Einfluss auf die Artenzahl. Die Frage nach Artenzahl und Diversität des Krenons im Vergleich zu anderen Fließgewässerabschnitten sind Schlüsselfragen im Verständnis der Quellökologie und überschneiden sich mit Aspekten der Inseltheorie und dynamischen Störungen (Zyklus-Mosaik-Konzept, vgl. Kap. E).

Vorhandene Studien sind einerseits oberflächenwassergeprägt und betonen Stoffeinträge aus dem Umfeld und organische Strukturen. FISCHER (1996) etwa betont kleinräumige Habitate und den Übergangscharakter zwischen Stygal, Krenal und Rhithral. Es werden zoozönotische Übergänge mit Gradienten in Längsausdehnung und Querverlauf sowie die mosaikartige Verzahnung der Teillebensräume aufgezeigt. Die zweite He-

rangehensweise geht vom Grundwasser aus und ist **austrittsgeprägt**. Hierzu zählt etwa die Studie zur Wanderbewegung von *Niphargus sp.* (KURECK 1967). Hierbei steht das hyporheische Interstitial als dreidimensionaler Raum im Zentrum. Der Übergang in den Grundwasserleiter als Schnittstelle mit extremen Gradienten gilt dabei noch als weitgehend unerforscht.

Offene Fragen betreffen neben der Ökologie auch die faunistische Bewertung von Quellen. Bewertungssysteme für Quellen existieren bis auf einen Ansatz einer allgemeinen faunistischen Bewertungsmatrix (FISCHER 1996a) noch kaum. Hier ist die Bedeutung der hochspezialisierten Fauna für die Beurteilung und die Charakterisierung von Quellbiotopen groß (FINCK et al. 1992). Die Ansprüche der Fauna spiegeln dabei die relevanten Umweltfaktoren wider. Eine Voraussetzung für die Bewertung sind unter Anderem Leitbilder mit Artenspektren, die für Quellen noch nicht entwickelt sind, während bei anderen Fließgewässern die Entwicklung bereits weiter vorangeschritten ist. Die üblichen Verfahren der ökologischen Fließgewässerbewertung greifen bei Quellen nicht, da völlig andere Bedingungen vorherrschen. So ist für Quellen das Saprobien-system als Maß für die Gewässergüte nicht geeignet (vgl. LASAR 1987, ZOLLHÖFER 1997), da Zeigerorganismen und Saprobiewerte für Bäche und deren Saprobität „geeicht“ sind. Gewässerbelastungen in Quellen sind in der Regel nicht so groß, dass etwa starker Sauerstoffschwund vorliegt. Außerdem ist die Saprobität in oligotrophen Quellen sehr gering, das Saprobien-system aber für eine gewisse Mindestsaprobität ausgelegt.

Auch in der Gewässermorphologie ist das gängige Strukturgüteverfahren (LAWA 1998) nicht geeignet, da es sich auf eine Gewässermindestbreite von >1 m bezieht. Die Gründe sind fachlicher Natur, da Quellen kein Hochwasserregime und deutlich weniger Dynamik als Bäche aufweisen. Sie benötigen ein eigenes Verfahren. In der EU-Wasserrahmenrichtlinie (EU 2000) sind Quellen eher indirekt berücksichtigt, da sich die Überwachung und Verbesserung des Gütezustandes der Gewässer zunächst aus organisatorischen Gründen nur auf Gewässer ab einer Einzugsgebietsgröße von 10 km^2 bezieht. Im Entwurf der geplanten Tochterrahmenrichtlinie für Grundwasser aber sind ausdrücklich Quellen als Untersuchungspunkte für die Grundwasserüberwachung genannt (EU 2003, Punkt 3.1), wobei sie auch zu grundwasserabhängigen Ökosystemen überleiten. Das Ziel des guten ökologischen Gewässerzustands soll vor allem mit biologischen Gütezielen in Form von Leitzönosen und Schlüsselarten mit hohem Aussagewert für bestimmte Fließgewässertypen bei geringem Beprobungsaufwand erreicht werden, wofür sich das Makrozoobenthos besonders eignet.

Fragen betreffen auch den Umgang mit Quellen und ihren Schutz. Maßnahmen zur Offenhaltung von Quellen sind bisher wissenschaftlich kaum begleitet, was besonders die Fauna betrifft. Auch die Auswirkung von Beeinträchtigungen wie verschiedenen Verbauformen und deren Barrierewirkungen sind praktisch noch nicht untersucht. Ein wichtiger Aspekt ist das Problem alter Quellfassungen, die von Verfall betroffen sind, da hiermit die Wiederbesiedlung durch Quellorganismen einhergeht, welche durch Umgestaltungs- oder Instandsetzungsmaßnahmen gefährdet sind. Somit stellt sich die Frage, inwieweit sich bestimmte Formen und Erhaltungszustände von Quellfassungen auf die faunistische Besiedlung von Quellen auswirken und wie mit gefassten Quellen umzugehen ist.

Ein weiteres Problem ist die Versauerung von Silikatquellen in den Hochlagen pufferarmer Mittelgebirge, wobei zur Gewässerversauerung bereits einige Arbeiten existieren (LFW 1991, 2000, WENDLING 1993, BENECKE 1997, HAHN et al. 1998, KRIETER 1986, MAUDEN 1994). Im Gegensatz zur Nitratbelastung wird die Gewässerversauerung der Mittelgebirge und Waldlandschaften durch atmosphärische Verschmutzungen hervorgerufen, wobei vor allem Quellen und Quellbäche betroffen sind. Durch Abgasreinigungsanlagen wurde beim Schwefeldioxid zwar eine Reduzierung erreicht, die Belastung durch Stickstoffverbindungen ist jedoch nach wie vor hoch, so dass von einer weiteren, wenn auch rückläufigen Belastung auszugehen ist. Insgesamt ist festzustellen, dass bisher erst sehr wenige Untersuchungen zum Zustand von Quellen in Abhängigkeit anthropogener Nutzungen vorliegen. Daneben ist es drängend, regionale Leitbilder und Referenz-

zönosen zu entwickeln. Trotz dieser Situation existieren bereits praktikable Quellschutzansätze, die aber mehr auf Erfahrungswerten als auf Erfolgskontrollen basieren.

Vor diesem Hintergrund wurden in Rheinland-Pfalz in den vergangenen Jahren mehrere Quelluntersuchungen durchgeführt, meist im Rahmen einer Quellschutzkampagne des Ministeriums für Umwelt und Forsten Rheinland-Pfalz in Zusammenarbeit mit dem BUND-Landesverband Rheinland-Pfalz und der Universität Koblenz-Landau. Mittlerweile sind in Rheinland-Pfalz etwa 500 Quellen kartiert.

Nach der Kartierung von Quellen im Pfälzerwald (FIEDLER-WEIDMANN & HAHN 1996, BUND 1999, SCHINDLER 2000) wurde eine repräsentative Übersicht über Quellen und deren Gefährdungssituation in den verschiedenen Regionen von Rheinland-Pfalz erstellt (SCHINDLER & HAHN 2000). Ziel der letzten, im Auftrag des Landesamtes für Wasserwirtschaft durchgeführten Studie war die Beschreibung regionaler Lebensgemeinschaften, der wasserchemischen und strukturellen Verhältnisse sowie eine Bestands- und Gefährdungssituation der Quellbiotope in den Mittelgebirgsregionen. Die landesweite Erfassung betraf sowohl naturnahe als auch geschädigte Quellen. Da natürlich strukturierte Quellen als Vergleich für Maßnahmen zur ökologischen Aufwertung von Quellen benötigt werden, wurde ein Quelltypenatlas erstellt (SCHINDLER 2002). In ihm sind typische Quellbiotope als Strukturbeispiele zusammengestellt. Sie zeigen, welche morphologische Quelltypen voneinander unterschieden werden können und wo diese in Rheinland-Pfalz in einem weitgehend naturnahen Zustand zu finden sind. Neben solchen Grundlagenwerken und Bestandserhebungen wurden bereits regionale Pflege- und Entwicklungsvorschläge für Quellen erarbeitet, wie in der Verbandsgemeinde Dahner Felsenland im südlichen Pfälzerwald (SCHINDLER, GUTENSOHN & HAHN 2002). Detailliertere Quelluntersuchungen in Pfalz und Westerwald (SCHINDLER & BÖTTCHER 2002) ergänzen die Daten für Rheinland-Pfalz.

Aufgrund der Fülle, der Komplexität und des bisher schlechten Bearbeitungszustandes in Deutschland wird das Thema Quellen hier von mehreren Punkten aus beleuchtet. Basierend auf den Daten der genannten eigenen Untersuchungen, beschäftigt sich die vorliegende Arbeit insbesondere mit Zusammenhängen zwischen Eigenschaften des Einzugsgebietes wie Geologie und Landnutzung, des Umfeldes, der Struktur, der Hydrochemie und der Quellfauna natürlicher und anthropogen beeinträchtigter Quellen. Es wurde die aquatische Makrofauna herangezogen, die eine große Bedeutung für die Beurteilung von Quellbiotopen hat, da sie sowohl die Wasser- als auch die Strukturqualität einer Quelle widerspiegelt (FISCHER 1996a). Hierbei wertet die Arbeit großflächige, faunistische Stichproben aus Quellbiotopen von Rheinland-Pfalz hinsichtlich der besiedlungsrelevanten Faktoren aus. Dabei sind folgende Fragen besonders von Interesse:

- Welche hydrologisch-chemischen Eigenschaften (Schüttung, Versauerung, Nitratgehalt) besitzen die Quellen und von welchen Faktoren hängen sie ab?
- Welche morphologischen und eventuell auch faunistischen Quelltypen können differenziert werden?
- Wie ist der strukturelle Zustand der Quellen, wie viele sind geschädigt und wo liegen naturnahe Quellen?
- Welche Arten kommen in den Quellen vor und wie sind die Quellarten naturräumlich verteilt?
- Wie wirken sich die erfassten Faktoren auf die Besiedlung aus und besonders:
 - Sind Quellzoozönosen an gewisse Säuregehalte des Quellwassers angepasst (CO₂-Ausgasung)?
 - Wie wirkt sich der Artenrückgang durch Versauerung auf den Krenobiontenanteil aus?
 - Wie wirken sich Alter und Art von Quellfassungen auf die Besiedlung aus?
 - Wie wirken weitere anthropogene Veränderungen in Quellen im Offenland, in Nadelholzmonokulturen und im Bereich landwirtschaftlicher Nutzung auf die Quellzoozönosen?
 - Welche Schlüsselparameter sind bei den Strukturmerkmalen hinsichtlich der Naturnähe von Bedeutung?
- Wie können Quellen morphologisch und faunistisch bewertet werden und wie ähnlich sind die Ergebnisse?
- Können faunistische Referenz- bzw. Leitzönosen beschrieben werden und wo liegen Referenzquellen?

A Einleitung

Infolgedessen bildet die Arbeit einen Ansatz für die morphologische und faunistische Leitbildentwicklung in Rheinland-Pfalz. Ein wichtiger Teil ist das eigene, kompakte Kartier- und Bewertungsverfahren zur Quellstruktur, wo bislang noch ein Defizit bestand. Die Ergebnisse dieser Arbeit sollen letztlich die Grundlagen für die Umsetzung von Quellschutzmaßnahmen liefern. Im Sinne der Naturschutzforschung gehen deswegen auch naturschutzfachliche Aspekte in die wissenschaftlichen Analysen ein.

B Untersuchungsgebiet

B 1 Lage, Besiedlungsstruktur und Klima von Rheinland-Pfalz

Rheinland-Pfalz liegt im Südwesten Deutschlands und hat eine Fläche von 19.853 km² bei einer Zahl von rund vier Millionen Einwohnern (STATISTISCHES LANDESAMT RHEINLAND-PFALZ 2002 in <http://www.land-rlp.de>). Im Verhältnis zu anderen Bundesländern ist die Bevölkerungsdichte gering. Der Großteil der Bevölkerung lebt in den großen Flusstälern von Rhein und Mosel sowie im Neuwieder Becken. Die Landschaft von Rheinland-Pfalz ist geprägt von den vier rheinischen Mittelgebirgen Eifel, Westerwald, Hunsrück und Taunus im Norden, dem Pfälzer Wald und dem Oberrheinischen Tiefland im Süden sowie den großen Flussläufen Rhein, Mosel, Nahe und Lahn. Die großen und waldreichen Mittelgebirge sind verhältnismäßig dünn besiedelt. Ländliche Gebiete mit dominierender Landwirtschaft sind Rheinhessen, die Vorderpfalz, das Schichtstufenland um Bitburg, die Westricher Hochfläche sowie das Nordpfälzer Bergland mit größeren restlichen Waldflächen wie dem Donnersberg. Der Rhein bildet die wirtschaftliche Hauptader des Landes mit den wirtschaftlichen und industriellen Zentren bzw. Großstädten Ludwigshafen, Mainz und Koblenz. Hinzu kommen Kaiserslautern und Trier. Wichtige europäische Handelsrouten liegen an den großen Wasserstraßen Rhein und Mosel und leiten zu den ökonomischen Ballungszentren Rhein-Main, Rhein-Neckar und Rhein-Ruhr hin (Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz in <http://www.land-rlp.de>).

Im Klima gibt es erhebliche Unterschiede zwischen den warmen, windgeschützten, tiefergelegenen Landesteilen wie den Flusstälern und den Berg- und Hügelgebieten mit weitaus rauherem Klima. Insgesamt liegt Rheinland-Pfalz in einer Zone gemäßigten Klimas. Die Niederschläge sind fast gleichmäßig über das ganze Jahr verteilt. Durch die Offenheit nach Westen fließen atlantische Luftmassen in den Raum ein. Deutlich wird dieser ozeanische Klimacharakter durch milde Winter in den Tief- und Mittellagen und mäßig warme Sommer. Die Tagesschwankungen der Temperaturen sind relativ gering, die durchschnittliche Jahrestemperatur liegt bei 9° C. In den Hochlagen der Mittelgebirge wie Westerwald, Hunsrück und Eifel liegt die Jahresmitteltemperatur um 1-2° C niedriger. Die Regionen in Rheinland-Pfalz weisen sehr unterschiedliche Jahresniederschläge auf. So fällt am Ostrand der Gebirge wie dem Pfälzerwald erheblich weniger Regen als an der Westseite. Das ausgesprochen milde Klima in den Tallagen begünstigt den Weinbau, in den Höhenlagen der Mittelgebirge dominiert Wald und Landwirtschaft. Auch im nördlichen Landesteil schließen sich im Lee der Mittelgebirge die trockeneren Weinbaugebiete an (in <http://www.lgb-rlp.de/uek.html>). In den Abbildungen B1/1 bis B1/6 sind Klimadiagramme aus wichtigen Regionen von Rheinland-Pfalz zusammengestellt (in <http://www.klimadiagramme.de>). Neben der Höhenlage der Klimastation ist jeweils das langjährige Mittel der Temperatur sowie der mittlere Jahresniederschlag angegeben. Die Angabe der langjährigen Mittel beruhen auf Messungen in den Jahren 1971 - 2000 (Station Koblenz, Bad Marienberg, Pirmasens und Neustadt/Wstr.) bzw. 1961 bis 2000 (Station Nürburg und Tier). Niederschlagsdiagramme des Untersuchungszeitraums finden sich in den Abbildungen B1/1 bis B1/6.

B 2 Geologie, Böden, Vegetation und Nutzung

In Rheinland-Pfalz lassen sich vier geologische Großeinheiten unterscheiden, nämlich das Rheinische Schiefergebirge, das Rotliegende des Nordpfälzer Berglandes, der Buntsandstein des Pfälzerwaldes und der Oberrheingraben (in <http://www.lgb-rlp.de/uek.html>). Im Norden befindet sich das Rheinische Schiefergebirge mit Südwest-Nordwest verlaufenden Sattel- und Muldenzügen sowie deckenartigen Überschiebungen. Es besteht überwiegend aus Tonschiefern, Grauwacken und Quarziten, in die magmatische Gesteine eingedrungen sind. Untergeordnet treten Kalk- und Dolomitgesteine auf. Tertiäre und quartäre, basaltische Vulkanbau-

B Untersuchungsgebiet

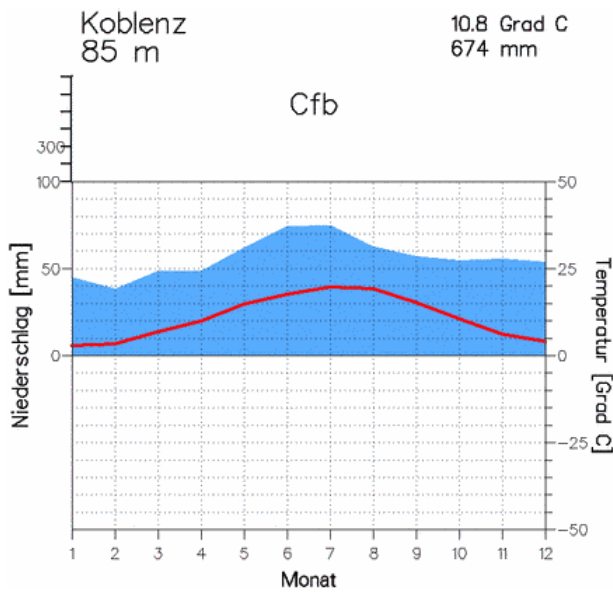


Abb. B1/1: Klimastation Koblenz, Mittelrheintal

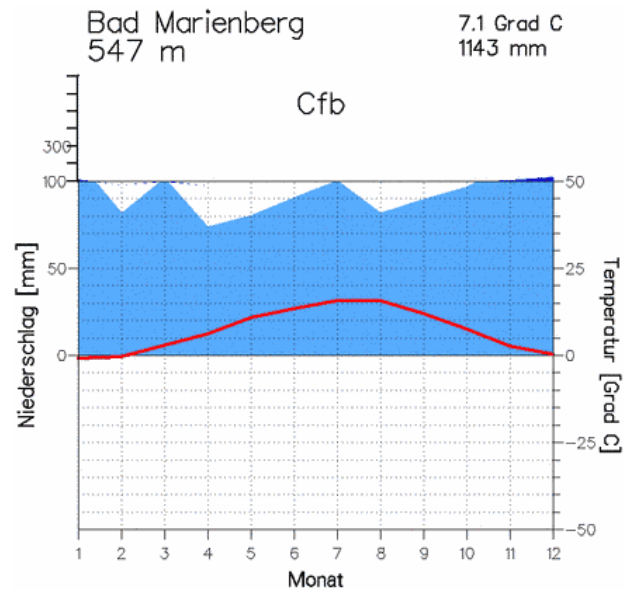


Abb. B1/2: Klimastation B.Marienberg, Westerwald

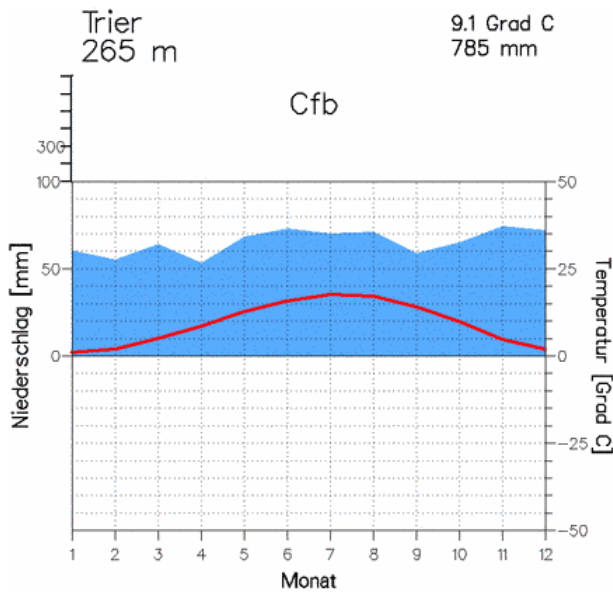


Abb. B1/3: Klimastation Trier, Hunsrück

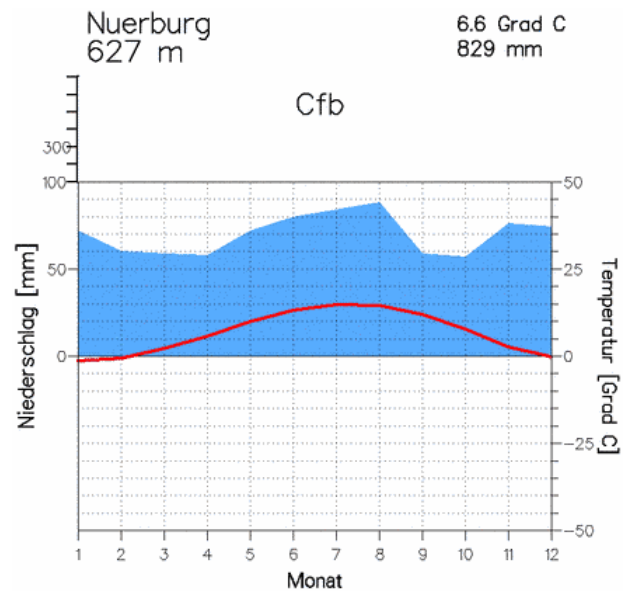


Abb. B1/4: Klimastation Nürburg, Eifel

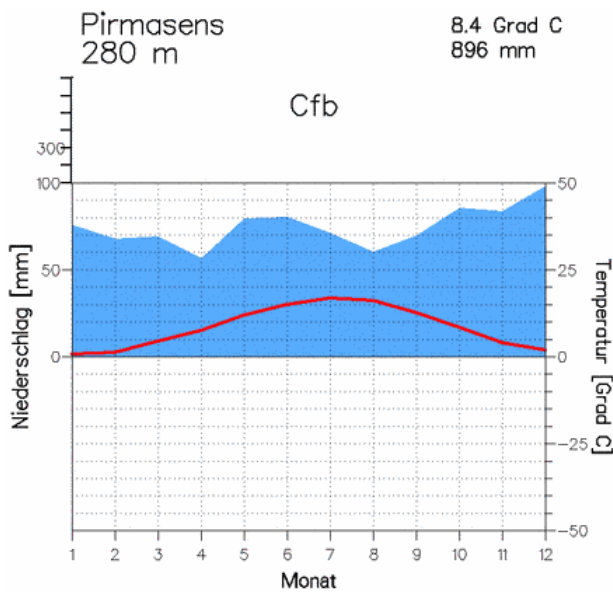


Abb. B1/5: Klimastation Pirmasens, Pfälzerwald

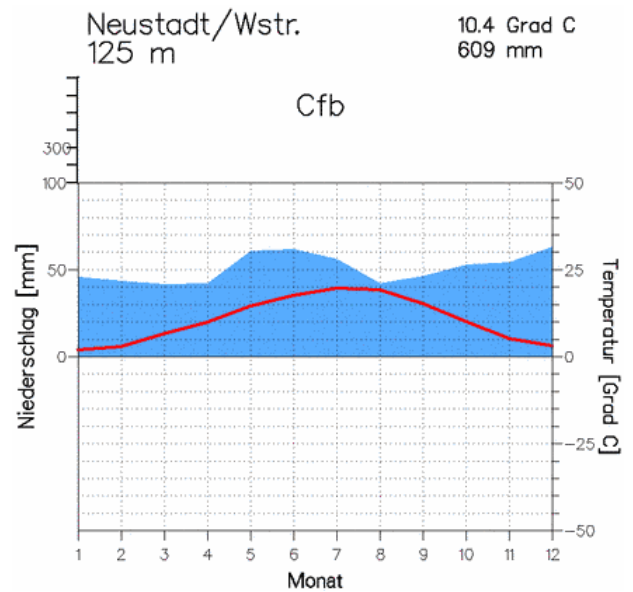


Abb. B1/6: Klimastation Neustadt/Wstr., Haardtrand

B Untersuchungsgebiet

ten kennzeichnen Eifel und Westerwald. Dazwischen liegt das Senkungsgebiet des Neuwieder Beckens mit sedimentären Lockergesteinen wie Kies, Sand, Ton, aber auch mit vulkanischen Ablagerungen wie Bims. Von Westen her greifen in der Trier-Bitburger Mulde mesozoische Schichten auf das Rheinische Schiefergebirge über. An seinen Südrand grenzt die permokarbone Saar-Nahe-Senke mit einer mehrere tausend Meter mächtigen Abfolge aus Sedimentgesteinen, Vulkaniten und Tuffen, ausgeformt als Muldenzug im Norden und als Sattelzone im Süden (in <http://www.lgb-rlp.de/uek.html>, vgl. Abb. B2/1).

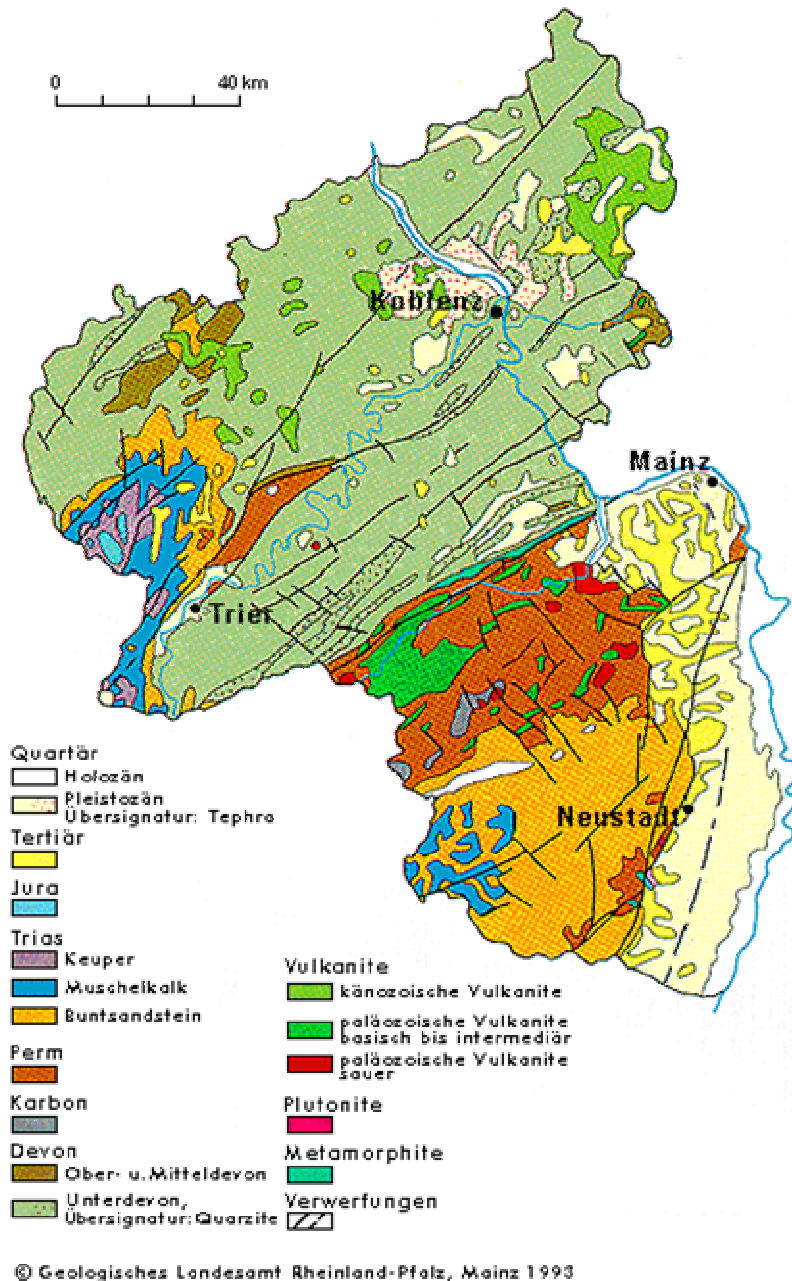


Abb. B2/1: Geologische Übersicht von Rheinland-Pfalz (in <http://www.lgb-rlp.de/uek.html>)

Der südliche Teil des Landes ist bedeckt von Gesteinen der Trias (in <http://www.lgb-rlp.de/uek.html>). Sie liegen in einer flachgespannten Mulde, in deren Kern im Südwesten der Muschelkalk verbreitet vorkommt. Im Tertiär und Quartär bildete sich der Oberrheingraben. Diese bis 4 km abgesunkene Grabenzone der Erdkruste füllte sich mit mächtigen Sedimenten aus Mergel- und Kalksteinen sowie Kiesen und Sanden. Als Erweiterung an seinem Nordende entstand das Mainzer Becken (in <http://www.lgb-rlp.de/uek.html>).

Die Böden in Rheinland-Pfalz beeinflussen maßgeblich die Vegetation und prägen damit den Charakter der Landschaft. In den Mittelgebirgen sind steinig-lehmige Braunerden weit verbreitet, örtlich vergesellschaftet mit Stauwasserböden bzw. Pseudogleye (in <http://www.lgb-rlp.de/uek.html>). Die Beckenlandschaften am Mittelrhein und nördlichen Oberrhein verdanken ihre Fruchtbarkeit vor allem den Tschernosem- und Parabraunerdeböden aus Löß. In den Niederungen der Flüsse sind je nach Intensität und Dynamik des Grundwassereinflusses Aueböden und Gleye entstanden (in <http://www.lgb-rlp.de/uek.html>).

Rheinland-Pfalz ist das Bundesland mit dem höchsten Waldanteil. 42 % der Landesfläche (8.284 km²) sind mit Wald bedeckt (in http://forstverein.brausebiz.de/dfv/extern/tagungen/mainz/forst_rlpf). Die Landkreise in Rheinland-Pfalz sind dabei sehr unterschiedlich bewaldet. Die Anteile liegen zwischen 4,6 % im Landkreis Alzey-Worms und 63,4 % im Landkreis Südwestpfalz. Die Wälder in Rheinland-Pfalz waren ursprünglich Buchenwälder und Buchen-Eichen-Mischwälder. Sie bedeckten 90 % der heutigen Landesfläche von Rheinland-Pfalz. Durch eine starke Übernutzung der Wälder durch die Landwirtschaft und den hohen Holzverbrauch der Bevölkerung und Industrie waren viele Regionen in Rheinland-Pfalz fast gänzlich entwaldet. Zu Beginn des 19. Jahrhunderts begann eine Wiederaufforstungswelle, wobei überwiegend Nadelbäume, insbesondere Fichte und Kiefer angepflanzt wurden (in http://forstverein.brausebiz.de/dfv/extern/tagungen/mainz/forst_rlpf). Infolge der beiden Weltkriege (Reparationshiebe) ist zwischenzeitlich das Gewicht deutlich zu Gunsten des Nadelbaumanteils insbesondere von Fichte und Kiefer verschoben. Heute bestehen die Wälder in Rheinland-Pfalz zu 57% aus Laub- und zu 43% aus Nadelbäumen. Rheinland-Pfalz besitzt aber im Vergleich zum Bundesdurchschnitt einen höheren Laubbaumanteil aus Buche und Eiche (in http://forstverein.brausebiz.de/dfv/extern/tagungen/mainz/forst_rlpf).

B 3 Hydrologie und Hydrographie

In Rheinland-Pfalz fallen pro Jahr insgesamt etwa 14,8 Mrd. m³ Niederschlag, wobei rund 1,5 Mrd. m³ der Grundwasserneubildung zugute kommen (ca. 10 %, LFW RHEINLAND-PFALZ 2000). Die restlichen 90 % verteilen sich etwa zu gleichen Teilen auf Verdunstung und Oberflächenabfluss. Jedoch stellen sich die Verhältnisse in den verschiedenen Naturräumen unterschiedlich dar. Im Anhang werden die Monatssummen der Niederschläge im Untersuchungszeitraum von Anfang 1998 bis Januar 2002 für die bereits aufgeführten Klimastationen in den Abbildungen I3/1 – I3/6 dargestellt. Die Untersuchungsjahre 1998 bis 2001 waren insgesamt recht warm und feucht, so fiel 1998 ein mittlerer Niederschlag für Deutschland von 917 mm/a. Der Sommer im Südwesten war trocken, der Herbst dagegen nass. 1999 war insgesamt recht trocken mit einem sehr trockenen Herbst, 2000 war das wärmste Jahr des Jahrhunderts bei einem mittleren Niederschlag von 821,3 mm/a. In Rheinland-Pfalz fiel allerdings mehr Niederschlag als im Bundesdurchschnitt. Das Frühjahr war warm und z. T. nass, der Sommer aber eher kühler und der Herbst und Winter überdurchschnittlich warm. 2001 war ebenfalls warm und nass mit 913,6 mm Niederschlag im Jahr, insbesondere das Frühjahr. Sommer und der Herbst waren trocken und warm, der September allerdings nass und kühl.

Rheinland-Pfalz wird geprägt vom Rhein mit seinen größeren und kleineren Nebenflüssen Mosel, Nahe, Lahn, Ahr und Sieg. Das Gewässernetz und die Talform sind von fünf topographisch bedingten Fließgewässertypen bestimmt (LFW 1999). Als topographisch bedingte Fließgewässertypen werden Kerbtal-, Mäandertal-, Muldental-, Auetal- und Flachlandgewässer unterschieden (LFW 1999). Außerdem sind folgende Fließgewässerräume zu unterscheiden: devonisches Schiefergebirge mit Westerwald, Hintertaunus, Eifel und Hunsrück, Buntsandsteingebirge des Pfälzerwaldes, Nordpfälzer Bergland und Rheinhessisches Hügelland. Weiterhin ist das Vorderpfälzer Tiefland abzugrenzen. Im Gewässertypenatlas (LFW 1999) sind Referenzabschnitte für die Landschaftsräume und Gewässertypen zusammengestellt. Das Gewässernetz im Land gibt Hinweise auf die Queldichte bzw. -verteilung und ist in Abbildung B4/1 dargestellt.

B Untersuchungsgebiet

In Rheinland-Pfalz erfolgt die Trinkwasserversorgung zu mehr als 90 % aus Grundwasser (in <http://www.lgb-rlp.de/uek.html>). Ergiebige Vorkommen finden sich vor allem in den pleistozänen Kiesablagerungen des Rheins, in tertiären Vulkaniten des Westerwaldes und der Eifel, im Buntsandstein des Pfälzerwaldes und der Trier-Bitburger Mulde, im Rotliegenden der Wittlicher Senke sowie in den mitteldevonischen Kalkmulden (Abb. B3/1). Meist ist nur bei Nutzung tieferer Stockwerke ein ausreichender Grundwasserschutz gewährleistet. Wassermangel herrscht in Gebieten mit devonischen Tonschiefern des Rheinischen Schiefergebirges und Rotliegendesedimenten und -magmatiten der Saar-Nahe-Senke sowie tertiären Tonmergeln des Mainzer Beckens (in <http://www.lgb-rlp.de/uek.html>).

Rheinland-Pfalz besitzt Heil-, Mineral- und Thermalwasservorkommen. Sie sind häufig an tektonische Schwächezonen gebunden und treten bevorzugt in der Nachbarschaft von jungem Vulkanismus auf. Besonders in der Eifel, am Mittelrhein, an Nahe und Lahn sowie am Rand des Oberrheingrabens stellen sie einen Wirtschaftsfaktor dar (in <http://www.lgb-rlp.de/uek.html>).

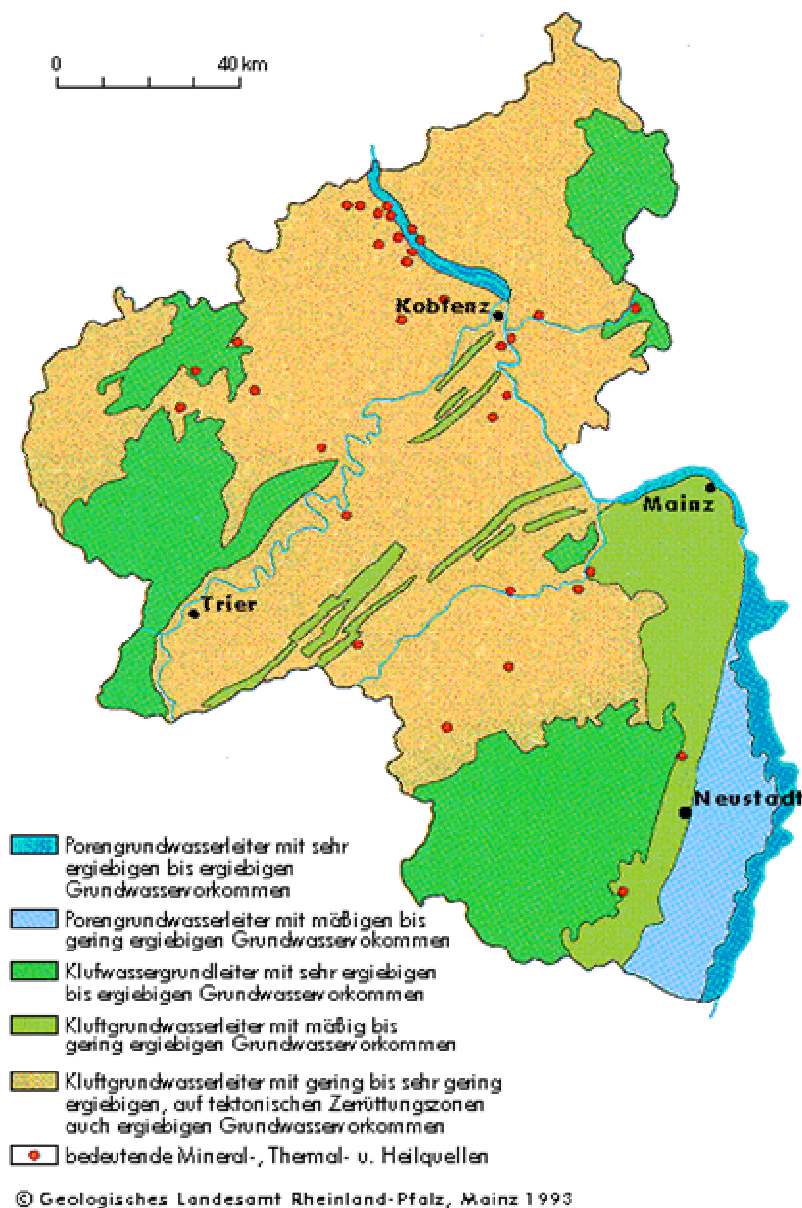


Abb. B3/1: Grundwasserleiter und -vorkommen in Rheinland-Pfalz (in <http://www.lgb-rlp.de/uek.html>)

Abbildung B3/2 zeigt die Hydrogeologie von Rheinland-Pfalz als landesweite Übersicht, wobei die Muschelkalk- und Keuperschichten in Schichtstufenland und Westrich sowie die Rheinebene und Rheinhessen

B Untersuchungsgebiet

besonders fruchtbare Böden aufweisen. Pufferarme Gesteine finden sich als Buntsandstein vor allem im Pfälzerwald sowie als Devonische Quarzite im Hunsrück. Sie sind landwirtschaftlich unbedeutend und stark versauerungsgefährdet. Abbildung B3/2 stellt gleichzeitig die Grundwasserlandschaften des Landes dar.

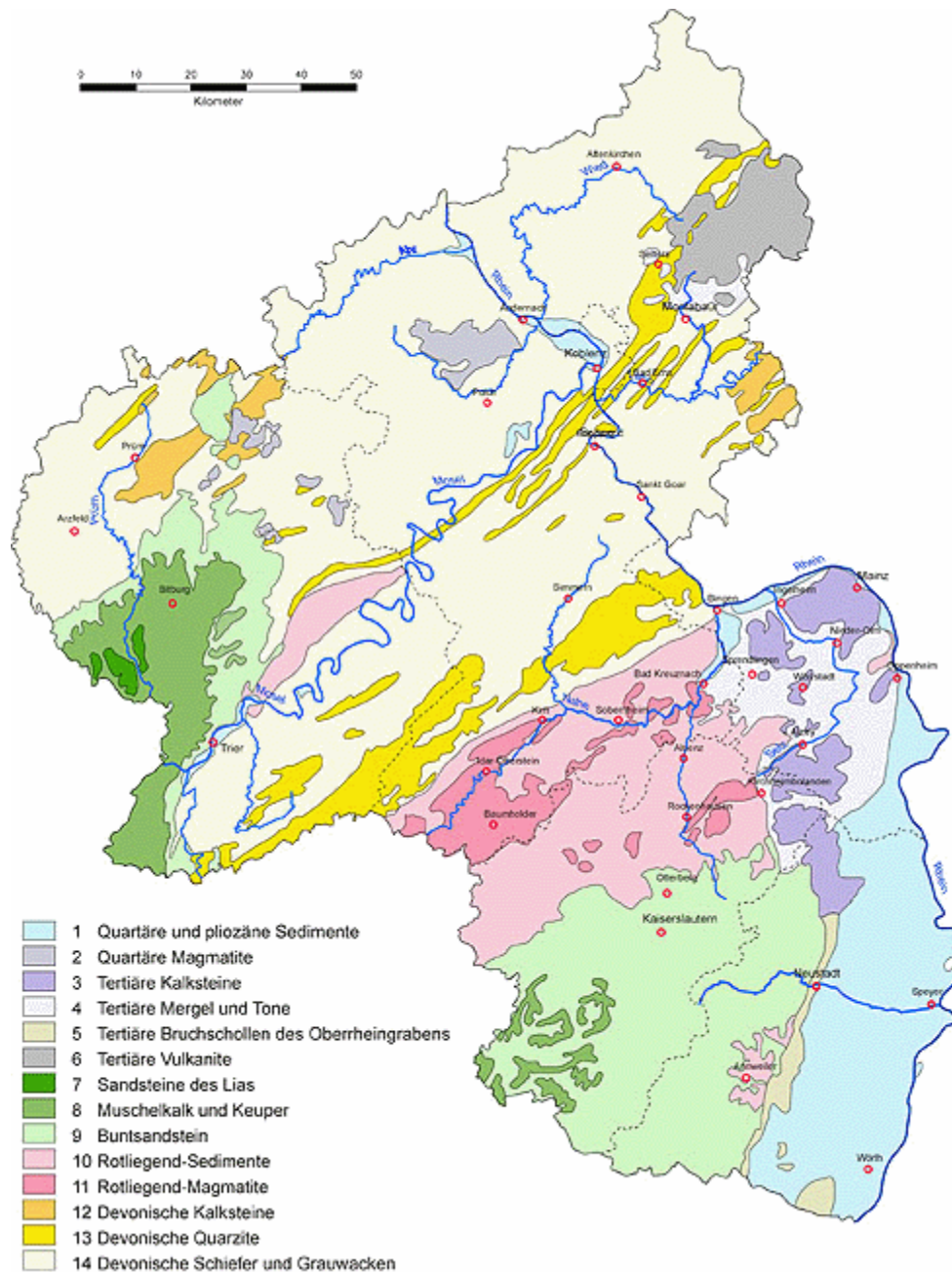


Abb. B3/2: Hydrogeologie von Rheinland-Pfalz (in <http://www.wasser.rlp.de/gewaesser/index.html>)

B 4 Naturräumliche Gliederung

Eine Karte des Untersuchungsgebietes und der Naturräume zeigt Abbildung B4/1. Der Norden des Landes liegt geographisch in der deutschen Mittelgebirgsschwelle, der Süden im südwestdeutschen Mittelgebirgs-Stufenland (in <http://www.lgb-rlp.de/uek.html>). Das rheinische Schiefergebirge - vom Rhein in Nord-Süd-Richtung durchschnitten - bestimmt den geologischen Aufbau im Norden des Landes. Eifel, Westerwald, Hunsrück und Taunus bilden die vier Naturräume dieses Mittelgebirgsstocks. Der südlichste Teil des Landes, die Pfalz, wird vom Pfälzerwald, dem Westrich und der oberrheinischen Tiefebene beherrscht. Zwischen

dem rheinischen Schiefergebirge und der Pfalz erstrecken sich die fruchtbaren und damit waldarmen Acker- und Weinbaugebiete Rheinhessens sowie des Saar-Nahe-Berg- und Hügellands (in <http://www.lgb-rlp.de/uek.html>). Im Folgenden werden einige Informationen über einzelne Naturräume zusammengefasst (in http://www.politische-bildung-rlp.de/downloads/entstehung13_11.doc).

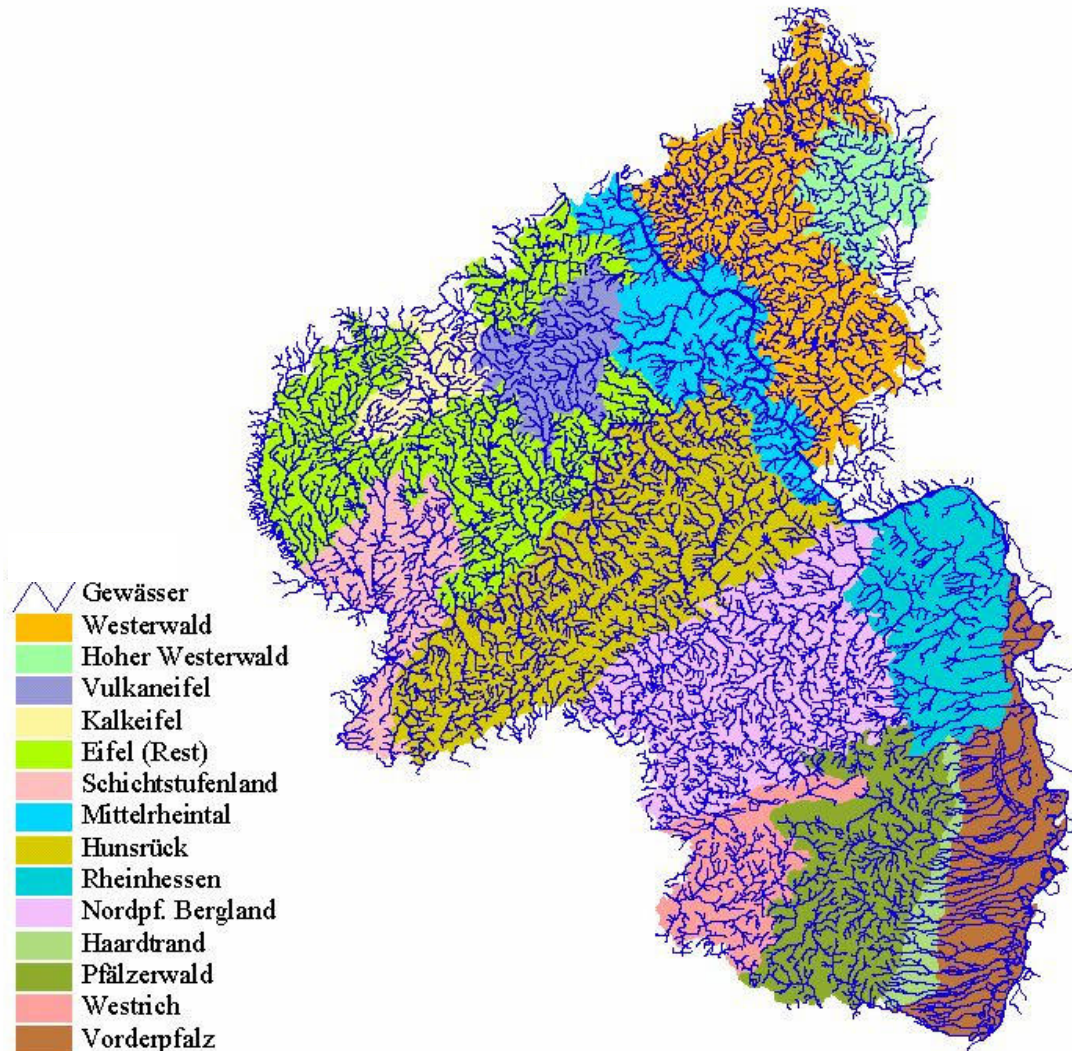


Abb. B4/1: Übersicht über die Naturräume und das Gewässernetz in Rheinland-Pfalz (© Fließgewässerinformationssystem 2003 Landesamt für Wasserwirtschaft Rheinland-Pfalz)

Die **Eifel** erstreckt sich zwischen Mosel und Kölner Bucht und erreicht bei einer durchschnittlichen Höhe von 450 bis 600 Metern auch Spitzenhöhen um 700 Metern, so in der Schneifel und der Hohen Acht, dem höchsten Berg der Eifel (747 m). Sie ist vorwiegend als Hochfläche ausgebildet und - trotz ihres rauen und niederschlagsreichen Klimas - stark gerodet und agrarisch genutzt. Charakteristisch für die Eifel sind vulkanische Berge aus dem Tertiär und die jüngeren Maare im weiteren Umkreis von Daun. Die Eifel setzt sich naturräumlich aus Kalk-, Vulkan- und Osteifel sowie dem Schichtstufenland (Bitburger Gutland) zusammen.

Der **Westerwald** wird durch den Rhein, die Lahn, die Dill und die Sieg begrenzt. Wie die Eifel ist auch der Westerwald vulkanisch geprägt sowie durch die Basaltdecken, deren Gesteine auch abgebaut werden. Unterschiedliche Höhenlagen führten zur räumlichen Untergliederung in „Nieder-“, „Ober-“ und „Hoher Westerwald“. Die ersten beiden sind der Einfachheit halber als Westerwald zusammengefasst. Die Gebirgshochfläche ist nur noch auf kleinen Flächen mit Wald bedeckt. Der kleine Anteil des Taunus (westlicher Hintertau-

nus) wird wegen seiner sehr ähnlichen Geologie zum Westerwald gerechnet. Er stellt eine wellige bis leicht kuppige Gebirgshochfläche zwischen Rhein, Lahn und Aar dar, dessen größter Teil von Wald bedeckt ist.

Der **Hunsrück** ist einer der Gebirgsteile des rheinischen Schiefergebirges. Er erstreckt sich südlich der Mosel zwischen Rhein, Nahe und Saar, fällt nach Süden ab und weist eine deutliche Gliederung in Hochmulden und Höhenrücken auf. Auf den Höhenrücken liegt der höchste Berg in Rheinland-Pfalz, der Erbeskopf mit 816 m. Die Höhenrücken sind bewaldet, die Hochflächen und vor allem die Mulden hingegen intensiv agrarisch genutzt. Bei den Erhebungen dieser Arbeit wurden wegen seiner großen Ausdehnung als Teilnaturräume nördlicher und südlicher Hunsrück unterschieden.

Wichtiger landschaftlicher Bestandteil des Rheinischen Schiefergebirges ist das **Mittelrheingebiet** mit dem Rheintal als Hauptverkehrsachse. Hier ist die Besiedlung relativ dicht und der landwirtschaftliche Anbau konzentriert sich auf Spezialkulturen wie Reb- und Obstanbau sowie Gemüsezucht. Auch hier wurde nördlicher und südlicher Mittelrhein differenziert, getrennt durch das Neuwieder Becken mit Neuwied und Koblenz im Randbereich.

Südlich an das Rheinische Schiefergebirge anschließend liegt das **Nordpfälzer Bergland** mit dem Donnersberg als bewaldetem Teil, wo Landwirtschaft mit Waldinseln vorherrscht. Das porphyrische Bergmassiv des Donnersbergs ist 687 Meter hoch und war bereits früh besiedelt, ebenso wie das Rheinhessische Tafel- und Hügelland, das wegen des Bodens und Klimas landwirtschaftlich genutzt wird. Dort dominieren Rebbau, intensiv betriebener Obstbau und Ackerbau. Durch die Intensivwirtschaft ist praktisch kein Wald vorhanden.

Die Landschaft im südlichen Rheinland-Pfalz ist geprägt vom **Pfälzerwald**, der aus Buntsandstein aufgebaut ist. Das bewaldete Mittelgebirge bildet die westliche Gebirgsumrahmung des Oberrheinischen Tieflandes. Seine Grenzen sind im Westen der Westrich, im Süden die französische Grenze und im Osten der Steilabfall zum Rheintal, auch als Haardtrand bezeichnet. Das Gebirge ist im Unterschied zum Rheinischen Schiefergebirge nur dünn besiedelt mit Ausnahme der zahlreichen kleinen Täler. Im Westen schließt sich als landwirtschaftliche Hochfläche der **Westrich** mit Waldinseln in den Tälern an.

Das Oberrheinische Tiefland (**Vorderpfalz**) ist sowohl historisch als auch wirtschaftlich eine Kernlandschaft von Rheinland-Pfalz. Es ist - ebenfalls traditionell - ein Gebiet intensiver landwirtschaftlicher Nutzung. Am Haardtrand dominieren intensive Sonderkulturen wie Wein- und Obstanbau. Die Vorderpfalz ist geprägt von Transport und Verkehr, wobei die Flusstäler von Ballungsräumen umgeben sind (in http://www.politischebildung-rlp.de/downloads/entstehung13_11.doc). Lediglich im südlichen Bienwald dominiert noch Wald.

Im Folgenden (Tab. B4/1 bis B4/3) werden die untersuchten Naturräume kurz tabellarisch vorgestellt, wobei Werte des Niederschlags, der Temperatur und der Grundwasserneubildung genannt werden. Diese sind immer als langjährige Mittelwerte der zugehörigen Naturräume bzw. Grundwasserlandschaften zu interpretieren und gelten weder regional noch bezogen auf konkrete Einzugsgebiete, weil dort einzelne Werte beträchtlich variieren können. Die Angaben des Niederschlags und der Grundwasserneubildung erfolgen in mm als mittlere Jahressumme (1961-1990, DWD) bzw. als vieljährige Jahresmittel nach LfW RLP, abgelesen aus den jeweiligen Karten des Landes in Klassengrenzen (100 mm bzw. mit 5 mm/J, Karten aus LANDSCHAFT 21 des MINISTERIUMS FÜR UMWELT UND FORSTEN). Die Angaben der Temperatur erfolgen nach LfUG RLP (Klima-Messstationen). Die Mittelwerte der Quelltypenräume (s. ff.) wurden von den Naturräumen abgeleitet bzw. gemittelt und stellen nur Näherungswerte dar. In der Rheinebene als Teil der Vorderpfalz wurde nur eine einzige Quelle beprobt.

Tab. B4/1: Vorherrschende Geologie der Quelltypen- und Naturräume in Rheinland-Pfalz

Quelltypenraum	vorherrschende Geologie	Naturraum	vorherrschende Geologie
Mittelrheintal	devon. Schiefer, Grauwacken	Südlicher Mittelrhein	devon. Schiefer, Grauwacken
		Nördlicher Mittelrhein	devon. Schiefer, Grauwacken
Schichtstufenland	Muschelkalk und Keuper	Schichtstufenland	Muschelkalk und Keuper
Westerwald	devon. Schiefer, Grauwacken	Westerwald	devon. Schiefer, Grauwacken
Hoher Westerwald	tertiäre Vulkanite	Hoher Westerwald	tertiäre Vulkanite
Hunsrück	devon. Schiefer und Quarzite	Nördlicher Hunsrück	devon. Schiefer und Quarzite
		Südlicher Hunsrück	devon. Schiefer und Quarzite
Eifel	quart. Magmatite, Buntsandstein, devon. Schiefer u. Kalke	Vulkaneifel	quart. Magmatite, Buntsandstein, devon. Schiefer
		Kalkeifel	devon. Kalksteine und Schiefer
		Osteifel	quart. Magmatite, devon. Schiefer
Vorderpfalz	quart. und pliozäne Sedimente, tertiäre Bruchschollen u. Kalke	Bienwald	tertiäre Bruchschollen
		Haardtrand	tertiäre Bruchschollen und Kalke
Nordpfälzer Bergland	Rotlieg. Sedimente u. Magmatite	Nordpfälzer Bergland	Rotlieg. Sedimente u. Magmatite
		Donnersberg	Rotliegend-Magmatite
Westrich	Muschelkalk, Keuper, Buntsandstein	Westrich	Muschelkalk, Keuper, Buntsandstein
Pfälzerwald	Buntsandstein	Pfälzerwald	Buntsandstein
Rheinhausen	tert. Mergel, Tone und Kalke	Rheinhausen	tert. Mergel, Tone und Kalke

Tab. B4/2: Niederschlagsmittel und langjähriges Temperaturmittel der Quelltypen- und Naturräume pro Jahr in Rheinland-Pfalz (DWD 1957, G. MÜLLER-WESTERMEIER 1996)

Quelltypenraum	Niederschlags- u. Temp.-mittel	Naturraum	Niederschlags- u. Temp.-mittel
Mittelrheintal	500- 800 mm, 11,2 °C	Südlicher Mittelrhein	500- 800 mm, 11,2 °C (Bendorf)
		Nördlicher Mittelrhein	um 600 mm, 11,2 °C (Bendorf)
Schichtstufenland	700- 900 mm, 9,5 °C	Schichtstufenland	700- 900 mm, 9,5 °C (Halsdorf)
Westerwald	900- 1100 mm, 9,7 °C	Westerwald	900- 1100mm, 9,7°C (Hilgenroth)
Hoher Westerwald	900- 1100 mm, 7,1 °C	Hoher Westerwald	900- 1100 mm, 7,1 °C (Bad Marienberg)
Hunsrück	600- > 1200 mm, 8,4 °C	Nördlicher Hunsrück	600- 1000 mm, 8,7 °C (Hahn)
		Südlicher Hunsrück	900- >1200 mm, 8,1 °C (Deuselbach)
Eifel	800- 1100 mm, 7,7 °C	Vulkaneifel	800-1100 mm, 6,6 °C (Nürburg)
		Kalkeifel	800- 1000 mm, 7,8 °C (Blankenheim)
		Osteifel	800-1100 mm, 8,7 °C (Nürburg-Barweiler)
Vorderpfalz	600- 900 mm, 10,3 °C	Bienwald	800- 900 mm, 10,1 °C (Karlsruhe)
		Haardtrand	600-800 mm, 10,4 °C (Neustadt/W)
Nordpfälzer Bergland	600- 900 mm, 9,4 °C	Nordpfälzer Bergland	600-900mm, 9,4°C (Ruppertsecken)
		Donnersberg	800-900mm, 9,4°C (Ruppertsecken)
Westrich	800- 1000 mm, 8,4 °C	Westrich	800- 1000 mm, 8,4°C (Pirmasens)
Pfälzerwald	800- 1200 mm, 8,4 °C	Pfälzerwald	800- 1200 mm, 8,4°C (Pirmasens)
Rheinhausen	500- 600 mm, 9,4 °C	Rheinhausen	500- 600 mm, 9,4 °C (Alzey)

Der Begriff Naturraum wird zunächst relativ eng gefasst und beschreibt in dieser Arbeit Regionen, die sich insbesondere durch ihre Geologie oder ihre Höhenlage von den umliegenden Bereichen abgrenzen. Die Naturräume wurden auf Basis der naturräumlicher Übersichtskarte des LfUG Rheinland-Pfalz eingeteilt. Da für Quellen noch keine großflächigen Untersuchungen in Rheinland-Pfalz vorliegen, muss von unterschiedlichen Ausprägungen einzelner Räume in ihrer Hydrochemie und Quellökologie ausgegangen werden. Deshalb

erschien zunächst die Annahme vieler Naturräume - insbesondere für die Ableitung einer Quelltypologie - pragmatisch, um eine größere Abbildungsschärfe zu erhalten. Von dieser Grundlage ausgehend wurden dann für die morphologische Typisierung wieder einzelne Quellräume zusammengefasst, in denen sich wichtige Eigenschaften ihrer Quellen wiederholten (Umfeld, Morphologie, Struktur). Die Einteilung der Quellräume erschienen dagegen für die Faktoren Hydrochemie und Fauna zu grob. Die Quellräume entsprechen dabei weitgehend den Grundwasserlandschaften.

Tab. B4/3: Grundwasserleiter, Grundwasserführung und durchschnittliche Grundwasserneubildung pro Jahr der Quelltypen- und Naturräume in Rheinland-Pfalz (LFW 1989)

Quelltypenraum	GW-leiter, -führung u. Neubildg.	Naturraum	GW-leiter, -führung u. Neubildg.
Mittelrheintal	Kluft, gering, 40 mm/J	Südlicher Mittelrhein	Kluftleiter, gering, 40 mm/J
		Nördlicher Mittelrhein	Kluftleiter, gering, 40 mm/J
Schichtstufenland	Poren/Kluft, mittel-gering, 125 mm/J	Schichtstufenland	Poren/Kluft, mittel-gering, 125 mm/J
Westerwald	Kluft, gering, 40 mm/J	Westerwald	Kluft, gering, 40 mm/J
Hoher Westerwald	Kluft, mittel-stark, 75 mm/J	Hoher Westerwald	Kluft, mittel-stark, 75 mm/J
Hunsrück	Kluft, gering-mittel, 40- 80 mm/J	Nördlicher Hunsrück	Kluft, gering-mittel, 40- 80 mm/J
		Südlicher Hunsrück	Kluft, gering-mittel, 40- 80 mm/J
Eifel	Poren/Karst/Kluft, gering-stark, 40- 200 mm/J	Vulkaneifel	Poren/Kluft, mittel-stark (gering), 150, 200 (40) mm/J
		Kalkeifel	Karst/Kluft, mittel-stark (gering), 130 (40) mm/J
		Osteifel	Poren/Kluft, stark, 200 mm/J
Vorderpfalz	Karst/Kluft/Poren, stark- s. gering, 50- 150 mm/J	Bienwald	Karst/Kluft/Poren, stark- s. gering, 50 mm/J
		Haardtrand	Karst/Kluft/Poren, stark- s. gering, 50 (150, 60) mm/J
Nordpfälzer Bergland	Kluft, gering-mittel, 50- 60 mm/J	Nordpfälzer Bergland	Kluft, gering-mittel, 50- 60 mm/J
		Donnersberg	Kluft, gering-mittel, 50- 60 mm/J
Westrich	Poren/Kluft, mittel-gering (stark), 125 (150) mm/J	Westrich	Poren/Kluft, mittel-gering (stark), 125 (150) mm/J
Pfälzerwald	Poren/Kluft, mittel-stark, 150 mm/J	Pfälzerwald	Poren/Kluft, mittel-stark, 150 mm/J
Rheinhessen	Poren/Karst/Kluft, s. gering-stark, 40- >100 mm/J	Rheinhessen	Poren/Karst/Kluft, s. gering-stark, 40- >100 mm/J

Insgesamt ist das Untersuchungsgebiet als typisch für Mitteleuropa zu bezeichnen, da silikatische Gebirgslandschaften dominieren. Hinzu kommen Elemente des süddeutschen Schichtstufenlandes, vulkanischer Landschaften sowie des quartären Alluvials der Rheinebene.

B 5 Lage der untersuchten Quellen

Insgesamt wurden Quellen in 17 Naturräumen von Rheinland-Pfalz und in elf definierten hydrogeologischen Quellräumen untersucht, die weitgehend den Grundwasserlandschaften entsprechen. Einen Überblick über die Lage und Verteilung der beprobten Quellen mit Stadt- und Landkreisen gibt die Karte in Abbildung B5/1 sowie Abbildung B4/1 als Vergleich der Naturräume. Tabelle B5/1 zeigt die Aufteilung der 334 Quellen auf die Naturräume und Quellräume in Rheinland-Pfalz. Die untersuchten Quellen ballen sich aus methodischen Gründen in bestimmten Regionen, so etwa in der Verbandsgemeinde Dahner Felsenland (SCHINDLER, GUTENSOHN & HAHN 2002), wo fast alle gefassten Quellen kartiert wurden. Ansonsten liegen die Quellen vor allem deshalb in Gruppen beieinander, da die Anfahrtswege nicht zu lang sein sollten.

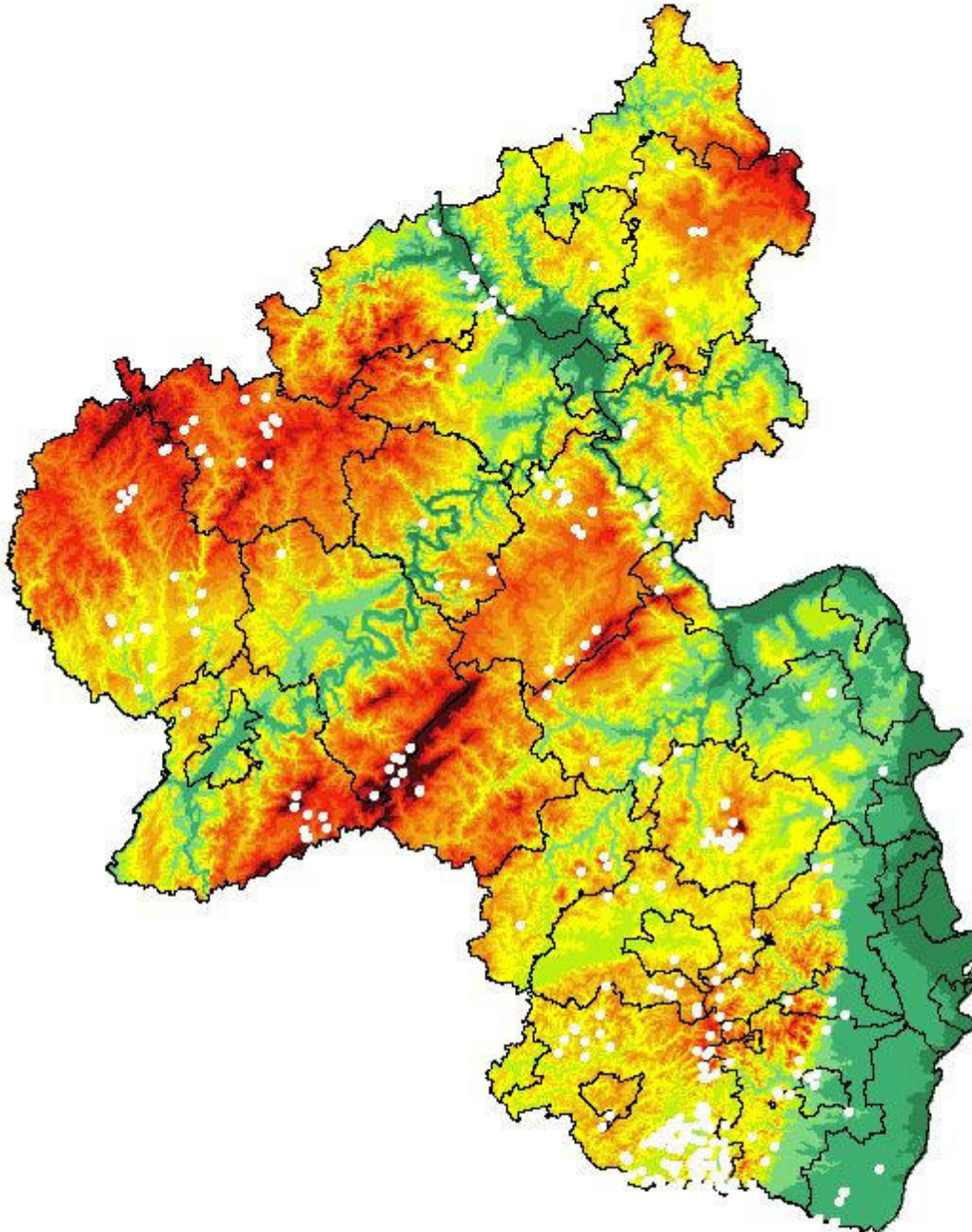


Abb. B5/1: Lage aller untersuchten Quellen in Rheinland-Pfalz mit Stadt- und Landkreisen

In Abbildung B5/2 ist die Lage der Quellen in Bezug zu den Grundwasserlandschaften dargestellt. Hierbei wurden 14 geologische Bereiche als Grundwasserlandschaften differenziert (Lfw 2000). Die meisten Quellen liegen in eher sauren Gesteinen wie Buntsandstein oder Quarzit sowie in Tonschiefer, der mit Grauwacken durchsetzt ist. Kalkreichere Gebiete stellen insbesondere die tertiären Kalksteine Rheinhessens, die Muschelkalkgebiete um Bitburg und Zweibrücken sowie die devonischen Kalke dar, die sich meist in der Eifel finden. Die quartären und pliozänen Sedimente des Oberrheingraben sind zum Teil ebenfalls kalkreich (tertiäre Bruchschollen). Die Quellräume entsprechen, wie bereits erwähnt, weitgehend den Grundwasserlandschaften. Letztere wurden aus Übersichtsgründen aufgrund kleinräumiger Unterschiede zu elf Quellräumen zusammengefasst (vgl. SCHINDLER 2002). Bei der Pfalz-Kartierung wurde die Vorderpfalz in Bienwald und Haardtrand unterschieden, da auf der Niederterrasse praktisch keine Quellen bekannt waren, im Nordpfälzer Bergland wurde aufgrund der größeren Naturnähe ausschließlich der Donnersberg kartiert. Die Quellen der regionalen Untersuchungen im Westerwald und im Dahner Felsenland (südlicher Pfälzerwald) lagen ausschließlich in einem Naturraum.

Tab. B5/1: Anzahl und Verteilung aller kartierter Quellen auf die Quell- und Naturräume in Rheinland-Pfalz

Quellraum	Anzahl (%)	Naturraum	Anzahl (%)
Mittelrheintal	30 (9,0 %)	Südlicher Mittelrhein	15 (4,5 %)
		Nördlicher Mittelrhein	15 (4,5 %)
Schichtstufenland	14 (4,2 %)	Schichtstufenland	14 (4,2 %)
Westerwald	20 (6,0 %)	Westerwald	20 (6,0 %)
Hoher Westerwald	3 (0,9 %)	Hoher Westerwald	3 (0,9 %) keine Fauna
Hunsrück	36 (10,8 %)	Nördlicher Hunsrück	14 (4,2 %)
		Südlicher Hunsrück	22 (6,6 %)
Eifel	26 (7,8 %)	Vulkaneifel	13 (3,9 %)
		Kalkeifel	10 (3,0 %)
		Osteifel	3 (0,9 %) keine Fauna
Vorderpfalz	26 (7,8 %)	Bienwald	8 (2,4 %)
		Haardtrand	18 (5,4 %)
Nordpfälzer Bergland	28 (8,4 %)	Nordpfälzer Bergland	15 (4,5 %)
		Donnersberg	13 (3,9 %)
Westrich	13 (3,9 %)	Westrich	13 (3,9 %)
Pfälzerwald	134 (40,1 %)	Pfälzerwald	134 (40,1 %)
Rheinhausen	4 (1,2 %)	Rheinhausen	4 (1,2 %) keine Fauna

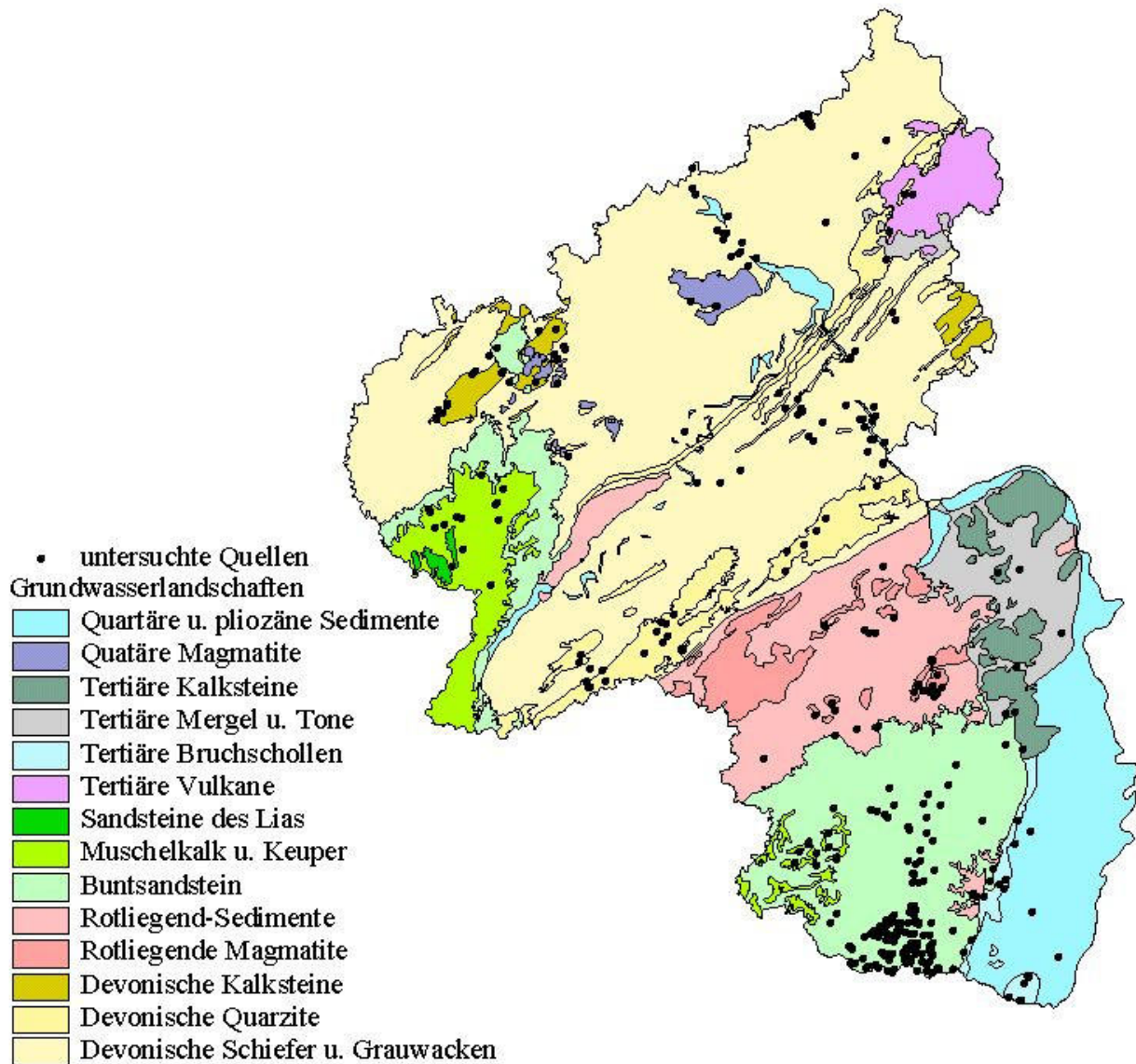


Abb. B5/2: Lage und geologische Grundwasserlandschaft aller untersuchten Quellen in Rheinland-Pfalz

C Methodik und Vorgehensweise

C 1 Abgrenzung von Quellen

Quellen sind natürliche, permanent bis temporär fließende Grundwasseraustritte. Nach LAWA (1995) stellen sie austretendes Grundwasser dar und sind meist räumlich eng begrenzt. Nach DIN 4049 (1994) ist die Quelle definiert als ein „örtlich begrenzter Grundwasseraustritt, der zumindest zeitweise zu einem Abfluss führt“. Das Grundwasser bewegt sich in Aquiferen in Richtung des Quellaustritts, um oberirdisch mit höherer Geschwindigkeit in Quelle und Quellbach weiterzufließen. Folglich ist der „Engpass“ Quelle als Übergang von Grund- zu Oberflächenwasser eng mit dem Einzugsgebiet verknüpft. Am Quellaustritt tritt das Wasser mit der Luft in Kontakt und geht mit einer gewissen Längsausdehnung in den oberen Abschnitt des Quellbachs über. Der krenale Lebensraum umfasst zusätzlich die mehr oder weniger direkte Umgebung des Wasseraustrittes in alle Richtungen mit sämtlichen Zönosen (KRÜGER 1996). KRÜGER (1996) definiert: „Ein Quellbereich ist ein lokaler oder flächiger Grundwasseraustritt, der zumindest teilweise zu einem Abfluss führt, einschließlich der in diesem Bereich lebenden Pflanzen und Tiere. Zum Quellbereich gehören auch das den Grundwasseraustritt umgebende, vernässte Gebiet mit seiner Vegetation und der Beginn des abfließenden Baches (max. 100 m)“. Diese horizontale Ausdehnung kann ebenfalls beträchtlich sein, bei großen Sickerquellen weit über 1000 m². Deswegen spricht man besser von einem Quellbereich. Hiermit ist in aller Regel auch die obere Quellbachregion mitgemeint (REISS 2002). Der Quellbiotop beschränkt sich also nicht nur auf die Austrittsstelle, sondern ist sowohl quer als auch längs zur Fließrichtung bedeutend größer. Die enge Verzahnung von Wasser und Land in den Quellbereichen verursacht das Vorkommen unterschiedlicher Lebensgemeinschaften auf engstem Raum (FISCHER et al. 1998, BOHLE 1995, vgl. Kap. E).

Die Definition nach GLATFELD et al. (1996, in KRÜGER 1996) ist vegetationskundlich geprägt: „Quellbereiche sind naturnahe, durch austretendes Quellwasser aus ständig oder zeitweise schüttenden Grundwasseraustritten geprägte Lebensräume. Ihre typische Umgebung umfasst je nach Quelltyp Quellflur, Quellbach, Quellwald, Kleinseggensumpf, Nasswiese, Niedermoor, Zwischenmoor sowie nasse Staudenfluren, die vom Quellwasser beeinflusst sind. Quellbereiche stehen daher in engem Kontakt zu diesen und anderen besonders geschützten Biotopen. Hierzu zählen neben naturnahen Fließgewässern Moore, Sümpfe und Riede, Röhrichte, Nass- und Feuchtgrünland oder Bruch- und Sumpfwälder“. Die Ausprägung dieser Teilökosysteme ist naturraumabhängig, wobei die Definition zu grundwasserabhängigen Ökosystemen überleitet, welchen immer stärkeres Interesse entgegengebracht wird (z. B. DEPARTMENT OF LAND & WATER CONSERVATION 2002) und gemäß EU-Wasserrahmenrichtlinie (EU 2000) bei der Beschreibung und Bewertung der Grundwasserkörper einer Flussgebietseinheit zu berücksichtigen sind (PATT 2003, <http://www.erftverband.de/aufgaben/projekt/landoeko/landoeko.htm>).

Die Abgrenzung von Quellen ist in der Literatur nicht immer eindeutig. Eine gute Übersicht hierzu gibt REISS (2002). So stellen Quellen, die zwar einen ständigen Austritt mit geringer Schüttung besitzen, aber weiter unterhalb ganz austrocknen, keinen Fließgewässeranfang dar. ZOLLHÖFER (1997) bezeichnet sie als endorheische Quellen. Solche Quellen mit kurzem Abfluss sind nicht selten und kommen in bestimmten Naturräumen gehäuft vor, z. B. bei Böden mit großem Lückensystem wie intrusiven Magmatiten mit hohen Schotterfraktionen oder bei klüftigem Buntsandstein. Quellen werden gelegentlich durch angrenzende Biotope überprägt wie Grundquellen, die sich am Grunde von Fließ- und Stillgewässern befinden. Die Grundquellen befinden sich dann entweder seitlich oder mittig der Gewässersohle. Für stehende Gewässer ist etwa der vulkanisch entstandene Laacher See in der Osteifel zu nennen, der an der tiefsten Stelle Grundquellen sowie auch CO₂-Austritte besitzt (AESCHBACH-HERTIG et al. 1996). In anderen Biotopen gibt es Übergänge von Grund- zu Oberflächenwasser ohne deutliche Quellaustritte wie in natürlichen Geländesenken oder großflä-

chig in Bruchlandschaften wie der westpfälzischen Moorniederung oder dem Bienwald. Hier tritt Grundwasser als Qualmwasser aus und verschwindet häufig mit Einsetzen der Vegetationsperiode wieder. Auch in Erlenbrüchen ist dies der Fall, wo Grundwasser ohne Abfluss an die Oberfläche tritt. Abflusslose Wasseraustritte werden auch als Nassstellen bezeichnet (MATTHEß & UBELL 1983).

Quellökosysteme sind nur zum Teil aquatisch, da sie energetisch und stofflich von Einzugsgebiet abhängen. Der Quellbiotop bezieht sich dagegen nur auf den direkten, mehr oder weniger aquatischen Teil des Ökosystems. ILLIES & BOTOSANEANU (1963) teilen bei der Charakterisierung von Fließgewässerregionen und deren Zoozönosen das Krenal (Quellbereich) in Eukrenal- (Quelle) und Hypokrenal (Quellbach) ein. Die quelltypische Lebensgemeinschaft wird als Krenon bezeichnet (ILLIES 1961, POTT & REMY 2000), Quellbiotop und die Biozönose zusammen als Krenozön. Kriterien für die Abgrenzung sind die Temperatur und teilweise die Struktur der Gewässersohle, wobei die längszonale Ausdehnung des Krenals von Höhe und geographischer Breite abhängt (SCHWOERBEL 1999). Im Krenal überschreitet die Jahrestemperaturamplitude nach ILLIES (1952, 1961) nicht den Wert von 5 °C, wobei sie kontinuierlich mit der Entfernung von der Quellregion und schneller bei fehlender Beschattung zunimmt (POTT & REMY 2000). Eine rein strukturelle Abgrenzung des Krenals ist oft nicht eindeutig möglich (POTT & REMY 2000). Nach ZOLLHÖFER (1997) grenzt insbesondere das Vorkommen von Quellspezialisten die Zoozönose der Quellen von derjenigen des Rhithrals ab, und das stärker als bei allen anderen Fließgewässerzonen. MARCINEK & ROSENKRANZ (1996) definieren nach dem Flussordnungsprinzip einen sogenannten Quellfluss vom Quellaustritt bis zum ersten Mündungsbereich (Konfluenzpunkt) in einen anderen Quellfluss (vgl. BRAUKMANN 1998). Die Quellflusslänge variiert in verschiedenen Naturräumen und ist von der Dichte des Gewässernetzes und damit von der Geologie abhängig. Eu- und Hypokrenal sind in der Regel bis etwa 100 m fischfrei und werden auch als Salamanderregion bezeichnet (<http://www.wasser-macht-schule.de/pub/f01quellen/galerie/galerie.htm>, <http://www.bayern.de/wwa-ab/wasser%20erleben/tierwelt/tierwelt.htm>), da der Feuersalamander das typische Wirbeltier der Quellbereiche darstellt. Er prägt die Quellregionen durch seine Larven.

Im Gegensatz zu Quellen sind Brunnen künstliche, technische Anlagen zur Erfassung von Grundwasser und zur Förderung von Trink- und Nutzwasser (BAUR 1989). In diesem Sinne sind auch gefasste Quellen Brunnen, wobei sich die Quelfassung am oder in der Nähe des ursprünglichen Quellaustritts befindet. Die Quelfassung stellt den häufigsten Brunnentyp in der freien Landschaft dar. In der heutigen Kulturlandschaft nehmen vor allem Niederungsbäche häufig ihren Ausgang in anthropogenen Dränagesystemen (POTT & REMY 2000). Die Trennung von Brunnen und Quelle war in früheren Zeiten aufgrund einer Begriffsüberschneidung im Althochdeutschen nicht eindeutig, was noch in Ortsnamen und Dialekten erkennbar ist. Demnach meint das Wort „Brunn“ bzw. „Bronn“ eine frei abfließende Quelle, wobei historische Quellen häufig gefasst sind.

C 2 Voruntersuchungen und Auswahl der Quellen

Die vorliegende Studie setzt sich aus mehreren Arbeiten zusammen (Tab. C2/1). Nachdem die Studie von FIEDLER-WEIDMANN & HAHN (1996) im Pfälzerwald den Grundstein für Quelluntersuchungen in Rheinland-Pfalz gelegt hatte, schloss sich die Studie von SCHINDLER & HAHN (2000) als Quellkartierung Rheinland-Pfalz an. Es wurden 181 Quellen in allen Landesteilen ausführlich kartiert und untersucht. Ziel war eine möglichst umfangreiche Erfassung von Quellbiotopen in Struktur, Fauna und Hydrochemie. Danach schloss sich ein Projekt an, dass sich mit Pflege- und Entwicklungsplänen von Quellen befasste (SCHINDLER, GUTENSOHN & HAHN 2002). In dieser Quellkartierung der Verbandsgemeinde Dahner Felsenland lag der Schwerpunkt auf gefassten Quellen und deren Entwicklung. Hier ist insbesondere die Auswirkung von Fassungen unterschiedlichen Alters und Zustandes auf die Quellfauna von Interesse. Zusätzlich zu diesen Untersuchungen erfolgten zwei Quellkartierungen in den Naturräumen der Pfalz. Die erste Aufnahme erfasste die

Struktur, Hydrochemie und Fauna von 30 Quellen aus Pfälzerwald, Donnersberg, Bienwald, Westrich und Haardtrand im Jahr 1998. Zusätzlich zur Aufsammlung von Makrozoobenthos wurden fünf Emergenzfallen gestellt. Die zweite Aufnahme befasste sich ausführlich mit neun Pfälzer Quellen im Jahr 2000, die sich zu je drei auf die Naturräume Pfälzerwald, Donnersberg und Westrich aufteilten. Die Quellen wurden jährlich bis zu zehn mal beprobt, um Fluktuationen im Jahresverlauf auszugleichen. Des Weiteren erfolgte eine morphologische Typisierung ausgewählter naturnaher Quellen von Rheinland-Pfalz in Form eines Quelltypenatlas auf Basis aller genannten Untersuchungen (SCHINDLER 2002). Eine kleinere, regionale Untersuchung im Westerwald an einem Quelllehrpfad ergänzt die Kartierungen (SCHINDLER & BÖTTCHER 2002).

Tab. C2/1: Übersicht über die einzelnen Untersuchungen der Arbeit

Jahr	Bearbeiter	Untersuchungsgebiet	Anzahl Quellen	Fokus der Untersuchung auf
1998	SCHINDLER, unveröff.	Pfalz	30	Chemie, Struktur, Fauna: Übersicht
2000	SCHINDLER, unveröff.	Pfalz	9	Chemie, Struktur, Fauna: Auswahl
2000	SCHINDLER & HAHN	Rheinland-Pfalz	181	Chemie, Struktur, Fauna: Übersicht
2002	SCHINDLER, GUTENSOHN & HAHN	Südlicher Pfälzerwald	103	Chemie, Struktur, Fauna (Flora): gefasste (u. Referenz-) Quellen
2002	SCHINDLER	Rheinland-Pfalz	85	Struktur-Referenzquellen
2002	SCHINDLER & BÖTTCHER	Westerwald	10	Chemie, Struktur, Fauna, Flora

Quellen, die im Winter fast keine Schüttung aufwiesen, wurden nicht in die Untersuchungen aufgenommen, da sie als temporär anzusehen sind. Die vorliegende Arbeit beschränkt sich somit auf ständig schüttende und einige periodisch austrocknende Quellen, letztere insbesondere beim Quelltypenatlas Rheinland-Pfalz (SCHINDLER 2002). Da dies je nach Naturraum typisch ist, wurden solche Quellen zwar aufgenommen, nach Möglichkeit jedoch Quellen mit etwas stärkerer Schüttung ausgewählt.

Es ist zu betonen, dass es wegen der Vielzahl vorhandener Quellen in Rheinland-Pfalz keine flächendeckende Kartierung aller Quellen geben kann. Die geschätzte Anzahl der Quellen in Rheinland-Pfalz beträgt rund 100.000 inklusiver kleinerer Quellaustritte. Kompletterfassungen sind lediglich kleinflächig oder mit klar definierten Auswahlkriterien möglich. Im Folgenden wird auf die Vorauswahl der Quellen der genannten Untersuchungen eingegangen, wobei die umfangreichsten Untersuchungen zuerst genannt sind.

Die Vorauswahl von Quellen in Rheinland-Pfalz (SCHINDLER & HAHN 2000) erfolgte in Absprache mit dem Landesamt für Wasserwirtschaft Rheinland-Pfalz. Kriterien waren eine flächendeckende Verteilung über das Untersuchungsgebiet, die Erfassung der vorhandenen Quelltypen sowie der geologischen Grundwasserlandschaften von Rheinland-Pfalz, insbesondere im Bereich der Mittelgebirge. Es sollten weiterhin sowohl Quellen in naturnahen Gebieten als auch im Einflussbereich land- und forstwirtschaftlicher Nutzung sowie in der Nähe von Siedlungsgebieten kartiert werden. Kriterien für die Auswahl der Quellen waren:

- naturraumtypische Eigenschaften der Morphologie, des Quelltyps, der Umfeldstrukturen und Biotoptypen inklusive typischer Gefährdungen und Schädigungen (Fassungen, Versauerung, Umfeldnutzungen wie Weiden, Siedlungen, Fichtenforst)
- örtliche Besonderheiten in Form von Einzelquellen, z. B. Schwefel-, Mineral- und Kalksinterquellen
- Wald- und Offenlandquellen im annähernden Verhältnis der naturraumtypischen Verteilung
- besonderes Interesse an naturnahen Quellen (unversauert, unverbaut, wenig/keine Umfeldnutzung)
- naturraumtypische Geologie mit Berücksichtigung der geologischen Hauptschichten für Rheinland-Pfalz sowie einiger Besonderheiten (Basalt, Rhyolith, Muschelkalk, Oberrheingraben)
- Verhältnis verbaut/geschädigt zu unverbaut/naturnah entspricht etwa der jeweiligen Region

Weiterhin sollten die Anfahrtswege zwischen den Quellen möglichst kurz sein. Aus diesem Grund finden sich nicht selten Gruppen untersuchter Quellen (vgl. Kap. B). Die Vorauswahl erfolgte anhand topographischer und geologischer Karten (TK 50) sowie mit der Biotopkartierung des Landesamtes für Umweltschutz und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz. In Einzelfällen wurden bekannte Quellen berücksichtigt. Ziel der Arbeit war, eine Übersicht über die Situation rheinland-pfälzischer Quellen und deren Besiedlung zu liefern.

Die Vorauswahl der Quellen der Studie von SCHINDLER, GUTENSOHN & HAHN (2002) erfolgte aus den bekannten Quellen der VG Dahn. Hauptaugenmerk lag auf gefassten Quellen. Kriterien waren eine flächendeckende Verteilung über das Untersuchungsgebiet und die Erfassung aller vorhandenen Quelltypen, soweit noch erkennbar. Auch hier wurden sowohl Quellen in naturnahen Gebieten als auch im Einflussbereich land- und forstwirtschaftlicher Nutzung sowie in der Nähe von Siedlungsgebieten kartiert. Ebenso wurde eine breite Auswahl von Umweltfaktoren wie Umfeld, Struktur, Geologie, Einzugsgebiet usw. erfasst. Die Auswahl erfolgte anhand topographischer und geologischer Karten und nach Ortskenntnis. Ziel der Untersuchung waren einzelfallbezogene Pflege- und Entwicklungsvorschläge für alle untersuchten 103 Quellen. Kriterien für die Auswahl der Quellen der VG Dahn waren:

- Repräsentanz für den Naturraum Pfälzerwald hinsichtlich Morphologie, Quelltyp, Umfeldstrukturen und Biototypen inklusive typischer Gefährdungen und Schädigungen (Fassung, Versauerung, Nutzung)
- Wald- und Offenlandquellen im annähernden Verhältnis der naturraumtypischen Verteilung
- besonderes Interesse an Quellfassungen verschiedener Arten und Zustände
- naturnahe Referenzquellen (möglichst unversauert, unverbaut, wenig/keine Umfeldnutzungen)

Es erfolgten weitere Untersuchungen in der Pfalz, bei denen ergänzende Zielsetzungen von Interesse waren:

- Ergänzung der Studie von SCHINDLER & HAHN (2000), um ein möglichst vollständiges Inventar von Quelltypen des jeweiligen Naturraums zu erlangen (Geologie, Umfeldstrukturen)
- Vervollständigen des in der Studie von SCHINDLER & HAHN (2000) erfassten Makrozoobenthos durch Emergenzfallen an fünf ausgewählten Quellen, um ein größeres Taxa-Inventar zu erhalten
- nähere Untersuchung repräsentativer Anteile von Quellen der Schädigungsstufen „naturnah“, „mäßig beeinträchtigt“ und „geschädigt“ in den drei Naturräumen Pfälzerwald, Donnersberg und Westrich. In Bienwald und Haardtrand wurden keine naturnahen Quellen gefunden
- Überblick über jahresdynamische Faktoren, insbesondere Veränderungen der Hydrochemie und der Fauna im Jahresverlauf durch fünfwöchige Probenahme über ein Jahr hinweg

Die morphologische Typisierung der Quellen in Rheinland-Pfalz (SCHINDLER 2000) erfolgte einerseits mit den Daten aller genannten Untersuchungen, wobei repräsentative Referenzquellen für elf Quellräume in Rheinland-Pfalz ausgewählt wurden. Andererseits wurden gezielt Nachkartierungen in bestimmten Regionen durchgeführt, wo die Datenlage keine Typenbeschreibung zuließ. Diese Gebiete lagen insbesondere im Hohen Westerwald, in der Eifel, in Rheinhessen und in der Vorderpfalz. Gerade bei den beiden letztgenannten Naturräumen ist die Landschaft in einem hohen Maße anthropogen geprägt, so dass sich die Suche nach geeigneten Referenzquellen schwierig gestaltete. Es wurden folgende Kriterien für die Auswahl der Quellen des Quelltypenatlas angelegt, wobei alle Quelltypen von Rheinland-Pfalz enthalten sein sollten:

- naturraumtypische Eigenschaften der Morphologie und des Quelltyps ungefasster Quellen
- Naturnähe des Quellumfeldes und der Biotopstruktur. Der Schwerpunkt lag auf Waldquellen, Offenlandquellen bildeten absolute Ausnahmen
- naturraumtypische Geologie mit Berücksichtigung der geologischen Hauptschichten
- örtliche Besonderheiten von Einzelquellen, z. B. Schwefelquellen, Mineralquellen mit Verockerungen, Kalksinterquellen, Solequellen und Thermalquellen

Die Vorauswahl der Quellen des Quelltypenatlas erfolgte durch:

- die vom Bearbeiter bzw. von FIEDLER-WEIDMANN & HAHN (1996) in der Vergangenheit durchgeführten Quelluntersuchungen, insbesondere SCHINDLER & HAHN (2000)
- die Biotopkartierung des Landesamtes für Umweltschutz und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz
- andere regionale Quellerhebungen, z. B. HEWELT, ALBERTI & BRAUN 1998, GÜLICH 1998
- die landesweite Fließgewässer-Strukturkarte in Form naturnaher Oberläufe
- topographische und geologische Karten
- Wo die Datenlage schlecht war, wurde gezielt nachkartiert (Hoher Westerwald, Rheinhessen)

Die regionale Untersuchung von zehn Quellen des Westerwaldes der Gemeinde Weyerbusch erfolgte zur Kontrolle und Bestandsaufnahme von Quellen eines Quelllehrpfades der BUND-Kreisgruppe Altenkirchen. Die Quellen wurden nach Rücksprache mit dem lokalen Betreuer und eines Gutachtens ausgewählt (GÜLICH 1998), wobei auch hier naturraumtypische Wald- und Offenlandquellen sowie wenige beeinträchtigte Quellen ausgewählt wurden. In der Untersuchung wurden die einzelnen Quellen anhand der Struktur, der Fauna und der Flora bewertet. Außerdem wurden Pflege- und Entwicklungsvorschläge gemacht.

C 3 Stichprobe, Bearbeitungszeitraum und zeitliche Vorgehensweise

Die vorliegende Untersuchung umfasst die Kartierung von 334 Quellen in Rheinland-Pfalz, lediglich eine Quelle am Haardtrand befand sich auf französischer Seite (Quelle 2203), ca. 100 m von der Bundesgrenze entfernt (Gemeinde Weißenburg). Bei der Kartierung der Quellen in den Landesteilen gab es Überschneidungen, da 22 % der Quellen für mehrere Zielsetzungen geeignet waren. Dies betrifft vor allem die überregionalen Untersuchungen (Quellbiotopkartierung Rheinland-Pfalz, Quelltypenatlas). So wurden naturnahe Quellen der Rheinland-Pfalz-Kartierung als Referenzquellen in den Quelltypenatlas aufgenommen. Aufgrund dieser Synergieeffekte sind 63 Quellen in jeweils zwei, und vier Quellen in jeweils drei der sechs Untersuchungen enthalten. Bei allen Kartierungen wurden insgesamt etwa 600 Quellen angefahren, wobei viele Quellen aus verschiedenen Gründen nicht beprobt werden konnten. Zum einen waren sie unzugänglich, so bei Privatbesitz, unpassierbaren Wegen, Holzschlag, Umzäunung oder Abdeckung, zum anderen waren sie nicht auffindbar oder versiegt. Vor allem in Regionen mit starker landwirtschaftlicher Nutzung konnten Quellen oft nicht beprobt werden, da sie drainiert oder kanalisiert waren, besonders im Schichtstufenland, Westrich, Westerwald, Nördlichen Hunsrück und in der Kalkeifel. Einige wiesen im Frühjahr eine sehr geringe Schüttung auf. Solche Quellen wurden deshalb nicht in die Kartierung aufgenommen, weil sie wegen ihres periodischen Schüttungsverhaltens eine mit perennierenden Quellen nicht vergleichbare Besiedlung aufweisen. Dies war besonders im Südlichen Hunsrück der Fall, wo viele periodische, gering schüttende Quellen vorkommen. Bei der Quellbiotopkartierung Rheinland-Pfalz (SCHINDLER & HAHN 2000) wurden acht kanalisierte bzw. mit Brunnenstuben ohne Ablauf gefasste Quellen aufgenommen, um deren Schädigung zu dokumentieren. Aufgrund des fehlenden Abflusses wurde keine Wasserchemie und Fauna erhoben.

Die Hydrochemie wurde bei 174 Quellen zweimal in Frühjahr und Herbst, bei 133 Quellen in der Regel einmal im Frühjahr und bei 27 Quellen drei bis 17 mal im Jahresverlauf untersucht. Die meisten Quellen wurden im März/April bzw. im Oktober beprobt. In einigen Fällen wurde nur die Schüttung erhoben. Auf diese Weise ergaben sich insgesamt 334 strukturerfasste sowie 310 faunistisch und chemisch beprobte Quellen bzw. insgesamt 629 Gesamtstichproben der Hydrochemie, davon 344 Stichproben in Winter/Frühjahr und 285 Stichproben in Sommer/Herbst. Bei der Beprobung von 181 Quellen der Quellbiotopkartierung Rheinland-Pfalz stellte sich im Herbst heraus, dass trotz Auswahl stärker schüttender Quellen 48 Quellen entweder trocken waren oder so gering schütteten, dass sie nicht mehr beprobt werden konnten (26,5 % dieser Quellen) und als periodisch eingestuft werden mussten.

Bei der Quellkartierung Rheinland-Pfalz erfolgte eine zweimalige Beprobung der Hydrochemie je Quelle in Frühjahr und Herbst. Bei der Pfälzerwald-Studie (FIEDLER-WEIDMANN & HAHN 1996) zeigte sich, dass die Herbstbeprobung deutlich weniger Arten liefert als die Frühjahrsbeprobung. Dies liegt vor allem daran, dass im Herbst nach der Hauptemergenz sehr viele unbestimmbare Junglarven und geringere Arten- und Individuenzahlen anzutreffen sind. Deswegen wurde die faunistische Beprobung des Makrozoobenthos nur im Frühjahr durchgeführt, begleitet von chemisch-physikalischen Untersuchungen vor Ort sowie im Labor. Bei eigenen Untersuchungen zeigte sich, dass im März die genannten Bedingungen am ehesten zutreffen. Die Wasserproben wurden vom Labor des Landesamtes für Wasserwirtschaft Rheinland-Pfalz analysiert. Die hydrochemische Untersuchung wurde im Herbst wiederholt, um die Kontinuität der Analysewerte sowie der Quellschüttung und Schädigungen wie Einleitungen oder Vertritt beurteilen zu können.

Die Frühjahrsbeprobung der Quellkartierung Rheinland-Pfalz fand nach einer zeitlich abgestimmten Vorgehensweise von Anfang März bis Juni 1999 statt. Die Herbstbeprobung fand im Oktober 1999 statt. Die einzelnen Naturräume wurden im Vorfeld nach ihrer klimatischen Lage eingeteilt und so beprobt, dass wärmere Gebiete zu Anfang und kältere Gebiete am Schluss untersucht wurden. Dabei ergab sich folgende Reihenfolge: Südlicher und Nördlicher Mittelrhein, Bienwald, Haardtrand, Schichtstufenland, Pfälzerwald, Nordpfälzer Bergland, Donnersberg, Westrich, Nördlicher Hunsrück, Westerwald, Südlicher Hunsrück, Vulkaneifel und Kalkeifel. Auf diese Weise wurde der unvermeidliche Einfluss der Zeitverschiebung bei der faunistischen und chemisch-physikalischen Probenahme möglichst gering gehalten und es traten insbesondere in der längeren Frühjahrsuntersuchung geringere phänomenologische Effekte auf.

Die Aufnahmen des Makrozoobenthos aus 25 Quellen der Pfalz im Jahr 1998 erfolgten ebenfalls nach einer zeitlich abgestimmten Vorgehensweise ab dem 10. März bis Anfang Mai 1998. Dabei ergab sich die Reihenfolge Bienwald und Haardtrand, Pfälzerwald, Donnersberg und Westrich. An fünf Quellen wurden im Frühjahr und Sommer 1998 zusätzlich Emergenzfallen gestellt, die monatlich geleert wurden. Die Beprobung der Hydrochemie erfolgte bei 25 Quellen achtwöchig und bei fünf Quellen vierwöchig. Die Aufnahmen der neun Quellen im Jahr 2000 erfolgten fünfwöchig, was das Makrozoobenthos als auch die Hydrochemie betraf, so dass insgesamt elf Beprobungen erfolgten. Bei der Kartierung der Quellen der VG Dahn erfolgte eine einmalige Beprobung der Quellen im Frühjahr in Bezug auf alle Parameter (Struktur, Hydrochemie, Makrozoobenthos). Die Quellen des Quelltypenatlas Rheinland-Pfalz wurden nur morphologisch-strukturell erfasst, sporadisch wurde der pH-Wertes oder das Makrozoobenthos als kurze, qualitative Stichprobe untersucht. Der Zeitpunkt aller Beprobungen wurde so gewählt, dass möglichst viele Insektenlarven in ihren letzten Stadien vor dem Schlupf erfasst wurden. Emergenzfallen wurden wegen des großen Aufwandes und der schlechten Überwachungsmöglichkeit lediglich an wenigen Quellen gestellt. Der Beprobungsmodus der einzelnen Untersuchungen ist in Tabelle C3/1 zusammengestellt.

Tab. C3/1: Beprobungsmodus und -rhythmus der einzelnen Untersuchungen

Jahr	Bearbeiter	Hydrochemie	Struktur	Fauna
1998	SCHINDLER, unveröff.	25 Quellen 8-wöchig, 5 Quellen 4-wöchig	ja	25 Quellen 1-malig Makrozoobenthos, 5 Quellen Emergenz
2000	SCHINDLER, unveröff.	5-wöchig	ja	5-wöchig Makrozoobenthos
2000	SCHINDLER & HAHN	2-malig Frühjahr + Herbst	ja	1-malig Makrozoobenthos
2002	SCHINDLER, GUTENSOHN & HAHN	1-malig Frühjahr	ja	1-malig Makrozoobenthos
2002	SCHINDLER	nein, sporadisch pH-Wert	ja	nein, sporadisch Makrozoob.
2002	SCHINDLER & BÖTTCHER	1-2-malig Winter/Frühjahr	ja	1-malig Makrozoobenthos

C 4 Erfassung der Stamm- und Strukturdaten

Für die Datenaufnahme kam ein vom Autor entwickeltes Kartierverfahren zum Einsatz, das in Kapitel C 8 ausführlich beschrieben wird und dessen Entwicklung auch Ziel dieser Arbeit war. Das Verfahren beruht auf den selbst aufgenommenen Kartierdaten mehrerer hundert Quellen. Es wurde im Rahmen der verschiedenen Untersuchungen getestet, weiterentwickelt und mehrmals angepasst, so dass die Entwicklung des Kartierbogens in Schüben zeitlich parallel zu den Kartierungen verlief. In dem Verfahren werden Stammdaten, Struktur- und Umfeldparameter erfasst. Die erhobenen Parameter lassen sich den Bereichen Stammdaten, Fassung/Verbau, Vegetation/Nutzung, Struktur sowie Gesamteindruck des Kartierers zuordnen. Ergänzt wird die Erfassung durch eine Grobskizze des Quellbereichs sowie die Fotodokumentation der kartierten Quelle. Neben der Datenaufnahme steht vor allem die Bewertung der Quellstruktur im Mittelpunkt. Sie wird in Kapitel C 8 erläutert. Die Entwicklung des Verfahrens erfolgte mittels statistischer Analysen der Struktur aus SCHINDLER & HAHN (2000), gekoppelt mit faunistischen Parametern, vor allem der Artenzahl.

Die Quellen der einzelnen Untersuchungen wurden fortlaufend nummeriert und erhielten eine Feldnummer. Außerdem ist jede Quelle mit einer Identifikationsnummer eindeutig gekennzeichnet. Die Lage der Quellen wurde in Gauß-Krüger-Koordinaten angegeben, die mittels eines Hand-GPS-Gerätes bzw. mit (digitalen) Karten erfasst wurden. Die Höhenlage wurde aus topographischen Karten ermittelt, da hier der Messfehler des GPS zu groß war. Soweit kein Name bekannt war, erhielt jede Quelle bei der Beprobung einen Namen, der sich aus dem Quellbach, einem Flurnamen, der Lage zu einer Gemeinde oder der Nutzungsform im Umfeld ergab. Ergänzend wurde die nächste Gemeinde und der Kreis angegeben. Es kommt nicht selten vor, dass insbesondere größere Quellen im Volksmund Bezeichnungen haben. Möglicherweise vorhandenen Namen wurden jedoch nicht immer recherchiert. Jede Quelle ist aber eindeutig über die angegebenen Koordinaten identifizierbar.

Angaben über Grundwasserlandschaften und die Geologie entstammen hydrologischen und geologischen Karten (Landesamt für Wasserwirtschaft und Geologisches Landesamt Rheinland-Pfalz). Die Geologie des südlichen Pfälzerwaldes wurde aus der Bayerischen Geologischen Grundkarte von 1912-1914 ermittelt. Daten wie Hanglage und Abflussrichtung wurden mit Karten und Kompass bzw. GPS bestimmt. Die Fotodokumentation ausgewählter Referenzquellen befindet sich im Anhang. Weitere erhobene Parameter, insbesondere aus den Bereichen Fassung/Verbau, Vegetation/Nutzung, Struktur oder Gesamteindruck werden in Kapitel C 8 näher erläutert.

C 5 Probenahme von Hydrochemie und Fauna

Die Quellschüttung wurde, falls möglich, mit Hilfe eines Gefäßes bzw. Plastiksackes und einer Stoppuhr bestimmt. In einigen Fällen wurde eine einfache Abflussmessung durchgeführt (Breite x Tiefe x Fließgeschwindigkeit). Die Fließgeschwindigkeit wurde nach der Driftkörpermethode an einheitlicher und strömungskonstanter Stelle bestimmt. Die Hydrochemie wurde teilweise vor Ort bestimmt. Hierzu wurde ein Kunststoffgefäß am Quellaustritt nach einmaligem Ausspülen mit Quellwasser gefüllt und darin sofort die Messung von Wassertemperatur, Sauerstoffgehalt und -sättigung, pH-Wert, Leitfähigkeit, Carbonathärte und Säurebindungsvermögen durchgeführt. Die Messung der ersten vier Parameter erfolgte elektrometrisch mit Feldsonden der Firma WTW (Multiparametersonde bzw. Einzelsonden). In den meisten Fällen wurde das Feldgerät Multiline P4 der Firma WTW verwendet. Die Sonden waren SenTix 41 für Wassertemperatur und pH-Wert, TetraCon 325 für Leitfähigkeit und CellOx 325 für Sauerstoff. Carbonathärte und Säurebindungsvermögen wurden titrimetrisch ermittelt (Tests der Firma *Aquamerck*), ebenso der Nitratgehalt in der Studie von SCHINDLER, GUTENSOHN & HAHN (2002) sowie der pH-Wert zur Absicherung des Sondenwertes.

Die restlichen Parameter wurden im Labor des Landesamtes für Wasserwirtschaft Rheinland-Pfalz bestimmt. Für die Analysen wurde eine 1000 ml PE-Flasche mit Schraubverschluss vor Ort abgefüllt, gekühlt und entweder 1-3 Tage bei ca. 8 °C im Kühlschrank gelagert oder bei ca. -20 °C tiefgefroren und nach 1-2 Wochen dem Labor übergeben. Im Labor wurden folgende Parameter bestimmt: Leitfähigkeit, pH-Wert, Säurebindungsvermögen, Carbonathärte, Summe der Erdalkalien, Ammonium-, Nitrit-, Nitrat-, Chlorid-, Sulfat- und Phosphorkonzentration, oxidierbares Kaliumpermanganat (CSB), Bor-, Kalium-, Natrium-, Magnesium-, Kalzium-, Eisen-, Mangan-, Aluminium-, Arsen-, Blei-, Cadmium-, Chrom-, Kupfer-, Nickel- und Zinkgehalt, weiterhin die Summe der Kationen sowie der Anionen. Die einzelnen Analysemethoden entsprechen dem Laborstandard (DIN) des Landesamtes für Wasserwirtschaft.

Die Methodik der faunistischen Beprobung richtete sich nach den Richtlinien für Makrozoobenthos, wie sie in einschlägigen Werken (DIN 38410 1990, AMANN et al. 1992) beschrieben sind. In dieser Arbeit wird insbesondere die faunistische Arbeitsanleitung der Gesellschaft für Quellschutz und Quellökologie (GFQ 1993) berücksichtigt, die speziell auf die Bedingungen an Quellen zugeschnitten ist.

Die faunistische Probenahme erfolgte, indem die Tiere – z. T. mit dem Substrat - mit Hilfe eines Siebes der Maschenweite 1 mm entnommen, in fließendem Wasser ausgesiebt, in eine Weichschale überführt und gezählt wurden. Das Substrat im Sieb bzw. in der Weichschale wurde mit einer feinen Federstahl-Pinzette nach Tieren durchsucht. Es wurde insbesondere darauf geachtet, dass bei möglichst geringer Biotopstörung alle Substrattypen erfasst wurden (Fels, Steine, Sand, Schlamm, Algen, Moospolster, Falllaub, submerse Vegetation und Uferbewuchs). Bei Steinen und Vegetation wurde zusätzlich ein Wasserkescher der Maschenweite 1 mm hinter das Sieb gehalten, um abdriftende Tiere zu erfassen. Steine wurden abgesucht und festsitzende Tiere per Hand mit einer Pinzette aufgenommen. Neben Kescherzügen in der Vegetation wurden Pflanzen im Wasserkescher ausgespült. In mittelkörnigem Substrat kam auch die Kick-Sampling-Methode zur Anwendung (SCHWOERBEL 1994). Die Zahl der Kescherzüge pro Substrat richtete sich etwa nach dem geschätzten Anteil des Substrates an der Quelle. Falllaubstapel und Moospolster wurden aussortiert und nach dem Überführen in die Weichschale genauer untersucht. Ein Foto der Probenahme zeigt Abbildung C5/1.



Abb. C5/1: Faunistische Probenahme am Abrahamsbrunnen im Pfälzerwald (Quelle Nr. 2302)

Die Beprobung erfolgte nach der Zeitsammelmethode. Die Sammelzeit pro Quelle betrug ca. 45 Minuten (mindestens 30 Minuten bis maximal 1 Stunde) bei der Quellkartierung Rheinland-Pfalz und den Quellkar-

tierungen in der Pfalz. Die Suche wurde erst abgebrochen, nachdem für ca. zehn Minuten keine neue Art mehr gefunden wurde. Die Sammelzeit bei der Quellkartierung der Verbandsgemeinde Dahner Felsenland betrug pro Quelle ca. 20 bis 30 Minuten. Hier wurde die Suche abgebrochen, wenn nach ca. fünf Minuten keine neue Art mehr gefunden wurde. Die Häufigkeiten der jeweiligen Organismen an der Probestelle wurden vor Ort nach Tabelle C5/1 geschätzt. Nach der Schätzung wurden einige Belegexemplare in beschriftete Gläschen mit 70 % Ethanol überführt und der Rest wieder freigelassen. Einige Taxa wurden vor Ort lebend bestimmt, z. B. Turbellaria. Die fixierten Tiere wurden im Labor aussortiert und möglichst auf Artniveau bestimmt (Binokular: bis 80-fache Vergrößerung, Mikroskop: 250 – 1000-fache Vergrößerung). Literatur zur Determination wird in Kapitel G separat aufgeführt.

Tab. C5/1: Geschätzte Häufigkeitsklassen vor Ort und Individuenzahlen des Makrozoobenthos (GFQ 1993)

Abundanzziffer	Individuenzahl
1	1 - 2
2	3 - 7
3	8 - 15
4	16 - 50
5	> 50

Die Probenahme erfolgte vom direkten Quellaustritt bis ca. 15 bis maximal 50 m bachabwärts und richtete sich v. a. nach dem Quelltyp. Stark schüttende Sturzquellen wurden auf längerer Fließstrecke beprobt, während schwach schüttende Sicker- und Tümpelquellen wegen in Fließrichtung weniger ausgeprägter Quellbedingungen auf kürzerer Fließstrecke beprobt wurden. Sogenannte Wanderquellen mit in Fließrichtung versiegenden und neu austretenden (Quell-)Bereichen wurden auf längerer Strecke beprobt (bis 100 m).

An fünf Quellen wurden Emergenzfallen gestellt (vgl. MÜHLENBERG 1993). Diese bestanden aus einem zelt- und tetraederförmigem Holzlattenrahmen, der mit einem Netz der Maschenweite 1 mm bespannt und oben mit einem Fanggefäß bestückt war, das Ethylenglykol enthielt (Abb. C5/2). In dem durchsichtigen Glasgefäß war ein Rohr mit dem Durchmesser 5 cm eingelassen, welches als Einflugöffnung diente. Die Bodenfläche des Fangzelt betrug 1 m² und die Emergenzfallen wurden so über dem Quellbereich positioniert, dass sowohl aquatische wie semiaquatische Bereiche überlappend erfasst wurden (Quellufer).

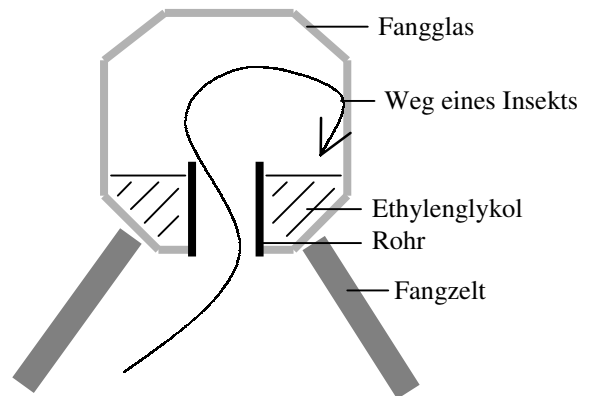


Abb. C5/2: Foto einer Emergenzfalle und Skizze eines Fanggefäßes

Die Flora der Quellen wurde nur grob aufgenommen, insbesondere seltene Arten oder solche quelltypischer Vegetation bzw. standortfremde Bestände wie Neophyten. Der Schwerpunkt lag auf dominierenden Vegetationstypen des Umfeldes und Quellufers wie Waldtypen oder Nutzungsformen von Grünland (vgl. Kap. C 8).

C 6 Auswertung und Analyse der Daten

Für die statistische Auswertung wurden insgesamt 629 Stichproben aus 334 Quellen der fünf bereits in Kapitel C 2 genannten Untersuchungen herangezogen. Ausgewertet wurden die Stammdaten, die hydrochemischen Parameter, die Fauna und die Struktur der Quellen. Insbesondere wurden diese Datenbereiche miteinander verknüpft, um Wirkungsgefüge und Korrelationen zu ermitteln. Zur Statistik erfolgen zunächst einige Vorbemerkungen. Auf Repräsentativität und Auswahl der Quellen wurde bereits in Kapitel C 2 eingegangen.

Grundlage der Statistik bilden stationäre stochastische Prozesse, wobei jede Stichprobe aus unabhängig und identisch verteilten Werten bestehen soll, so dass diese Annahme eine Grundvoraussetzung für die angewandten statistischen Methoden war. Da nur praktisch verwertbare Aussagen zu erwarten sind, wenn erhebliche Stichprobenumfänge vorliegen, wurde eine möglichst große und repräsentative Grundgesamtheit ausgewählt. Gerade bei ökologischen Untersuchungen an Quellen sind größere Stichproben bislang eher die Ausnahme als die Regel. Außerdem sollten statistisch gesicherte Zusammenhänge nur dann interpretiert werden, wenn der zugrundeliegende Prozess bekannt ist, was in der Quellbiologie bisher noch kaum der Fall ist, was auch die Erforschung der Biotopbindung der Quellorganismen betrifft. Deshalb sind Ergebnisse also mit Vorsicht zu interpretieren, wobei die richtige Auswahl der zu testenden Parameter eine gewisse Erfahrung erfordert. Trotzdem wurden auch „unwahrscheinliche“ Parameter getestet, um die Ergebnisse abzuschern. Neben der Analyse von Zusammenhängen und deren statistischer Verifizierung ist die Gewichtung und Interpretation der gefundenen statistischen Zusammenhänge mindestens genauso wichtig. Hier geht die Arbeit nach dem „Prinzip der kritischen Prüfung“ (ALBERT 2000) vor und sucht – wie bei wissenschaftlichen Hypothesen üblich – nach möglichst einfachen Lösungsmöglichkeiten für die genannten Fragestellungen.

Die umfangreiche Datenbank ist im Anhang weitgehend dargestellt. Die erhobenen Daten sind im gebräuchlichen Excel-Format verfügbar. Sie sind in vier Bereiche unterteilt und zwar in Stammdaten, Hydrochemie, Struktur und Umfeld sowie Fauna. Die Skizze jeder Quelle ist lediglich auf den Originalbögen einzusehen. Dies gilt meist auch für die Flora mit Ausnahme der Studie von SCHINDLER, GUTENSOHN & HAHN (2002). Die Auswertung erfolgte mit dem Programmpaket SPSS, Version 11.5, das eine Datenauswertung mittels statistischer Standardmethoden erlaubt bzw. mit Excel, Version 7.0.

Vor einigen faunistischen Auswertungen wurden die faunistischen Rohdaten einer Transformation unterzogen, um die relativen Häufigkeiten in Werte umzuwandeln, die den realen Abundanzklassen näherkommen (Tab. C6/1). Aus den Abundanzklassen wurden so mittlere Abundanz pro Klasse. Dabei verdreifachen sich die Abundanzklassen mit jeder Klassenstufe.

Tab. C6/1: Transformation der Rohdaten des Makrozoobenthos von ordinal- zu intervallskaliert

Rohdaten	Transformierte Daten
0	0
1	1
2	3
3	9
4	27
5	81

Bei statistischen Tests wurde immer die Anzahl der Werte aus der Stichprobe angegeben, wobei die Anwendung statistischer Tests im Einzelfall vom Niveau der ermittelten Daten abhing. Da die Anwendung parametrischer Tests intervallskalierte und normalverteilte Daten erfordert, wurden verteilungsfreie Tests herangezogen. Zur Prüfung auf Normalverteilung wurde der Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest herangezogen. Die Irrtumswahrscheinlichkeit, ab der die Nullhypothese H_0 verworfen und die Alternativhypothese H_1 angenommen wird, betrug zunächst bei allen Tests 5 %. Allerdings sind parametrische Verfahren wie die Varianzanalyse wenig empfindlich gegenüber einer Verletzung der Normalverteilungsannahme, so dass zur Verringerung des Alpha-Fehlers ein Signifikanzniveau von 1 % angenommen wurde. Die Irrtumswahrscheinlichkeit p , ab der die Nullhypothese abgelehnt wird, ist im Folgenden immer als exakte Größe angegeben. Das Signifikanzniveau wird angegeben durch: $p \leq 0,05$ = signifikant, $p \leq 0,01$ = sehr signifikant, $p \leq 0,001$ = höchst signifikant. Bei $p > 0,05$ liegt keine Signifikanz vor.

Zum Vergleich zweier unabhängiger Gruppen wurde der Whitney-Mann-U-Test eingesetzt. Der Überprüfung, ob mehrere unabhängige Gruppen der gleichen Grundgesamtheit angehören, diente die Kruskal-Wallis-Rangvarianzanalyse (H-Test). Um im Signifikanzfall festzustellen, welche Gruppen sich im Einzelnen voneinander unterscheiden, wurden diese mittels U-Test gegeneinander geprüft. Korrelationstests wurden mit der Spearman-Rangkorrelationsanalyse durchgeführt. Zur Prüfung des Einflusses mehrerer unabhängiger Variablen (Faktoren) auf die Ausprägung einer abhängigen, normalverteilten Größe wurde die einfach mehrfaktorielle Varianzanalyse herangezogen.

Um Zusammenhänge aus dem umfangreichen Datenmaterial herauszufinden, wurde die Clusteranalyse und die multidimensionale Skalierung (MDS) angewendet. Sie analysieren mittels eines Abstandsmaßes wie der euklidischen Distanz die Zusammenhänge mehrerer Faktoren, wobei Objekte in räumlicher Nähe ähnliche Ausprägungen der untersuchten Faktoren aufweisen. Hierbei wurde die Ward-Methode mit einem Euklidischem Abstandsmaß verwendet. Bei der Clusteranalyse erfolgt die Darstellung mittels eines Dendrogrammes, während die multidimensionale Skalierung eine xy-Darstellung ist, bei der sich die beiden Dimensionen manchmal mit bestimmten Faktoren korrelieren lassen.

Die Ergebnisse sind zum Teil als Box-and-Whisker-Plots (Boxplots) dargestellt, wobei Abbildung C6/1 die Darstellung erläutert. Ausreißer haben danach einen Abstand größer als 1,5 Box-Längen, Extremwerte von mehr als 3 Box-Längen.

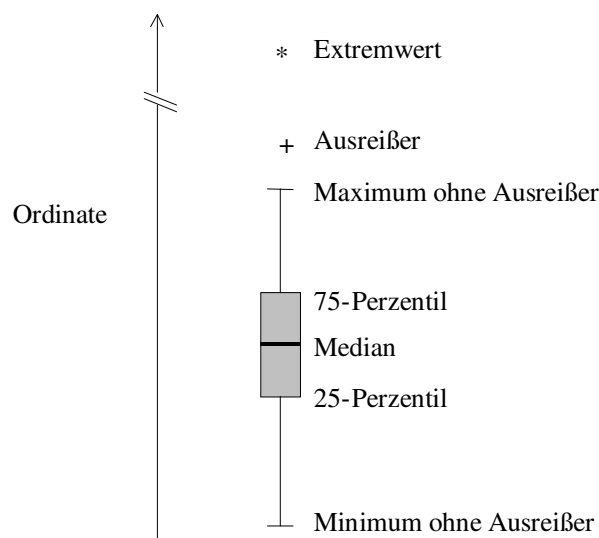


Abb. C6/1: Darstellung der Ergebnisse als Box-and-Wisker-Plot (Boxplot)

Boxplots geben sowohl den Median, den oberen und unteren Quartilsabstand sowie Maximum und Minimum an. Auf diese Weise erhält man in einer einzigen Grafik einen repräsentativen Überblick über den jeweiligen Parameter. Sind Extremwerte und Ausreißer nicht dargestellt, sind die Identifikationsnummern der Quellen und die zugehörigen (Maximal-)Werte in der Legende angegeben.

C 7 Ökologische Bewertung

Die ökologische Bewertung erfolgte über verschiedene Verfahren, die hier kurz erläutert werden. Das selbst entwickelte Strukturbewertungsverfahren für Quellen wird allerdings in Kapitel C 8 ausführlich vorgestellt und erläutert. Neben der Bewertung der Struktur wurden auch faunistische Verfahren zum Vergleich der Quellen angewendet. Hier ist insbesondere das faunistische Verfahren nach FISCHER (1996a) zu nennen. Bei diesem Verfahren werden die Quellen bewertet, indem jeder Art eine ökologische Wertzahl (ÖWZ) zugewiesen wird (vgl. Kap. D und Anhang). Die ökologische Wertesumme einer Quelle wird dann, vergleichbar anderen faunistischen Indices wie dem Saprobienindex (DIN 38410) nach folgender Formel berechnet:

$$\text{ÖWS} = \sum_{i=1}^n \text{ÖWZ}_i * \text{HK}_i / n$$

Die ökologische Wertzahlen für die Berechnung wurden von FISCHER (1996a) übernommen und nach aktuellen Gesichtspunkten und Daten überarbeitet. Hierzu wurde vor allem SCHMEDITJE & COLLING (1996) herangezogen, die Liste ist im Anhang einzusehen. Hierbei sind n die Anzahl der indizierten Taxa und HK die Häufigkeitsklasse nach GfQ (1993). Der Buchstabe i bezieht sich auf das i-te Taxon. Die Beziehung zwischen der ökologischen Wertesumme und den Werteklassen ist in Tabelle C7/1 dargestellt.

Tab. C7/1: Beziehung zwischen ökologischer Wertesumme und den Werteklassen nach FISCHER (1996a)

ökol. Wertesumme	Werteklasse	Ziffer
> 20,0	quelltypisch	1
15,0 - 19,9	bedingt quelltypisch	2
10,0 - 14,9	quellverträglich	3
5,0 - 9,9	quellfremd	4
< 5,0	sehr quellfremd	5

Daneben wurden noch zwei zusätzliche faunistische Indices zur Berechnung von faunistischen Naturnäheklassen herangezogen (vgl. Kap. D). Diese entsprechen dem Rhithron-Typie-Index und dem Benthos-Index nach BISS et al. (2002). Die beiden Verfahren spiegeln die aktuelle Entwicklung in der europäischen Wasser-Rahmenrichtlinie wider. Die Formel für den Krenon-Typie-Index lautete hierbei:

$$\text{KTI} = \sum_{i=1}^n \text{ÖKO}_i^2 / n$$

Die Formel des Benthos-Index lautete:
$$\text{BI} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{ÖKO}_i * \text{HK}_i}{\sum_{i=1}^n \text{HK}_i}$$

n ist wieder die Anzahl der indizierten Taxa und HK die Häufigkeitsklasse nach GfQ (1993), i bezieht sich auf das i-te Taxon. Die Werte für ÖKO (ECO in BISS et al. 2002) entsprechen dabei aufgrund bisher unzureichender Daten aus SCHMEDITJE & COLLING (1996) den ÖWZ nach FISCHER (1996a) in überarbeiteter Form (vgl. Kap. D und Anhang). Der Krenon-Typie-Index wurde anhand von Tabelle C7/2 in eigene, angepasste Werteklassen eingeteilt. Die Berechnung des Benthos-Index erfolgte nach BISS et al. (2002), wobei sich HK herauskürzt und ein Wert zwischen 1 und 5 resultiert.

Tab. C7/2: Beziehung zwischen KTI-Wertesumme der summierten ÖKO-Werte und den Werteklassen

KTI-Wertesumme	Ökologischer Zustand	Ziffer
> 36,0	sehr gut	1
27,0 - 35,9	gut	2
18,0 – 26,9	mäßig	3
9,0 – 17,9	unbefriedigend	4
< 9,0	schlecht	5

C 8 Kartier- und Bewertungsverfahren zur Quellstruktur

C 8.1 Das kompakte Verfahren zur Quellstruktur

Im Rahmen der eigenen langjährigen Quelluntersuchungen wurde ein Quellstrukturverfahren erarbeitet, das alle wichtigen Umweltparameter für den Lebensraum Quelle berücksichtigt. Die Erfassung einfacher Kriterien ohne umfassende faunistische und pflanzensoziologische Aufnahmen war das Ziel. Dabei steht die Reduktion auf die wichtigsten ökologischen Faktoren im Vordergrund. Detaillierte Aufnahmen in Form von Multiple-Choice-Katalogen oder schriftliche Beschreibungen treten aufgrund der erzielten schnellen Einsetzbarkeit und der prägnanten Form des Bogens zurück. So ist die Praktikabilität im Gelände ein wichtiger Gesichtspunkt des Bogens. Zudem ist eine schnelle Einarbeitung auch für fachfremde Personen möglich. Der bisherige Bogen der Gesellschaft für Quellschutz und Quellökologie, der für Rheinland-Pfalz angepasst wurde, erfasst trotz seines großen Umfangs nach Auffassung des Verfassers keine wichtigen zusätzlichen Daten für die Quellökologie.

Dem Verfahren liegt zugrunde, dass für die einfache Bewertung bereits einfach zu beurteilende, optische Zustände einer Quelle herangezogen werden können. Sie werden durch das gezielte Untersuchen weniger, einfacher Parameter gestützt. Faktoren, die nicht direkt erkennbar, aber zur genauen Beurteilung notwendig sind, sind von Fachleuten zusätzlich zu untersuchen und grenzen das Kartierergebnis genauer ein bzw. ergänzen es. Unerlässlich für eine genaue Analyse ist also zusätzlich zur Strukturfassung eine chemische, faunistische und in manchen Fällen floristische Bestandsaufnahme. Diese rechtfertigen z. B. wissenschaftlich begründete Quellschutzgebietsausweisungen. Trotzdem liefert die Strukturfassung bei geringem Aufwand ein recht genaues Bild von der Situation der jeweiligen Quelle.

C 8.2 Der Kartierbogen zur Quellstruktur

Die Bewertung erfolgt in Form eines Kartierbogens mit einem separaten Bewertungsbogen. Vorläufer des Quellbogens, der bei Quellkartierungen des BUND eingesetzt wurde, war ein Kartierbogen der Gesellschaft für Quellökologie und Quellschutz (HINTERLANG & LISCHESKI 1993) aus Nordrhein-Westfalen, der bereits 1994 vom BUND-Landesverband für das Land Rheinland-Pfalz überarbeitet wurde. Dieser komplexe, neunseitige Bogen erfordert einen größeren zeitlichen und methodischen Aufwand. Hauptnachteil dieses Bogens ist seine schwerfällige Handhabung und zwar sowohl bei der Arbeit im Freiland als auch bei der Auswertung und Berechnung der Ergebnisse. Um eigene Erfahrungen mit einer leichten Handhabbarkeit eines Quellkartierbogens zu vereinen, wurde ein kompakter Bogen entwickelt, der leicht und schnell im Gelände zu bearbeiten ist sowie übersichtlich ausgewertet werden kann. Auf diese Weise können schnell viele Quellen erfasst werden. Der „Abschreckungseffekt“ eines komplizierten Bogens wird bei relativ genauer Einschätzung der Naturnähe der untersuchten Quellen so gering wie möglich gehalten, gleichzeitig genügt er naturschutzfachlichen Anforderungen. Der Bogen ist bewusst so kompakt gehalten, dass alle Struktur- und Umfeldabfragen sowie die Skizze auf einer einzigen Seite bearbeitet werden können. Auf der Rückseite werden akzessorische Daten eingetragen (Hydrochemie, Fauna und Flora).

Die Bewertung erfolgt mit einem Bewertungsbogen, wobei eine EDV-Auswertung möglich sein wird. Ziel des Bogens ist die schnelle Bewertung, aber auch das Erkennen der jeweiligen ökologischen Defizite. Auch dies ist mit dem EDV-Programm geplant. Letzten Endes soll eine Quelle so erfasst werden, dass man sich ein vereinfachtes Bild von der kartierten Quelle und ihrer Beeinträchtigungen machen kann. Mit dem kompakten Verfahren, bei dem vor allem Wert auf Verbau, Struktur und Umfeld der Quelle gelegt wird, erfolgt die Bewertung mit einem fünfstufigen Klassensystem, das im Rahmen der vorliegenden Kartierungen umfangreich getestet und angepasst wurde. Die Bewertungsklassen reichen von naturnah (1), bedingt naturnah (2), mäßig beeinträchtigt (3), geschädigt (4) bis zu stark geschädigt (5). Das Erfassungs- und Bewertungsverfahren der Quellstruktur war ursprünglich vierstufig angelegt, wurde aber dann fünfstufig überarbeitet, da mit steigender Erfahrung eine größere Genauigkeit möglich war. Die Beschreibung der einzelnen Erhebungsparameter erfolgt im folgenden Kapitel mit der detaillierten Kartieranleitung.

C 8.3 Kartierung und Bewertung der Quellstruktur

Um die erhobenen Daten sowie das vorgeschlagene Verfahren nachvollziehbar zu machen, wird nachfolgend das Verfahren und die Vorgehensweise beim Kartieren beschrieben, Wichtiges ist unterstrichen. Es soll noch einmal erwähnt werden, dass Maßnahmen eine detaillierte Untersuchung erfordern. Neben der Struktur ist die genaue Untersuchung der Fauna, der Flora und ggf. der Chemie von Bedeutung.

C 8.3.1 Gliederung des Quellstrukturbogens

Der Erfassungsbogen gliedert sich in sieben Merkmalsgruppen (Abb. C8/1):

- a) **Stammdaten:** Datum, Bearbeiter/ Kontakt, Name der Quelle, Ident.-Nummer, Kreis/ Gemeinde, Rechtswert, Hochwert, Karte (TK25-Nr.), Naturraum, Witterung, Höhe ü.NN., Geologie – nicht bewertet. Zusätzlich ist anzukreuzen, ob weitere Bögen vorliegen oder die Quelle ohne offenen Abfluss bzw. zerstört ist.
- b) **Morphologie:** Austrittsform, Vernetzung, Geländeneigung, Hanglage, Abflussrichtung, Größe, Quellschüttung, mittlere Fließgeschwindigkeit – nicht bewertet
- c) **Einträge/ Verbau:** Fassung, Wasserentnahme, Verlegung, Aufstau, künstlicher Absturz, Verbau, Trittschäden, Infrastruktur, Ablagerungen, Einleitungen – bewertet
- d) **Vegetation/ Nutzung:** Tabelle Vegetation/ Nutzung, Sommerbeschattung – bewertet
- e) **Struktur:** Substrat, Strömungsdiversität, Wasser-Land-Verzahnung, Besondere Strukturen – bewertet
- f) **Gesamteindruck:** Subjektive Einschätzung – (evtl. Korrektur der Bewertung)
- g) **Skizze/ Bemerkungen:** Skizze, Bemerkungen, Gefährdungen, Maßnahmen, Schutzstatus – nicht bewertet

Die grundlegende Kartierung stellt die Ausfüllung des Stammdatenkopfes dar, was nur wenige Minuten erfordert. Bei der detaillierten Strukturerefassung von Quellen wird der ganze Bogen ausgefüllt, während eine weitere Beurteilung die bereits genannten zusätzlichen Untersuchungen erfordert (Chemie, Flora, Fauna, vgl. Bogenrückseite im Anhang). Das Ausfüllen des Strukturbogens dauert nach einer - relativ kurzen - Einarbeitungsphase und bei etwas Übung ca. 15 bis 20 Minuten. Eine Fotodokumentation der kartierten Quelle sollte ergänzt werden. Während die Skizze den Quellbereich und das nähere Umfeld berücksichtigt, erleichtert ein Detailbild des Austrittes die Wiedererkennung zusätzlich.

C 8.3.2 Materialien und Techniken zur Kartierung

Der Erfassungsbogen (Abb. C8/1) kann mit einfachsten Hilfsmitteln bearbeitet werden:

Abb. C8/1 (S. 35): Erfassungsbogen des Quellstrukturverfahrens (Rückseite des Bogens vgl. Anhang)

Quellerfassungsbogen zu Struktur und Umfeld

bitte vollständig ausfüllen/ anstreichen

weiterer Bogen

Stammdaten:

Datum: _____ Bearbeiter/ Kontakt: _____

Name der Quelle: _____ Ident.-Nummer: | | | | | | | |

Kreis/ Gemeinde: _____ / _____ Rechtswert: _____ Hochwert: _____

Karte (TK25-Nr.): | | | | | | Quelltypenraum: _____ Witterung: _____

Höhe ü.NN.: _____ m Geologie: _____ kein offener Abfluss, zerstörte Quelle (geschl. Brunnenstube)

Morphologie: (Sturzquelle) (Sickerquelle) (Tümpelquelle) (Wanderquelle)

Austrittsform: fließend-stürzend flächig-sickernd in Quelltopf linear

Vernetzung: Einzelquelle Quellkomplex Anzahl der Austritte: _____
Nachbarquelle in _____ m Quellbachlänge: _____ m

Geländeneigung: schroff stark mäßig schwach

Hanglage: Oberhang Mittelhang Hangfuß Tallage

Abflussrichtung: N NO O SO S SW W NW

Größe (10m Länge): Quelle: _____ m² Quellbereich _____ m²

Quellschüttung: ganzjährig periodisch temporär Menge: _____ l/s

mittl. Fließgeschwindigkeit: schnell mäßig langsam stehend

Einträge/Verbau:

Fassung: neu alt verfallen
nein Brunnenstube + Überlauf
Rohr und Becken
nur Rohr/ Rinne

Wasserentnahme: nein > 60% 30 - 59% <30% Zweck: _____

Verlegung: nein alt neu Länge: _____ m Länge unbekannt

Aufstau: nein Nebenschluss Hauptschluss nach _____ m Größe: _____ m²

künstl. Absturz: nein Gesamtabfluss Teilabfluss Höhe: _____ m

Verbau: stark mittel gering
nein Holz
Steinschüttung
- wilder Verbau
- Naturstein
- Beton
nach _____ m für _____ m Verrohrung

Trittschäden: gering mäßig stark
nein
Verursacher (Vieh, Wild, Mensch): _____

Infrastruktur: Zuwegung Bänke/ Parkplatz Trittsteine Überdachung
nein Anzahl: _____ Wassertretbecken Wildfutterstelle Fahrtschaden Sonstiges*

Ablagerung: vollständig teilweise vereinzelt
nein Haus-/ Geweremüll
Holzabfall
Pflanzenabfall
- Erdaushub/ Bauschutt
- org. Reste/ Faulschlamm

Einleitungen: nach _____ m
nein Oberfläche/ Straße Drainage/ Graben unverdünnt Rohr trocken

Vegetation/Nutzung:

	Einzugsgebiet	Umfeld	Quellbereich	Quellufer	Quellbach
standorttyp. Vegetation	-	0	0	0	0
standortfr. Vegetation	-	0	0	0	0
Moosgesellschaften	-	0	0	0	0
Laubwald	0	0	0	0	0
Mischwald	0	0	0	0	0
Gebüsch	0	0	0	0	0
Nadelforst	0	0	0	0	0
extens. Grünland	0	0	0	0	0
intens. Grünland	0	0	0	0	0
Acker/ Sonderkultur	0	0	0	0	0
unbefestigter Weg	-	0	0	0	0
befestigter Weg/ Straße	-	0	0	0	0
künstl. vegetat.-frei/ Siedlung	0	0	0	0	0

Sommerbeschattung: unbeschattet schwach mittel stark

Struktur: stark mittel gering

Substrat: natürlich

	stark	mittel	gering
Fels/ Blöcke	0	0	0
Steine	0	0	0
Kies/ Schotter	0	0	0
Sand	0	0	0
Feinmaterial	0	0	0
Moospolster	0	0	0
Wurzeln	0	0	0
Totholz	0	0	0
Pflanzen	0	0	0
Fallaub	0	0	0
Detritus/ org. Schlamm	0	0	0
Anzahl: Kalksinter...*	0	0	0
verändert			
künstlich/ fremd	0	0	0
Fadenalgen	0	0	0

Strömungsdiversität: Spritzwasser glatt fließend überfließend
Anzahl: _____ gerippt plätschernd überstürzend fallend

Wasser-Land-Verzahnung: groß mittel gering

Besondere Strukturen: Laufverzweigung Inselstrukturen Fließhindernisse Sandwirbel
natürliche Pools gr. Tiefenvarianz Kaskaden Wasserfall
Anzahl: _____ starke Quellflur Wassermoose gr. Lückensystem Rieselflur

Gesamteindruck:

	1	2	3	4	5
naturnah		bedingt naturnah	mäßig beeinträchtigt	geschädigt	stark geschädigt

Skizze: **Maßstab:**



***Bemerkungen:**

Gefährdungen:

Maßnahmen:

Schutzstatus:

Legende:

- **Basis:** Kartierbögen, Kartieranleitung, Klemmbrett
- **Orientierung:** Karte (Maßstab 1:25 000), evtl. geologische Karte oder Karte der naturräumlichen Gliederung Deutschlands, Kompass oder GPS-Handgerät
- **Schüttung:** Uhr mit Sekundenzeiger oder Stoppuhr sowie Zollstock bzw. Fluchtstab zum Messen von Fließgeschwindigkeit und Schüttung bzw. zur Abflussmessung, wasserdichte Plastiktüte mit ca. 5-10 Liter Inhalt und 5l-Eimer mit Literskala zur Schüttungsmessung
- evtl. **weitere Utensilien** zur Erfassung von Chemie, Fauna und Flora

Die Bearbeitung des Bogens erfolgt, indem die betreffenden Punkte ausgefüllt bzw. angestrichen werden. Oft sind zusätzliche Bemerkungen sinnvoll. In den Tabellen ist das Zutreffende anzustreichen, wobei neben Einfach- auch Mehrfachnennungen möglich sind. Bei einigen Merkmalen ist zusätzlich deren Anzahl für die Auswertung anzugeben.

C 8.3.3 Erläuterung zur Kartierung und Abgrenzung von Quellen

Jeder Erfassungsbogen repräsentiert eine Quelle. Sind Quellen eindeutig zerstört, so dass kein Wasser mehr abfließt, ist dies im Bogen unter Stammdaten einzutragen. In einem solchen Fall sind nur die Stammdaten auszufüllen. Die restlichen Erhebungsdaten entfallen (außer dem Grund der Zerstörung bei Bemerkungen). Vor allem naturnahe Quellen sind im Gelände schwer zu finden. Quellsignaturen in der Karte sind in der Praxis oft nicht brauchbar, da sie nur sehr inkonsequent gehandhabt werden und nur wenige Quellen eingezeichnet sind. Sie geben aber Hinweise auf Quellhorizonte und Quellgebiete. Das Suchen von Quellen im Gelände ist zeitaufwändig, wenn die Standorte nicht bekannt sind. Im Umfeld von Quellen sind oft noch mehr oder größere Quellen auffindbar.

Die Grenze, bis zu der die Kartierung erfolgt, richtet sich in erster Linie nach dem Quellbereich. Er ist in der Regel an der im Vergleich zum Quellbach veränderten Vegetation, der Morphologie und z. T. an der Struktur erkennbar. Es sind nur Gewässer zu kartieren, die durch den Grundwasseraustritt als Quelle ansprechbar sind. Die Entscheidung, ob ein natürlicher Bachanfang vorliegt, ist manchmal nicht eindeutig zu treffen. Es kann sein, dass der abfließende Quellbach gleich wieder versiegt, was allerdings typisch für Wanderquellen ist. Wenn der Austritt mit einem Rohr gefasst ist, ist im Gelände oft nur schwer zu entscheiden, ob ein ursprünglicher Quellaustritt, ein Überlauf einer wassertechnische Anlage, eine Drainage, eine Verlegung oder eine Entwässerung vorliegt. Künstliche Bachanfänge ähneln stark gestörten Quellen und sind im Flachland häufig. Vermutungen sind im Bogen festzuhalten. Dies gilt auch für sichtbare Beeinträchtigungen des Quellbaches, etwa die Durchgängigkeit betreffend.

Ist die Größe einer Quelle in ihrer Breite noch relativ leicht zu beurteilen, ist ihre Ausdehnung in Richtung Quellbach fließend. Hier richtet man sich vor allem nach dem Quelltyp und dem Schüttungsverhalten: je geringer die Schüttung und je breiter der Quellbereich ist, desto geringer ist die Ausdehnung der Quelle bachabwärts. Das bedeutet umgekehrt, dass stark schüttende Sturzquellen eine große Länge haben können - nach KRÜGER (1996) bis 100 m. In der Regel ist jedoch von ca. 10 bis 30 Längener Fließstrecke auszugehen, bis der Quellbach deutlich unterschieden werden kann. Da jede Quelle morphologisch differiert und der Wert variiert, differiert auch die Fließstrecke, nach der die Quellbedingungen hinter die des Quellbaches zurücktreten. Zu kartieren ist also die direkte Austrittsstelle bis 10 bis ca. 30 Meter bachabwärts inklusive Quellbereich und Umfeld. Die Mindestkartiergröße des Quellbereichs beträgt also immer 10 Meter Fließstrecke, was oft ausreichend ist. Die horizontale Abgrenzung des Quellbereichs und des Umfeldes wird in den Merkmalsgruppen Morphologie (Größe) bzw. Vegetation/ Nutzung beschrieben. Die Kartierung durch den vorliegenden Bogen bezieht sich oft auch auf den Quellbach, weshalb Längenangaben nach dem Quellaustritt bis 100 m anzugeben sind.

C 8.3.4 Erläuterungen zu den Merkmalsgruppen im Strukturbogen

a) Stammdaten

Datum: Tag der Kartierung, dient der jahreszeitlichen Einschätzung der Ergebnisse.

Bearbeiter/ Kontakt: Name des Kartierers/ der Kartierer und Kontaktadresse (e-mail).

Name der Quelle: Name der Quelle, falls vorhanden. Ist er nicht festzustellen, ist ein Flurnamen einzusetzen, der hohen Wiedererkennungswert besitzt. Bezieht sich der Name auf einen Bach, ist meist zusätzliche Kennzeichnung erforderlich, da in der Regel mehrer Quellen vorhanden sind.

Ident.-Nummer: Die kartierte Quelle erhält eine 7-stellige Identifikationsnummer, die sie eindeutig kennzeichnet und aus der TK-25-Nr. und einer laufenden Nummer (3-stellig) kombiniert wird. Zusätzlich kann die Nummer auch mit Buchstaben kombiniert werden, die für den Naturraum oder die Gemeinde stehen.

Kreis/ Gemeinde: Kreis (Autokennzeichen) sowie die Gemeinde, auf deren Gemarkung die Quelle liegt.

Rechtswert/ Hochwert: Die jeweils 7-stellige Zahl gibt die genaue Lage der Quelle in der Karte (TK-25) an. Die Werte geben als Gauß-Krüger-Koordinaten die Lage auf der Karte in Kilometern bzw. Metern an. Die Ermittlung erfolgt durch Ablesung einer vierstelligen Zahl am horizontalen oder vertikalen Kartenrand und Ergänzung von drei zusätzlichen Ziffern, die mit einem (durchsichtigen) Lineal gemessen werden oder alternativ durch ein GPS-Gerät. Eine fehlende, genaue Lagekennzeichnung der Quelle entwertet jede Kartierung, da diese erst die Wiederauffindung ermöglicht.

Karte (TK25-Nr.): Nummer, Maßstab und Name der benutzten Karte zur Identifizierung.

Naturraum: Naturraum/ Landschaft des Standortes, evtl. weitergehende Beschreibung.

Witterung: Aktuelle Wettersituation plus die vorherrschende Situation der letzten Tage, v. a. Niederschlags- oder Trockenperioden, zur Einschätzung der Schüttungsdynamik.

Höhe ü.NN.: Höhe über Normalnull in Metern, aus der Karte entnommen.

Geologie: Bei fehlender Kenntnis werden geologische Formation und anstehendes Gestein einer geologischen Karte entnommen (Beurteilung des Wasserchemismus oder gebietstypischer Steine in Verbauformen).

kein offener Abfluss, zerstörte Quelle: Wenn die Quelle trocken gefallen oder so stark überbaut ist, dass kein offener Abfluss mehr vorhanden ist, entfällt die weitere Bearbeitung des Bogens außer der Skizze. Allerdings ist darauf zu achten, dass der Austrittsort der Quelle hinreichend nachgewiesen oder historisch belegt ist. In einem solchen Fall ist die Quelle als stark geschädigt einzustufen.

b) Morphologie

Austrittsform: Hier ist eine Entscheidung für einen der vier Basisquellentypen zu treffen. Der Hauptunterschied zwischen Sturz- und Sickerquelle betrifft die Austrittsfläche. Sie ist bei der Sturzquelle punktuell, bei der Sickerquelle großflächig-diffus. Tümpelquellen bilden einen Quelltopf mit Überlauf. Wanderquellen befinden sich meist in Geländerrinnen und können nach einigen Metern wieder versickern. Bei Mischtypen oder einem Quellbereich mit mehreren Austritten, die verschiedenen Quelltypen entsprechen, ist der dominierende Quelltyp anzugeben. Dieser stellt den Hauptaustritt mit der größten Schüttungsmenge dar. Besondere Quelltypen wie Kalksinter-, Schwefel-, Sole-, Thermal- oder Mineralquellen sind unter Bemerkungen einzutragen. Dies gilt auch für Eisenoxydausfällungen (rötliche Ablagerungen). Bei großflächigen Quellbereichen können Quellwälder, Niedermoore, Kleinseggensümpfe, feuchte Gras- und Staudenfluren, Seen und Weiher aus ökologischer Sicht Quellbereiche sein, wenn aus ihnen ein Bach abfließt (KRÜGER 1996), was jeweils anzugeben ist. Bei größeren Gebieten sind repräsentative Quellen für die Kartierung auszuwählen.

Vernetzung: Dieses Merkmal beschreibt die Lage zur nächsten Quelle. Einzelquelle ist anzugeben, wenn im weiteren Umfeld keine Quelle zu erkennen ist. Kleinere Nebenquellen im Quellbereich der Hauptquelle zählen nicht separat, da nur ein Quellbach abfließt. Liegen mindestens zwei Quellen beieinander oder ist ein Gebiet großflächig mit Quellen bedeckt, so dass mindestens zwei getrennte Quellbäche abfließen, ist Quellgebiet anzukreuzen. Die beiden Quellbäche müssen insgesamt mindestens für 10 m Fließstrecke getrennt sein, bevor sie sich vereinigen, ansonsten ist Einzelquelle anzugeben. Die ungefähre Entfernung zur Nachbarquelle ist dagegen über Luftlinie anzugeben. Ist sie unbekannt, ist sie aus der Karte abzuschätzen. Die Quellbachlänge wird gemessen vom Ende der Quelle bis zur nächsten Einmündung. Wenn der nächste Bach nicht sichtbar ist, ist die Länge in der Karte abzuschätzen. Die Anzahl der Austritte bezieht sich entweder auf die Einzelquelle oder den Quellkomplex. Die Biotopvernetzung von Quellen ist wichtig für den Wiederbesiedlungsaspekt und die Stabilität der Quellbiozöosen. Nachbarquellen sind „Trittsteinbiotope“ und bilden ein mehr oder weniger dichtes Netz in der Landschaft, wobei besonders deren räumliche Anordnung von Bedeutung ist. Ist die Nachbarquelle verbaut, sollte dies unter Bemerkungen erwähnt werden.

Geländeneigung: Die Geländeneigung wird vor Ort abgeschätzt und eine der vier Stufen zugeordnet. Näherungsweise können die Höhenlinie der Karte herangezogen werden. Die Geländeneigung bezieht sich auf die Umgebung unterhalb der Austrittsstelle, d. h. auf das Umfeld im Umkreis von 20 m und nicht nur auf den Austritt. Eine Berechnung der Neigung ist nur mit technischen Geräten oder der sog. „Neigungsharfe“ aus der Karte möglich (TK25, Gradangaben). Für die meisten Kartierzwecke reicht aber eine Abschätzung folgender Klassen aus:

- schroff: Neigung 90° (senkrecht) bis 30°.
- stark: Neigung 30° bis 15°.
- mäßig: Neigung 15° bis 5°.
- schwach: Neigung 5° bis 0° (waagrecht).

Die Geländeneigung ist von Bedeutung für die Morphologie, die Fließgeschwindigkeit, die Substratzusammensetzung sowie die Sonneneinstrahlung und somit den Temperaturhaushalt.

Hanglage: Die Hanglage wird auf die großräumige Umgebung bezogen. Liegt z. B. die Quelle am Fuß einer größeren Mulde am Mittelhang, so ist Mittelhang anzukreuzen. Zur näheren Erläuterung der Begriffe siehe Abbildung C8/2. Die Hanglage hat ähnliche Konsequenzen wie die Geländeneigung, weist aber zusätzliche Verknüpfungen mit der Schüttung und der Gewässerchemie auf.

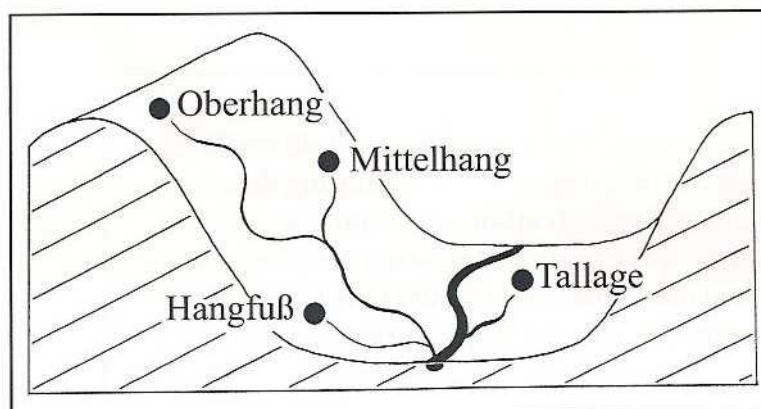


Abb. C8/2: Darstellung von Quellen verschiedener Hanglage

Abflussrichtung: Die Abflussrichtung ist die Himmelsrichtung, in die der Quellbach den Quellbereich verlässt. Bei gewundenem Abfluss ist ein Mittelwert zu bilden. Die Angaben sind als Halbquadrant vorgegeben,

z. B. NW = Nordwest. Das Merkmal ist wichtig für die Ausbildung der Vegetation, den Temperaturhaushalt und das Mikroklima.

Größe: Der Quellbereich ist im Allgemeinen größer als die Quelle selbst. Die Größe der Quelle wird in m² geschätzt und entspricht der Fläche, die deutlich sichtbar wasserüberstanden oder überflossen ist, also dem Gewässer im herkömmlichen Sinn. Der Quellbereich entspricht zusätzlich dem feuchten Bodenbereich im Umkreis um die Quelle mit nassen Hängen oder Felsen. Er ist oft mit Quellpflanzen besiedelt, hebt sich also mit seiner Vegetation vom Umfeld ab, das sich nach außen anschließt. Das Verhältnis zwischen Quelle und Quellbereich erlaubt Rückschlüsse über die Beziehungen von Morphologie, Quelltyp und Strukturvielfalt.

Quellschüttung: Bei einem einmaligem Besuch ist die Schüttung nicht ohne Weiteres eindeutig einzuordnen, da sie Schwankungen unterliegt. Deshalb ist jede Quelle am besten mehrmals zu besuchen, es kann auch die Erfahrung von Anliegern genutzt werden:

- ganzjährig bedeutet, dass die Quelle ohne Unterbrechungen schüttet.
- periodisch bedeutet, dass die Quelle regelmäßig mit Unterbrechungen fließt, z. B. Austrocknung im Sommer. Die Schüttungszeit überwiegt die Zeit des Trockenfallens.
- temporär heißt, dass die Quelle längere Zeit trocken fällt als sie schüttet.

Die Schüttungsmenge ist nur mit geübtem Auge abzuschätzen. Ungeübte unterschätzen sie meist. Am leichtesten ist sie bei gefassten Quellen zu messen, indem ein Messeimer unter das Rohr oder den Überlauf gehalten wird und die Zeit bis zur Füllung gestoppt wird. Anschließend ist in l/s umzurechnen. Wichtig ist, darauf zu achten, dass der gesamte Abfluss in den Eimer fließt. Ansonsten muss mehrmals an verschiedenen Stellen gemessen und zusammengerechnet werden. Falls diese Methode bei verteiltem Abfluss oder durchsickertem Substrat nicht möglich ist (naturnahe Quelle), behilft man sich mit einem Plastiksack, der möglichst dicht am Boden liegt und das Wasser aufnimmt. Auch hier wird wieder die Zeit gestoppt. Diese Methode eignet sich v. a. bei schwach schüttenden Sickerquellen. Sind bei bachähnlichen Sturzquellen keine Abstürze vorhanden, kann eine vereinfachte Abflussmessung erfolgen, indem Breite, Tiefe und Fließgeschwindigkeit einer einheitlichen Stelle multipliziert werden. Eine wenigstens grobe Angabe der Quellschüttung ist hilfreich. Die Schüttung ist eine wichtige Größe, die sehr viele Faktoren beeinflusst, so die Substrat- und Vegetationsverteilung und die Zusammensetzung der Fauna. Einige chemische Parameter wie Sauerstoffgehalt, pH-Wert und die Wassertemperatur hängen von ihr ab.

mittl. Fließgeschwindigkeit: Die Fließgeschwindigkeit ist eine Größe, die je nach Ort in der Quelle variiert. Die mittlere Fließgeschwindigkeit wird gemessen, indem eine Stelle ausgesucht wird, die repräsentativ für die Quelle ist. Dort wird eine Messung nach der sog. Driftkörpermethode durchgeführt. Ein schwimmender Körper (Blatt, Holzstückchen) wird auf der Wasseroberfläche treiben gelassen und die Strecke gemessen (Zollstock) die in einer Sekunde zurücklegt wird (m/s). Anschließend wird die Fließgeschwindigkeit in eine der vier Klassen eingeteilt:

- schnell: > 0,8 m/s.
- mäßig: 0,3 bis 0,8 m/s.
- langsam: < 0,3 m/s.
- stehend: 0 m/s.

Mit etwas Erfahrung können die Werte auch geschätzt werden. Die Fließgeschwindigkeit ist ähnlich wie die Schüttung ein wichtiger Faktor für die Besiedlung und hat ähnlich wichtige Bedeutung.

c) Einträge/ Verbau:

Fassung: Verschiedene Typen von Fassungen stellen die gravierendsten Schädigungen einer Quelle dar und müssen deswegen stärker differenziert werden:

- **Brunnenstube mit Überlauf:** Es ist (wenigstens zeitweise) noch ein Abfluss vorhanden, der als Überlauf einer Brunnenstube gefasst ist. Der anschließende Ablauf kann mehr oder weniger beeinträchtigt bis naturnah sein. Bei größeren Wasserentnahmen kann der Überlauf trocken fallen (Schädigung beträchtlich).
 - **Rohr und Becken:** Hier ist der Austritt mehr oder weniger vollständig gefasst mit Beeinträchtigung der Lebensgemeinschaften. Bei einem Becken oder einem ähnlichen Bauwerk fehlt fast nie ein Rohr oder eine Rinne (Absturz), die das Wasser hineinleitet. Starker Verbau am unmittelbaren Quellaustritt ist das Hauptmerkmal dieses Fassungsstyps, er setzt sich oft noch eine weitere Strecke fort (Verrohrung, Rinnen)
 - **nur Rohr/ Rinne:** Bei dieser Art der Fassung ist nur ein Rohr oder eine Rinne vorhanden, der Rest des Abflusses ist mehr oder weniger naturnah belassen. Die Schädigung ist zwar nicht so stark wie bei einem Becken, das Rohr mit Absturz stellt aber eine Wanderbarriere dar, die nur einseitig passierbar ist.
- Mit den folgenden Begriffen ist das Alter und der Zustand der Fassung gemeint:
- **neu:** Die Fassung ist noch relativ jung, vollkommen unversehrt und vegetationsfrei oder macht den Eindruck einer regelmäßigen und gründlichen Instandhaltung und Reinigung. Bereits kleinere Schäden an der Fassung werden in kürzeren Abständen repariert. Die Quelle ist stark geschädigt.
 - **alt:** Die Fassung zeigt bereits Spuren des Verfalls, ist aber noch funktionsstüchtig. Sie ist schon älter und teilweise überwachsen (Moospolster). Sie zeigt keine Anzeichen laufender Instandhaltung oder häufigen Reinigung. Das Wasser fließt zu einem geringen Teil (unter 10%) durch Ritzen und Spalten der Fassung, sonst ist die Fassung intakt. Die Quelle zeigt Ansätze faunistischer und floristischer Wiederbesiedlung.
 - **verfallen:** Die Fassung ist schon so stark verfallen, dass ein deutlicher Teil (über 10%) des Wassers nicht mehr über die Fassung, sondern daran vorbei oder durch Spalten und Ritzen fließt. Die Fassung ist im Sinne der ursprünglichen Anlage nicht mehr (voll) funktionsstüchtig. Das verfallene Bauwerk ist oft stark mit Pflanzen bewachsen und kann technisch nur aufrechterhalten werden, wenn die gesamte Fassung erneuert wird (ökologisch fehlangezeigt). Die Quelle ist mit hoher Wahrscheinlichkeit wiederbesiedelt und möglicherweise als wertvoller Biotop anzusprechen.

Wasserentnahme: Neben der Trinkwassernutzung gibt es eine Reihe weiterer Wasserentnahmen. Dazu zählt die Ableitung von Wasser für Viehtränken, Fischteiche oder für die Bewässerung sowie Wasserentnahmen durch Besucher mittels Kanistern (Heilquellen). Die Entnahme wird in drei angegebene Klassen geschätzt und ihr Zweck angegeben. Schäden durch Entnahmen werden nach der Menge des entnommenen Wassers beurteilt.

Verlegung: Eine Verlegung liegt dann vor, wenn die Quelle mittels eines Drainage- oder sonstigen Rohres über eine gewisse Distanz von ihrem ehemaligen Austrittsort weggeleitet wird. Ist die Verlegung noch relativ neu, erkennt man ihre Länge und trägt diese in den Bogen ein. Dies ist z. T. auch bei älteren Verlegungen erkennbar. Hat man keinen Anhaltspunkt, ist 'Länge unbekannt' einzutragen. Die Verlegung unterscheidet sich von der Verrohrung durch den Eingriffsort: bei der Verlegung ist der Austritt selbst, bei der Verrohrung der unterhalb liegende Teil der Quelle verrohrt, so dass der Austritt frei liegt. Die Auswirkung der Verlegung variiert je nach Größe des Eingriffs, welche durch Länge und Alter gekennzeichnet ist.

Aufstau: Ein Aufstau hat je nach Ort und Größe sehr unterschiedliche ökologische Folgen, z. B. verstopft er das Hohlräumssystem der Gewässersohle. Ein großer, nahe beim Quellaustritt liegender Aufstau im Hauptschluss überprägt die Quelle völlig, während ein kleiner Aufstau, der sich weit von der Quelle im Nebenschluss angliedert, praktisch keine Auswirkungen hat. Aufstau wird hier im Sinne von künstlichem Aufstau verstanden, im Gegensatz zu natürlichen Tümpelquellen. Hauptschluss bedeutet, dass das gesamte Wasser durch den Aufstau fließt, während bei einem Nebenschluss nur ein Teil des Wassers in den Aufstau geleitet wird, der andere Teil verbleibt im natürlichen Gewässerbett. Zusätzlich ist die Lage des Aufstaus und dessen Größe in m² anzugeben.

künstl. Absturz: Ein künstlicher Absturz ist ein künstlich geschaffener, freier Abfall des Wassers mit Abreißen des Bodenkontaktes, verbunden mit einem kleineren Bauwerk (Wehr, Rampe). Der Abfall kann den

gesamten Abfluss betreffen oder nur einen Teil davon. Die Höhe ist anzugeben. Vor allem höhere Abstürze bilden eine Wanderbarriere für aquatische Tiere.

Verbau: Beim Verbau kommt es neben dem Baustoff vor allem darauf an, wie groß die verbauten Bereiche sind. Deswegen werden drei Kategorien unterschieden, die sich auf die Ufer, die Gewässersohle und den näheren Quellbereich der ersten Fließmeter beziehen:

- stark: etwa von 70 bis 100 % Wasserkontaktfläche.
- mittel: etwa von 30 bis 70 % Wasserkontaktfläche.
- gering: etwa von 0 bis 30 % Wasserkontaktfläche.

Als typische Baumaterialien werden unterschieden:

- Holz: Verschalung mit Brettern und Balken, Holzrinnen.
- Steinschüttung: lose eingeschüttete Steine, Schotter oder Kies.
- wilder Verbau: meist illegal (Anlieger) aus Wellblech, Brettern, Beton, Autoreifen usw.
- Naturstein: Verbau aus roh behauenen, gebietstypischem Stein. Gemeint ist auch eine gefugte oder ungefugte Natursteinmauer.
- Beton: z. B. als Betonverschalung, Betonmauer, Bausteinmauer in Zementbauweise.
- Verrohrung: Bei einer Verrohrung wird die Quelle durch ein Rohr geführt, z. B. unter einem Weg. Sie verhindert als Wanderbarriere die Ausbreitung von Tieren. Abstand und Länge sind jeweils anzugeben.

Die verschiedenen Formen von Verbau verhindern - abhängig von Art und Intensität - eine natürliche Substratausstattung, die Ausbildung von Kleinhabitaten, eine natürliche Uferlinie, verkleinern den Quellbereich und zerstören Lebensräume für Quellzönosen.

Trittschäden: Geringe Trittschäden sind ökologisch wenig bedeutsam, mäßige und starke Trittschäden können jedoch Quellzönosen deutlich beeinträchtigen:

- gering: Trittschäden sind zwar erkennbar, die Quellvegetation ist aber kaum verändert.
- mäßig: hier ist noch Quellvegetation sowie die ursprüngliche Substratausstattung vorhanden, aber bereits beeinträchtigt.
- stark: Hier sind die Veränderungen so gravierend, dass das Gewässerbett kaum noch erkennbar ist. Es bilden sich schlammige Flächen oder verfestigte Bodenbereiche (Pfützen, Trittschäden, Suhlen). Es ist keine nennenswerte Quellvegetation mehr vorhanden, während einheitliches Feinsubstrat vorherrscht.

Die Frage nach den Verursachern der Trittschäden liefert wertvolle Zusatzinformationen als Ansatzpunkt für Maßnahmen (Fußabdrücke). Die ökologischen Folgen von Trittschäden sind die Zerstörung der Kleinhabitats und ihrer Lebensgemeinschaften durch das "Umpflügen" des Bodens im Quellbereich.

Infrastruktur: Sie bezieht sich in weitem Sinn auf „touristische“ oder jagdliche Veränderungen zur Freizeitnutzung im Quellbereich und im Umfeld und wirkt sich indirekt negativ auf die Struktur aus:

- Zuwegung: schmaler Weg oder Pfad, der an/in den Quellbereich oder ans Quellufer heranreicht in Kombination mit Bodenverfestigungen oder Schädigung der Quellvegetation.
- Bänke/ Parkplatz: Dieses Merkmal fasst touristische Einflüsse zusammen, die zwar nicht direkt durch Verbau im Quellbereich gekennzeichnet sind, deren Vorhandensein aber starke Besucherfrequentierung anzeigt (Gefährdung durch Müll, Trittschäden usw.).
- Trittsteine: Angelegte Steine, um trockenen Fußes ans Wasser treten zu können.
- Überdachung: Eine Überdachung wirkt sich v. a. auf den Nahrungs- und Lichthaushalt aus.
- Wassertretbecken: Ist solch ein Bauwerk direkt im Anschluss an die Quelle (Hauptschluss) vorhanden, muss dies unter Fassung bzw. Verbau zusätzlich angegeben werden. In einiger Entfernung und im Nebenschluss genügt der Eintrag an dieser Stelle.
- Wildfütterstelle: Eine Wildfütterstelle wird gerne an Quellen errichtet, da auch das Vorhandensein einer Wasserstelle Wild anlockt. Erkennbar ist sie an Hochsitzen, Futterresten, Futtergefäßen und Wildvertritt. Neben Trittschäden besteht die Gefahr der Eutrophierung durch Futter und Tierkot.

- **Fahrschaden:** Befahren des weiteren Quellbereichs mit einem Fahrzeug, ist auch bei Bauarbeiten (Bagger) sowie bei Rückeschneisen (Schlagholzrücken im Wald) anzugeben, da hier ebenfalls Maschinen den Quellbereich schädigen. Bei starker Schädigung ist dies auch unter a), d) oder e) anzugeben.

Ablagerung: Sie können eine Quelle inklusive des Quellbereichs:

- vollständig (80 bis 100 %),
- teilweise (20 bis 80 %) oder
- vereinzelt (0 bis 20 %) bedecken.

Zu unterscheiden sind:

- **Haus-/ Gewerbemüll:** Gewerbemüll besteht im Vergleich zu Hausmüll häufig aus größeren Mengen.
- **Holzabfall:** sämtlicher Holzabfall, der nach Augenschein nicht natürlich in die Quelle gelangt ist, insbesondere große Mengen mit starker Abdeckwirkung (Stückholz, Bretter).
- **Pflanzenabfall:** Gartenabfälle wie Gras, Laub, Heckenschnitt, Weihnachtsbäume.
- **Erdaushub/ Bauschutt:** Hauptproblem ist die Zudeckung der Quelle sowie Veränderungen des Chemismus (Kalk, Mörtel).
- **org. Reste/ Faulschlamm:** Im Gegensatz zu natürlichen Quellen kann Faulschlamm in anthropogen beeinträchtigten Quellen größere Ablagerungen bilden. Er wird durch starke organische Einträge verursacht (zersetzte Pflanzenreste, Abwasser). Faulschlamm besteht aus kleinsten organischen Resten, die unter Sauerstoffabschluss und Schwefelwasserstoffbildung langsam zersetzt werden (Geruch fauler Eier). Ablagerungen überdüngen oder verschütten den Quellbereich, verhindern den Lichteinfall oder verändern ihn mit deren Inhaltsstoffen (Öle, Säuren, Lacke, Reinigungsmittel, Kalk).

Einleitungen: Einleitungen erfolgen einerseits absichtlich, andererseits können aus offenen Flächen nach heftigen Niederschlägen Stoffe in Quellen eingeschwemmt werden. Vor allem Quellen in Hangkerben und Tallagen sind davon betroffen. Auch bei Trockenheit ist deshalb auf eine gefährdete Exposition zu achten.

- **Oberfläche/ Straße:** Oberflächenwasser ist in der Regel gering verschmutzt, es können aber Gummiabrieb, Öle, Streusalz (Straßen) oder andere wassergefährdende Stoffe beigemischt sein. Oberflächenwasser gelangt auch über Gräben in eine Quelle (Auswaschung nach Regenereignissen).
- **Drainage/ Graben:** Diese Einleitungswässer gelangen über Drainagerohre oder Gräben in Quellen und sind wegen ihrer Herkunft aus (intensiv) landwirtschaftlichen Flächen zum Teil mit Düngemitteln oder Pestiziden belastet. Diese sind jedoch noch mehr oder weniger stark verdünnt.
- **unverdünnt:** Unverdünntes Abwasser stammt aus Haushalten, Industrie oder Landwirtschaft (Gülle, Silosickersäfte). Es ist am starken Geruch, der Trübung, der auffälligen Farbe oder an Bakterien (Schleimfäden: sog. "Abwasserpilz") zu erkennen. Die Veränderungen der Nährstoffsituation und der Wasserchemie sind aufgrund der hohen Schadstoffkonzentrationen besonders dramatisch.
- **Rohr trocken:** auch ein zeitweise trockenes Rohr birgt die Gefahr einer periodischen oder spontanen Einleitung, z. B. durch Reinigung eines Betriebes am Wochenende.

Bei Einleitungen spielt der Abstand zum Austritt eine wichtige Rolle (Angabe auch bei trockenem Rohr).

d) Vegetation/ Nutzung:

Tabelle: Bei der Tabelle der Vegetation/ Nutzung werden Biotoptyp und Abstand zur Quelle kombiniert, letzter gekoppelt mit dem Grad der Auswirkung. Beim Abstand zur Quelle wird unterschieden:

- **Einzugsgebiet:** Das Einzugsgebiet einer Quelle umfasst das Gebiet oberhalb der Quelle bis zur Wasserscheide. Zur Abschätzung der Vegetation des Einzugsgebietes sind sichtbare, dominierende Vegetations- oder Nutzungsformen anzugeben. Ein Teil des Wassers, das im Einzugsgebiet versickert, fließt unterirdisch über das Grundwasser der Quelle zu. Die Quelle bezieht ihr Wasser zwar von diesem Gebiet, das tatsächliche Einzugsgebiet kann sich aber vom oberirdisch sichtbaren Einzugsgebiet unterscheiden. Fal-

len Beeinträchtigungen oder abweichende, wassergefährdende Nutzungsformen im weiteren Umfeld oder im näheren Einzugsgebiet auf (z. B. eine Mülldeponie), ist dies unter Bemerkungen zu nennen.

- Umfeld: Das Umfeld schließt sich außen länglich oval um den Quellbereich an und reicht etwas weiter wie der Kronenradius eines großen Baumes, entsprechend etwa 15 Meter.
- Quellbereich: Der Quellbereich meint den direkten Umkreis als durchnässter, wassergesättigter Bodenbereich um die Quellaustritte. Er hebt sich mit seiner (Quell-)Vegetation oft vom Umfeld ab, das sich nach außen anschließt. Hierzu gehören auch Spritzwasserzonen.
- Quellufer: Das Quellufer stellt den schmalen Übergangsbereich zwischen Wasser und Land dar, Sickerflächen und durchfeuchtete Böden gehören zum Quellbereich.
- Quellbach: Der Quellbach schließt sich unterhalb des Umfeldes an. Wichtig ist vor allem, auf die Durchgängigkeit (Verrohrung, Verbau, Abstürze), aber auch auf Nutzungsformen zu achten und gravierende Veränderungen zu notieren.

Bei den folgend eingeteilten Biotoptypen und Nutzungsflächen können Mehrfachnennungen erfolgen:

- standorttypische Vegetation: standorttypische Vegetation sind Kräuter und Stauden, die charakteristische Gesellschaften für Quellen, Wald, Nasswiesen oder feuchte Hochstaudenfluren bilden (nicht verholzt). Hierzu gehören auch Röhrichte, Seggenriede oder Niedermoore. Typische Pflanzen finden sich in Bestimmungsbüchern der heimischen Flora.
- standortfremde Vegetation: standortfremde Vegetation bilden meist Hochstauden und Pflanzen wie Stickstoffzeiger in Verbindung mit sehr dichter Vegetation aus stark wuchernden Einartbeständen sowie eingeschleppte Pflanzen (Neophyten). Zu ersteren gehört die Brennessel in großen, dichten Beständen, zu letzteren als Neophyten die Topinambur, der Riesen-Bärenklau, der Staudenknöterich, das indische Springkraut und die kanadische Goldrute, weiterhin Pflanzen, die typisch für beeinflusste Biotope sind wie Ruderalflächen und Schuttplätze sowie eine übermäßig starke Verkrautung.
- Moosgesellschaften: pflanzliche Lebensgemeinschaften, bestehend aus Moosbeständen, die ab einer Bedeckung von etwa 5 % die vorkommenden Substrate überwachsen.
- Laubwald: Hiermit sind auch einzelstehende Laubbäume gemeint, wenn sie sich in unmittelbarer Nähe der Quelle befinden (Quellufer, Quellbereich oder Umfeld mit Kronenüberdachung). Laubwald wird ab einem Laubbaumanteil von 80 % angegeben und bildet die natürliche Bestockung um Quellen.
- Mischwald: Mischwald wird aus Laub- und Nadelbäumen gebildet und ab einem ausgeglicheneren Verhältnis von 20 zu 80 % (Laub-/Nadelbäume) angegeben. Im nahen Umfeld (Kronenüberdachung) genügen bereits unterschiedliche Einzelbäume für die Nennung von Mischwald. Mischwald steht in seinen Einflüssen zwischen Nadel- und Laubwald.
- Gebüsch: Gebüsch hat eine Höhe von weniger als 5 bis 6 m. Liegt die Höhe darüber, wird entweder Laub-, Nadel- oder Mischwald angegeben.
- Nadelforst: Nadelbäume mit einem Nadelbaumanteil von mehr als 80 % sind immer forstwirtschaftlich bedingt und standortfremd, da sie natürlich in Mittelgebirgen nur selten und in großen Höhen vorkommen. Es sind auch Einzelbäume zu nennen, die sich in Quellnähe befinden (nahes Umfeld, Kronenüberdachung). Nadelholzmonokulturen sind ökologisch stark schädigend.
- extens. Grünland: Extensives Grünland wird nicht, unregelmäßig oder wenig gedüngt (kein Kunstdünger). Es wird gering beweidet oder ein- bis höchstens zweimal im Jahr gemäht. Bestimmte Pflanzenarten zeigen extensive Wiesen an, wobei unter Bemerkungen zu notieren, ob Wiese oder Weide vorliegt
- intens. Grünland: Intensives Grünland wird regelmäßig und häufig gedüngt und gemäht (3 bis 5 mal im Jahr) oder intensiv beweidet. Auch intensive Nutzungsformen werden durch typische Pflanzenarten angezeigt, fast immer dominieren wenige Arten.
- Acker/ Sonderkultur: Neben Äckern gehören hierher auch Sonderkulturen wie Wein, Hopfen, Tabak, Gemüse oder Obstbau.
- unbefestigter Weg: Hier sind gering oder unbefestigte Wege gemeint, die zwar durch eine Bodenverfestigung gekennzeichnet sind, aber keine starke Auflage aus gebietsfremden Materialien aufweisen. Stre-

ckenweise können aber Befestigungsmaterialien verwendet werden, z. B. Bauschutt. Hierzu zählen auch Wanderwege oder Wege, deren Auflage entweder aus Naturstein besteht, überwachsen oder nicht mehr erkennbar ist (keine größeren Unterhaltungsmaßnahmen).

- befestigter Weg/ Straße: Dieser Punkt umfasst breitere Wege, die in großem Umfang mit Schotter, Splitt oder ähnlichen Materialien (gebietsfremd) befestigt sind, außerdem alle versiegelten Straßen.
- künstl. vegetat.-frei/ Siedlung: Die Ausbildung natürlicher Vegetation kann durch Verbau, Vertritt oder künstliches Entfernen verhindert werden. Natürlich vegetationsfreie Ufer (Fels, Beschattung) sind nicht gemeint. Außerdem umfasst der Punkt versiegelte Flächen wie Häuser, Ortschaften und Städte, Gewerbeflächen sowie andere intensive Nutzungen wie Bahndämme, (Schreber-) Gärten, Spielplätze, Parks, Friedhöfe usw. Konkrete Flächennutzungen sind unter Bemerkungen anzugeben.

Sommerbeschattung: Die Sommerbeschattung ist die Beschattung, die Gehölze in vollständig belaubtem Zustand erzielen. Bei Kartierungen in Winter, Frühjahr und Herbst orientiert man sich an der von Ästen und Zweigen bedeckten Oberfläche. Dabei ist die Beschattung von oben zu schätzen:

- unbeschattet: 0 % Flächendeckung.
- schwach: 0 bis 30 % Flächendeckung.
- mittel: 30 bis 70 % Flächendeckung.
- stark: > 70 % Flächendeckung.

e) **Struktur:**

Substrat: Dieser Punkt ist sehr wichtig für die Lebensgemeinschaften in einer Quelle, da Substrat Lebensraum und Nahrungsgrundlage zugleich darstellt. Mit Substrat ist das Material gemeint, aus dem das Gewässerbett einschließlich der umspülten Ufer und der Spritzwasserzonen besteht. Das Substrat ist also immer wasserbenetzt. Für die Klassengrenzen wurden in der Bodenkunde übliche Maße verwendet (AG BODEN 1994). Die Häufigkeit des Substrates wird in drei Klassen eingeteilt:

- stark: der wasserüberstandene Bereich ist zu über 50 % daraus zusammengesetzt.
- mittel: er besteht zu 20 bis 50 % daraus.
- gering: er besteht zu 1 bis < 20 % daraus. Substrate unter 1 % entfallen.

Bei den Materialien werden in der Regel Mehrfachnennungen vorgenommen, wobei bei "stark" nur eine Nennung möglich ist. Ist eine große Substratvielfalt vorhanden, werden meistens die Ausprägungsgrade "gering" und "mittel" angegeben. Manchmal kann die relative Substratarmut einer naturnahen Quelle naturraumbedingt sein. In einem solchen Fall werden trotz optimaler Substratausstattung nur geringe Substratzahlen erreicht. Bei naturnahen Quellen sind aber praktisch immer wenigstens 3 Substrate anzusprechen. Eine Ausnahme können naturnahe Buchenwaldsickerquellen im Herbst darstellen, wenn diese kurzzeitig völlig mit Falllaub und Zweigen überdeckt sind. In einem solchen Fall sind die bedeckten (häufig vielfältigen) Substrate mit zu berücksichtigen. Als natürliche Substrattypen werden unterschieden:

- Fels/ Blöcke: Blöcke beginnen ab einem Durchmesser von ca. 20 cm, sind aber meist deutlich größer. Fels ist im Vergleich zu Blöcken fest im Boden verankert, hat aber ähnliche Eigenschaften.
- Steine: Korngröße von ca. 6 cm bis ca. 20 cm.
- Kies/ Schotter: Korngröße von 2 mm bis 6 cm. Kies ist rund, Schotter kantig.
- Sand: Korngröße 0,1 mm bis 2 mm: noch sichtbare und fühlbare Körner (Verreiben).
- Feinmaterial: Material mit einer Korngröße unter 0,1 mm, nicht sicht- und fühlbar.
- Moospolster: Moose direkt am Ufer (Wasserkontakt) oder im Spritzwasserbereich.
- Wurzeln: Wurzelflächen mit Wasserkontakt.
- Totholz: abgestorbene Äste und Zweige, die im Wasser liegen oder an Strömungshindernissen festgespült sind bilden wichtige Strukturen und Nahrung für Tiere.
- Pflanzen: lebende Pflanzen, wenigstens teilweise untergetaucht (submers).

- **Fallaub:** Abgefallene Blätter bilden flächige Bereiche oder sammeln sich an bestimmten Stellen zu Falllaubstapeln. Falllaub ist häufig reich besiedelt.
- **Detritus/ org. Schlamm:** abgestorbene, kleinste Pflanzen- und Tierreste, die bereits so zersetzt sind, dass deren ursprüngliche Form und Herkunft nicht erkennbar ist. Er setzt sich meist in Mulden, stehendem Wasser oder zwischen Steinen und Totholz ab.
- **Kalksinter...:** Kalksinter ist ein poröses Material aus ausgefälltem Kalk, das Pflanzen und Substrate überzieht. Es kann krümelig oder terrassenartig verbacken sein und vergrößert oft die natürliche Oberfläche der Quelle (Abb. D2/12). Andere natürliche Materialien sind etwa Schwefelablagerungen (Abb. D2/13) oder Eisen- bzw. Manganocker. Ocker ist ein orangerotes bis rotbraunes, gelartiges Substrat, das am Quellaustritt ausflockt und vorhandene Substrate überzieht (Abb. D2/14).

Veränderte Substrattypen sind:

- **Fadenalgen:** Fadenalgen bilden in überdüngten (Nitrat) und sonnigen Quellen (v. a. in Becken und Rinnen) größere Bestände, sie kommen natürlicherweise nur in kleineren Mengen vor. Im Gegensatz dazu fallen kleinere Grün- oder Kieselalgen als Substrat nicht auf.
- **Künstlich/ fremd:** Mit künstlichem oder fremdem Substrat sind Substrate gemeint, die durch den Menschen eingebracht wurden. Dies sind verschiedene Formen von Verbau wie Beton, Mauern, Holzverschalungen, Kunststoffe und Metall. Aber auch Müll kann bei starker Anschüttung Substrat bilden (Bauschutt, Holz- und Pflanzenabfall, Autoreifen, Wellpappe). Es ist auch an gebietsfremde Schüttmaterialien wie Schotter von Wegen zu denken.

Strömungsdiversität: Die Strömung ist ein Hauptparameter für Fließwasserorganismen. Je vielfältiger die Strömungszustände, desto mehr Kleinhabitate stehen für Krenozöosen zur Verfügung. Die bezeichneten Strömungszustände sind in einer Reihe von mehr oder weniger stehend bis schnell fließend angeordnet. Es sind alle Strömungszustände anzustreichen, die deutlich erkennbar und nicht nur einmal auf wenigen Quadratzentimetern Fläche vorkommen:

- **Spritzwasser:** Diese Bereiche sind zwar ständig nass, aber nicht überflutet. Sie liegen an Felswänden oder seitlich unter Abstürzen. Das Wasser rieselt, perlt oder tropft dabei über das Substrat (Rieselfluren)
- **glatt:** Das Wasser steht und/oder es ist keine Bewegung an der Oberfläche erkennbar.
- **fließend:** Das Wasser fließt ruhig und gleichmäßig (Blätter treiben ab), es ist maximal ein leichtes Kräuseln der Oberfläche ohne Wellenbildung zu beobachten.
- **überfließend:** Hiermit ist das Überfließen von Substraten gemeint, wobei nur geringe Wassertiefen erreicht werden (wenige Millimeter). Die Strömung bleibt ruhig und es kommt zu keiner Blasenbildung.
- **geripfelt:** Hier sind bereits Wellen erkennbar, die Oberfläche ist stärker gekräuselt und verläuft uneben, wobei noch keine deutliche Blasen- oder Schaumbildung zu erkennen ist.
- **plätschernd:** Die Strömung ist heftiger, so dass das Wasser an Substraten oder in kleinen Strudeln erstmals mit sichtbarer Blasenbildung gebrochen wird. Das Wasser beginnt dabei zu schäumen („weiße“ Farbe). Darüber hinaus ist ein Plätschern hörbar.
- **überstürzend:** Hier ist die Blasenbildung stärker, so dass Blasen in einem Strudel unter Wasser gedrückt werden (weiße Unterströmung) und ein deutliches Sprudeln zu hören ist. An Substratkanten stürzt das Wasser nach unten, ohne allerdings eine eindeutige Fallphase aufzuweisen.
- **fallend:** Hier ist eine deutliche Fallphase erkennbar, während das Wasser intensiv mit Luft vermischt wird. Es bildet sich eine größere weiße Schaumzone und ein deutliches Platschen ist zu vernehmen. Bei Substrataufprall kommt es oft zur Spritzwasserbildung.

Wasser-Land-Verzahnung: In die Wasser-Land-Verzahnung spielt die Substratbenetzung, die Uferlinie sowie die Ausprägung der Uferkante hinein. Mit **Substratbenetzung** ist die vom Austrittswasser benetzte Fläche gemeint. Sie kann entweder groß sein (oft bei natürlichen Quellen), während bei beeinträchtigten Quellen ein vorgegebener Verlauf (z. B. durch Gräben) nur eine sehr geringe Fläche zulässt, wo ständige Nässe dominiert. Bei der Abschätzung ist dem naturgegebenen Relief und dem Naturraum Rechnung zu

tragen, so dass eine gewisse Erfahrung des Kartierers gefragt ist. So wird eine naturnahe Tümpelquelle in Sandsteingebieten einen flächenmäßig geringeren Nassbereich aufweisen als eine naturnahe Sturzquelle, die einen Wasserfall bildet. Bei Regenwetter kann die feuchte Fläche kaum geschätzt werden, wenn die Quelle nicht sehr gut bekannt ist. Die Uferlinie bildet die Grenze zwischen Wasser und Land am Rand der wasserüberstandenen Fläche. Sie kann gerade, buchtig gewunden oder diffus verteilt sein. Die Uferkante dagegen ist durch die Steilheit des Wasser-Land-Übergangs gekennzeichnet. Bei naturnahen Quell- und Quellbachabschnitten sind die Ufer flach ausgebildet, während bei Offenlandquellen und nach Eingriffen die Ufer eher steil verlaufen (Umleitungen, Verbau). Dies gilt in besonderem Maß im anschließenden Quellbach. Die Entscheidung über die Ausprägung der Wasser-Land-Verzahnung erfolgt durch „Mittelwertbildung“ der drei Einzelparameter, d. h. die häufigeren Ausprägungen werden ausgewählt und zusammengefasst:

- groß: Die Wasser-Land-Verzahnung ist groß, wenn die durchfeuchtete Fläche so groß ist, dass fast alle Bereiche um die eigentliche Quelle wassergesättigt sind. Die Ufer des beginnenden Quellbaches bleiben sehr flach. Will man sich der Quelle nähern, findet man kaum Abschnitte, in denen man nicht „hasse Füße“ bekommt oder im feuchten Boden einsinkt. Bevor man den genauen Austritt vor sich hat, steht man häufig bereits im Quellbereich. An einer solchen Quelle werden alle Möglichkeiten verwirklicht, die die Standortvoraussetzungen für eine großflächige Verteilung des Wassers geboten haben, so dass eine klare Uferlinie kaum erkennbar ist (diffus).
- mittel: Die Quelle besitzt sowohl Bereiche, in denen eine starke Wasser-Land-Verzahnung mit großflächig nassem Boden vorhanden ist, als auch Bereiche, in denen eine scharfe Trennung von Wasser und Ufer sichtbar ist. Die Quellufer sind wechselnd steil und die Uferlinie ist mehr oder weniger buchtig. Bei Quellen mit diffuser und zusätzlich gerader Uferlinie ist der Mittelwert (buchtig) zu bilden.
- gering: Außer dem aquatischen Bereich fehlt eine durchfeuchtete Fläche praktisch völlig, so dass das Ufer eine starke Trennung zwischen Wasser und Land aufweist. Bereits wenige Zentimeter oberhalb der Wasserkante ist der Boden trocken. Hier ist die Uferkante fast überall relativ steil und die Uferlinie ist relativ gerade. Solche Quellen sind oft anthropogen verändert. Manche naturnahe Quellen in Kerbtälern scheinen zunächst eine geringe Wasser-Land-Verzahnung aufzuweisen. Bei genauem Hinsehen ist allerdings die Uferlinie nicht gerade, da das anstehende Gestein buchtige Ränder ausbildet, außerdem ist die Uferkante meist flach.

Besondere Strukturen: Die besonderen Strukturen geben typische Quellstrukturen an, die in der Regel eng mit der Naturnähe und der Besiedlung zusammenhängen. Ihre Ausbildung ist z. T. quelltypabhängig. Besondere Strukturen sind oft in naturnahen Quellen anzutreffen, während sie in veränderten oder geschädigten Quellen fehlen. Von dieser Regel sind zwar Einzelfälle, die zum Teil auch naturräumlich gehäuft auftreten können, ausgenommen. Trotzdem bilden besonderen Strukturen ein wichtiges Kriterium für die ökologische Wertigkeit einer Quelle, z. B. für die Ausstattung mit Kleinlebensräumen. Das Merkmal ist offen, so dass weitere Strukturen hinzufügender sind:

- Laufverzweigung: Abschnitt in der Quelle, wo sich der Lauf des Gewässers auf einer gewissen Strecke trennt und sich danach wieder vereinigt. Hier ist auch die Laufgabelung eingeschlossen, welche sich bachaufwärts teilt und nicht wieder vereinigt (mehrere Quellaustritte).
- Inselstrukturen: kleinere und oft mehr oder weniger rundliche Substratflächen (Abgrenzung zur Laufverzweigung), die über die Wasseroberfläche erhaben und meist bewachsen sind.
- Fließhindernisse: in naturnahen Quellen treten fast immer natürliche Fließhindernisse auf. Sie werden gebildet aus Totholz, Wurzeln, Steinen oder Falllaubstapeln, selten werden sie von Pflanzen verursacht (stark bewachsene Sickerquellen). An einem Fließhindernis wird ein deutlich erkennbarer Prozentsatz des Quellwassers umgeleitet oder leicht natürlich angestaut.
- Sandwirbel: typische, mehr oder wenig kugelförmige Struktur am Grunde von Tümpelquellen, bei der Sand durch die Austrittsströmung aufgewirbelt wird und die deswegen vegetationsfrei bleibt.

- natürliche Pools: Kleine Bereiche, in denen stehendes Wasser von der fließenden Welle und der Hauptströmung mehr oder weniger isoliert ist. Am Grund setzt sich oft Feinmaterial ab.
- gr. Tiefenvarianz: Dieses Merkmal beschreibt viele unterschiedliche Wassertiefenbereiche in der Quelle. Es sind mindestens 5 deutlich differenzierbare Tiefenbereiche im aquatischen Raum gemeint, so dass die Wasserstände auffällig stark variieren. Eine große Tiefenvarianz kann mitunter auch in gefassten Quellen vorkommen. Bei baulich künstlicher Tiefenvarianz erfolgt keine Nennung.
- Kaskaden: Kaskaden sind mehrere natürliche Gefällestufen, die von Wasser überflossen sind, wobei die Abstürze niedrig bleiben (Abgrenzung zum Wasserfall). Sie sind häufig treppenförmig ausgebildet, z. B. bei Kalksinterquellen.
- Wasserfall: natürliche Wasserfälle - nur diese sind gemeint - sind Bereiche, in denen das Wasser meist nicht nur an einer, sondern an vielen Stellen abstürzt. Deswegen bilden sich am und unter dem Absturz, wo das Wasser zusätzlich vorbeifließt, Strukturen und Kleinhabitate wie Moospolster aus.
- starke Quellflur: Vor allem in Sickerquellen vorhandene Struktur aus besonders vielen und quelltypischen Kräutern, z. B. Milzkraut, dominierend im gesamten Quellbereich.
- Wassermoose: Es sind stark ausgebildete und quelltypische, untergetaucht (submers) lebende Wasser- bzw. Quellmoose gemeint, die häufig in Tümpelquellen vorkommen.
- gr. Lückensystem: Vor allem in Wanderquellen vorkommende natürliche Struktur (Hangschuttquellen), wobei das hyporheische Interstitial aufgrund von relativ grobem Geschiebe (Steine, Schotter) ohne zusätzliches Feinmaterial vergrößert ist.
- Rieselflur: hiermit sind mit Moosen, Farnen oder Quellkräutern überwachsene Spritz- und Rieselwasserbereiche gemeint, in denen Quellwasser nach unten tropft, perlt oder zusätzlich aus Felsen sickert. Sie befinden sich oft an stark geneigten oder senkrechten Felswänden oder in der Nähe eines Wasserfalls einer Sturzquelle.

f) Gesamteindruck:

Ein erfahrene Kartierer hat manchmal vor Ort das Gefühl, der realen Situation einer Quelle mit dem ausgefüllten Bogen nicht ganz gerecht zu werden, sei es dass die Quelle trotz Verbau einen naturnahen Eindruck macht, sei es dass eine nach dem Bogen relativ naturnahe Quelle tatsächlich stärker beeinträchtigt ist (begründeter Verdacht, Gefährdungen). Aus diesen Gründen, aber auch um die Erfahrung des Kartierers einfließen zu lassen (Bestätigung), kann an diesem Punkt eine subjektive oder vergleichende Bewertung vorgenommen werden. Diese kann in begründeten Ausnahmefällen das Kartiererergebnis etwas auf- bzw. abwerten. Auch dem Kartieranfänger sei geraten, diesen Punkt auszufüllen, was der eigenen Schulung und Erfahrungsbildung dient. Zur Durchführung wird die Quelle in die dem Kartierer am plausibelsten erscheinende Klasse aus den fünf angegebenen Klassen gestellt. Dabei vergegenwärtigt man sich die wichtigsten Einflüsse mit ihrer jeweiligen Gewichtung und fasst diese in einem persönlichen Urteil zusammen. Bei einer Ergebniskorrektur in Verbindung mit einer Abweichung vom errechneten Wert ist diese gut zu begründen.

g) Skizze/ Bemerkungen:

Skizze: Die Übersichtsskizze dient dem Wiederauffinden eines Quellstandortes und macht die Lagebeziehung einzelner Vegetationsmerkmale und Flächennutzungen untereinander auf einen Blick erkennbar. Eine gute Skizze sagt mehr aus, als dies mit Worten oder einem Foto in ähnlich kurzer Zeit vor Ort möglich wäre. Deshalb ist eine einfache Skizze unerlässlich. Zur Ausführung:

- unbedingt Maßstab angeben und auf Himmelsrichtung achten. Ohne Maßstab oder Himmelsrichtung kann eine Zeichnung im Gelände nicht eingeordnet werden.
- zur Klarheit Legende oder Beschriftung anfügen.
- Der Quellbereich mit dem unmittelbaren Umfeld ist grob in einfacher, klarer Linienführung in Umrissen zu skizzieren (Quelle und Quellbach). Vor allem soll der Umriss der Wasserfläche und der Quellbereich

mit grober Vegetationsanordnung dargestellt werden. Die umliegende Nutzung wie Wald oder Grünland (schraffiert) und Verbauorte sind anzureißen. Markante Punkte oder dominante Strukturen wie Bäume oder Felsen nahe dem Austritt sind einzufügen. Hervorgehobene Geländemerkmale erleichtern die Wiedererkennung. Ergänzend sollte ein Detailfoto gemacht werden.

Bemerkungen: Ein formaler Bogen kann per Definition niemals allen Quellstandorten gerecht werden. Unter Bemerkungen können und sollen alle Besonderheiten der Quelle aufgeführt werden, die nach der Meinung des Kartierers nicht vom Bogen berücksichtigt wurden. Zudem müssen oft Angaben im Bogen ergänzt, erläutert oder begründet werden (Zweifelsfälle). Je mehr Erläuterungen vorhanden sind, desto konkreter kann man sich später die betreffende Quelle vor Augen führen. Gesonderte Blätter sollten mit Datum und Quellnamen versehen und an den Originalbogen geheftet werden. Falls unter diesem Punkt zusätzliche Schädigungen oder positive Besonderheiten eingetragen wurden, kann dies am Merkmal Gesamteindruck seinen Niederschlag finden.

Gefährdungen: Hier sollten wichtige und offensichtliche Gefährdungen, d. h. potentielle Schädigungen, notiert werden. Beispiel wäre eine ablagerungsgefährdete Quelle unterhalb von Kleingärten.

Maßnahmen: An dieser Stelle können bereits konkrete Maßnahmen genannt werden, die zu einer ökologischen Aufwertung der Quelle führen.

Schutzstatus: Falls der aktuelle Schutzstatus nicht bekannt oder ausgeschildert ist (Naturdenkmal, Naturschutzgebiet) ist er nach der Kartierung zu ermitteln.

C 8.3.5 Berechnung der Bewertungsklasse

Die Bewertungsklasse wird mit dem Bewertungsbogen berechnet (Abb. C8/3). Die betreffenden Werte werden mit dem Erfassungsbogen übertragen und nach der Anleitung zusammengerechnet. Abschnitt A (linke Seite) enthält nur Schadstrukturen, wobei eine pessimistische Bewertung durch den schlechtesten Parameter erfolgt. Abschnitt B (rechte Seite) enthält Schad- und Wertstrukturen, wobei eine Berechnung durch Mittelwertbildung erfolgt. Von der Standardberechnung in Teil B werden zum Teil Abweichungen vorgenommen bei Quellen, die entweder von besonderen Schadstrukturen wie Nadelforst im Umfeld oder einer Überdachung betroffen sind oder in mehr als drei Strukturparametern besonders naturnah ausgeprägt sind (vgl. Abb. C8/3). Die Bewertungsklasse berechnet sich aus $(A + B) / 2$, wobei der ermittelte Wert einer der Bewertungsklassen zugeordnet wird (Tab. C8/1):

Tab. C8/1: Zuordnung der Bewertungsklassen zum berechneten Wert

Bewertungsklassen	Klasse	Wert	Farbe
naturnah	1	1,0 - 1,8	blau
bedingt naturnah	2	1,81 - 2,6	grün
mäßig beeinträchtigt	3	2,61 - 3,4	gelb
geschädigt	4	3,41 - 4,2	orange
stark geschädigt	5	4,21 - 5,0	rot

Bei der Berechnung ist durchaus beabsichtigt, dass der Parameter Vegetation/Umfeld in Abschnitt B bei ökologisch positiver Ausprägung den Parameter Einträge/Verbau in Abschnitt A abmildern und den Gesamtwert modifizieren kann. Dies trägt dem Tatbestand Rechnung, dass die Ausbildung eines naturnahen Umfeldes als Potential für Renaturierungen von Bedeutung ist.

Abb. C8/3 (S. 49): Bewertungsbogen des Quellstrukturverfahrens mit Erläuterung der Berechnung

Quellen: Bewertungsbogen zur Naturnähe von Struktur und Umfeld

bitte Erfassungsbogen übertragen und zutreffende Werte umringeln

Name der Quelle: _____ Ident.-Nummer: _|_|_|_|_|_|_|_| Datum: _____

zerstörte Quelle: nicht mehr bewertbar (schlechtestes Ergebnis)

A: (höchster Wert)				B: (Verrechnung)				
Morphologie: nicht bewertet				Vegetation/Nutzung: a)				
				Einzugsgebiet	b) Umfeld	c) Quellbereich	d) Quellufer	e) Quellbach
Einträge/Verbau:				standorttyp. Vegetation	-	1	1	1
				standortfr. Vegetation	-	2	3	2
				Moosgesellschaften	-	1	1	1
				Laubwald	1	1	1	1
				Mischwald	2	2	2	2
				Gebüsch	2	2	2	2
				Nadelforst	3	4	5	4
				extens. Grünland	2	3	3	4
				intens. Grünland	3	4	5	4
				Acker/Sonderkultur	4	4	5	4
				unbefest. Weg	-	3	4	3
				befest. Weg/ Straße	-	4	5	4
				künstl. vegetationsfrei/Siedlung	4	4	5	4
				Mittelwertberechnung:	_____	_____	_____	_____
Fassung: neu alt verfallen				f) Sommerbeschattung:				
Brunnenstube mit Überlauf	5	4	3	unbeschattet		4		
Rohr und Becken	5	4	2	schwach		3		
nur Rohr/Rinne	3	2	1	mittel		2		
nein: 1				stark		1		
Wasserentnahme: >60% 30 - 59% <30% nein								
4	3	2	1					
Verlegung: nein: 1 neu: 5 alt, Länge alt >100m alt 10-100m alt <10m unbekannt								
4	3	2	3					
Aufstau: nein: 1 nach <10m nach >=10-49m nach >50m								
Hauptschluss, 1-5m ²	4	3	2					
Hauptschluss, >5m ²	5	4	3					
Nebenschluss	3	2	2					
künstl. Absturz: nein: 1 Gesamtabfluss: 4 Teilabfluss: 3								
Verbau: nein: 1 stark mittel gering								
Holz	4	3	2					
Steinschüttung	4	3	2					
wilder Verbau	4	3	2					
Naturstein	5	3	2					
Beton	5	4	3					
Verrohrung	5	4	3					
Trittschäden: nein: 1 gering: 2 mäßig: 3 stark: 5								
Infrastruktur: nein: 1 1 Kreuz: 2, 2 Kreuze: 3, 3 Kreuze: 4, >=4 Kreuze: 5								
Ablagerung: nein: 1 vollständig teilweise vereinzelt								
Haus- /Gewerbemüll	5	4	3					
Holzabfall	5	3	2					
Pflanzenabfall	5	4	3					
Erdaushub /Bauschutt	5	4	3					
org. Reste /Faulschlamm	5	3	2					
Einleitungen: nein: 1 für Quellbach >50m gilt: jeweils 1 weniger								
Oberfläche /Straße	3	3	5	4				
Drainage /Graben	3	5	4					
unverdünnt	5	4						
Rohr trocken	4							
				B berechnen: [a)+b)+c)+d)+e)+f)+g)+h)+i)+k] / [6 + X] = _____				
				bei 3 oder mehr Sternen* wird der Wert der Quelle insgesamt um 0,4 aufgewertet				
				Aufwertung: ja nein				
Bewertungsklassen:				Gesamteindruck als Bewertungsvergleich:				
naturnah	1	1,0 - 1,8	blau	1	2	3	4	5
bedingt naturnah	2	1,81 - 2,6	grün	naturnah	bedingt naturnah	mäßig beeinträchtigt	geschädigt	stark geschädigt
mäßig beeinträchtigt	3	2,61 - 3,4	gelb					
geschädigt	4	3,41 - 4,2	orange					
stark geschädigt	5	4,21 - 5,0	rot					

Berechnung des Gesamtwertes für Struktur und Umfeld: der Wert A für die Bereiche Einträge und Verbau und der Wert B für Vegetation/ Nutzung/ Struktur werden getrennt berechnet: Einträge/ Verbau: höchster angekreuzter Wert = A (keine Verrechnung). Der bestmögliche Wert ist immer 1, nicht 0. Vegetation/ Nutzung/ Struktur: Wert der Einzelparameter (Mittelwerte) zusammenrechnen und durch 6 + X teilen (Anzahl der Parameter) = B (X = Anzahl gewichteter Strukturmerkmale, Ungültige [-] zählen nicht). Der Gesamtwert ergibt sich aus (A + B) / 2.

Wert Einträge/Verbau (höchster erhobener Wert): **A = _____**

Wert Vegetation/Nutzung/Struktur (einzelne Mittelwerte zusammenrechnen / Anzahl erhobener Parameter ohne Ungültige): **B = _____**

Gesamtergebnis Struktur und Umfeld: (A + B) / 2 = _____

Aufwertung durch Struktur um den Wert 0,4? _____

D Ergebnisse

Die Ergebnisse werden in Form einer Annäherung an das Krenal vorgestellt, wobei vom großen zum kleinen Maßstab vorgegangen wird. Aus Gründen der Übersichtlichkeit entspricht die Gliederung den Kapiteln der Diskussion. Eine Übersicht über die Lage der Quellen sowie über die Eigenschaften des Untersuchungsgebietes gab bereits Kapitel B. Es ist unvermeidlich, dass einzelne Faktoren in neuer Kombination mit anderen Parametern wiederholt dargestellt werden. Hierbei wird jeweils die räumlich sinnvollste Ebene gewählt, was etwa die darstellerische Entscheidung zwischen den detaillierteren Naturräumen und den größeren, stärker geologisch abhängigen Quellräumen betrifft. Die Datenbank aller Quellen im Anhang enthält chemische und faunistische Daten, die Strukturkartierung ohne Skizzen sowie Fotos ausgewählter Referenzquellen.

D 1 Naturkundliche Übersicht über die Quellen von Rheinland-Pfalz

D 1.1 Landesweite hydrogeologische Übersicht und Quellraumbene

Da es wegen der Vielzahl an Quellen in Rheinland-Pfalz keine landesdeckende Kartierung aller Quellen geben kann, wurden durch repräsentative Auswahl viele naturnahe Zustände und nahezu alle Typen von Quellen erfasst (vgl. Kap. C 2). Die kartierten 334 Quellen dürften einen Anteil von unter 1 % aller rheinland-pfälzischen Quellen ausmachen. In der Pfalz und insbesondere im Pfälzerwald ist die Datenlage allerdings günstiger im Vergleich zu anderen Landesteilen, da hier verhältnismäßig viele Quellen kartiert sind (über 5 %). Es wurden Daten zu Struktur, Fauna und Hydrochemie der Quellen erhoben, im Quelltypenatlas (SCHINDLER 2002) erfolgte bereits eine morphologische Typisierung ausgewählter Quellen. Bei der Kartierung im südlichen Pfälzerwald wurden nahezu alle gefassten Quellen der Verbandsgemeinde Dahner Felsenland kartiert. Eine landesweite Übersicht über die kartierten Quellen gab bereits Abbildung B5/1 und B5/2. Zur Übersicht ist in Abbildung D1/1 (links) die durchschnittliche Höhenlage der Quellen graphisch dargestellt. Die Abbildung spiegelt durch die Höhenlage der beprobten Quellen die ungefähre Durchschnittshöhe der jeweiligen Quellräume (s. S. 52) wider und reicht von 715 m im Hunsrück bis zu 60 m im Mittelrheintal. In Abbildung D1/1 (rechts) ist die Geologie und deren Aufteilung auf die untersuchten Quellen dargestellt. Hierbei wurden 14 geologische Bereiche als Grundwasserlandschaften differenziert (LfW 2000, Kap. B).

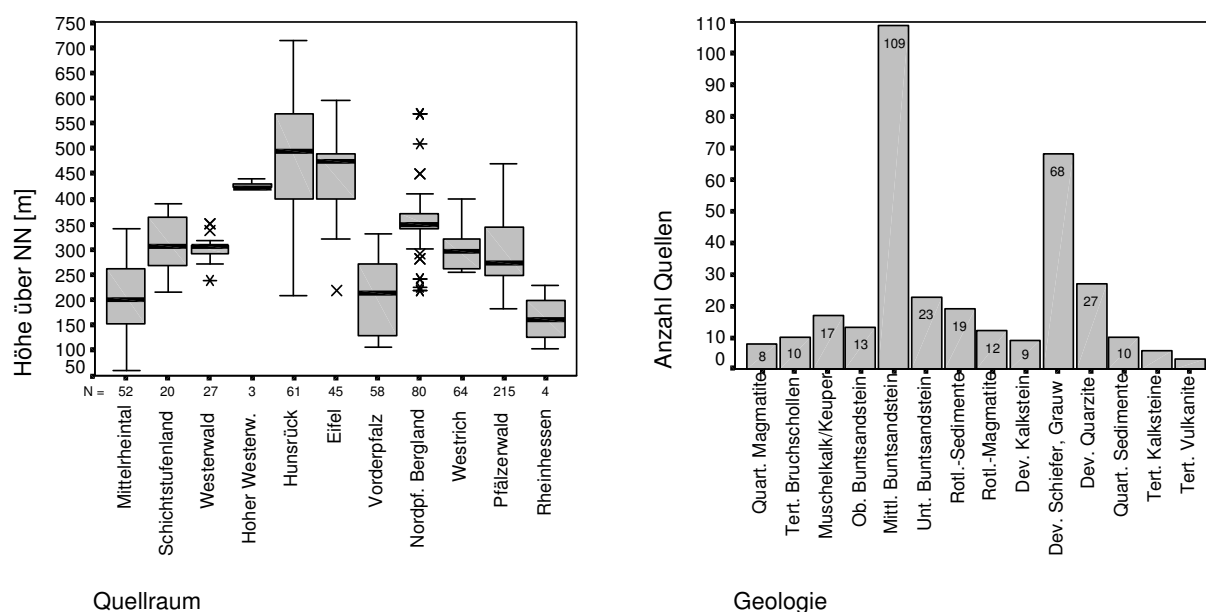


Abb. D1/1: Höhe über NN aller Quellen und Quellraum (s. S. 52, links) bzw. Geologie aller Quellen (rechts)

Die rechte Abbildung spiegelt die relative Armut an Kalkgesteinen in Rheinland-Pfalz wider, die meisten Quellen liegen in eher sauren Gesteinen wie Buntsandstein oder Quarzit sowie in Tonschiefer, der vor allem die nördliche Landeshälfte dominiert und mit Grauwacken durchsetzt ist. Es ist zu beachten, dass die Untersuchung im Dahner Felsenland mit ca. 100 Quellen überwiegend durch Buntsandsteinquellen geprägt ist. Kalkreichere Gebiete stellen insbesondere die tertiären Kalksteine Rheinhessens, die Muschelkalkgebiete um Bitburg und Zweibrücken sowie die devonischen Kalke dar, die sich meist in der Eifel finden. Die quartären und pliozänen Sedimente des Oberrheingrabens sind zum Teil ebenfalls kalkreich (tertiäre Bruchschollen).

Die meisten Quellen schütteten um 1 l/s (Median), 262 aller Quellen schütteten perennierend und 64 periodisch. Die Schüttungsmenge hängt mit der Durchlässigkeit des anstehenden Gesteins, der Art des Aquifers, der Reliefenergie und der jeweiligen Größe des Einzugsgebietes zusammen (vgl. Kap. E). Der Einfluss der Geologie auf die Quellschüttung ist in Abbildung D1/2 (links) dargestellt. Es ist deutlich, dass sowohl die mittleren (Median) als auch die maximalen Schüttungsmengen im mittleren und unteren Buntsandstein am höchsten sind (Pfälzerwald). Die Anzahl periodischer Quellen betrug im Buntsandstein unter 15 %, im häufigen devonischen Tonschiefer lag sie dagegen bei knapp 30 %. Vergleicht man die Schüttungen aller Quellen zwischen Winter/Frühjahr und Sommer/Herbst, so zeigen sich signifikante Unterschiede (U-Test: $p = 0,000$, $n = 601$). Der Median im Winter/Frühjahrsjahr (Dezember-Mai) betrug 1,5 l/s, der im Sommer/Herbsthalbjahr (Juni-November) 0,5 l/s. Auf die Hydrologie der Quellen, die stark von regionalen Faktoren wie Geologie und Landnutzung in einem Naturraum abhängt, geht Kapitel D 1.3 näher ein. Beim Auftragen der Schüttung gegen die Monate in den einzelnen Untersuchungs Jahren zeigt sich eine höhere Schüttung von Februar-April als in Sommer und Herbst (Abb. D1/2 rechts). Im Januar lagen kaum Daten vor.

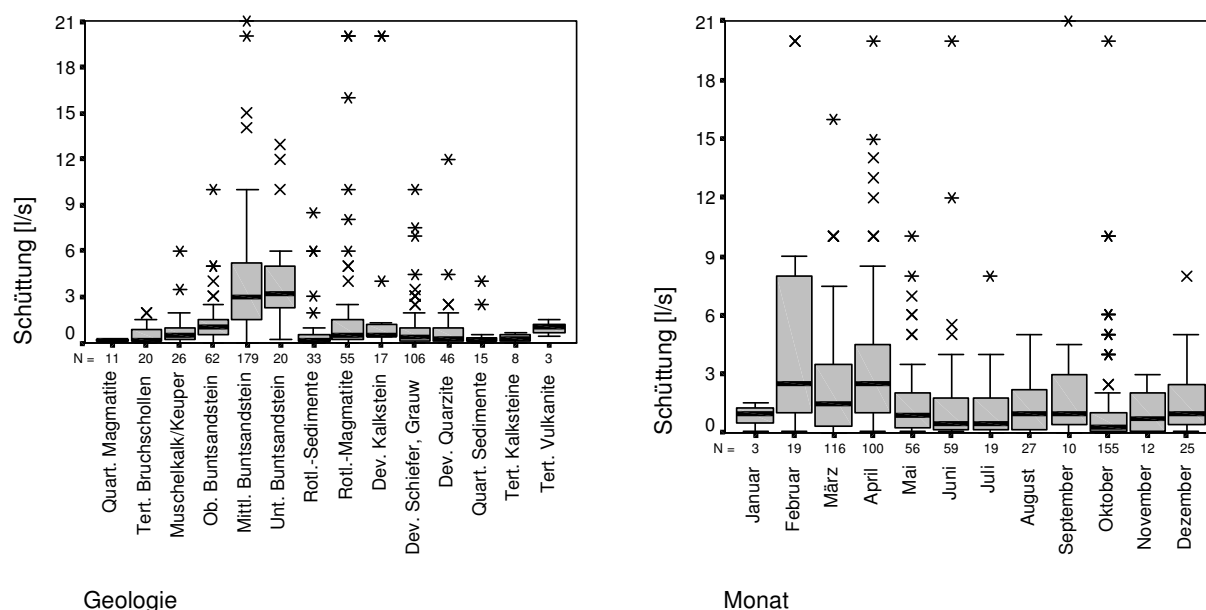


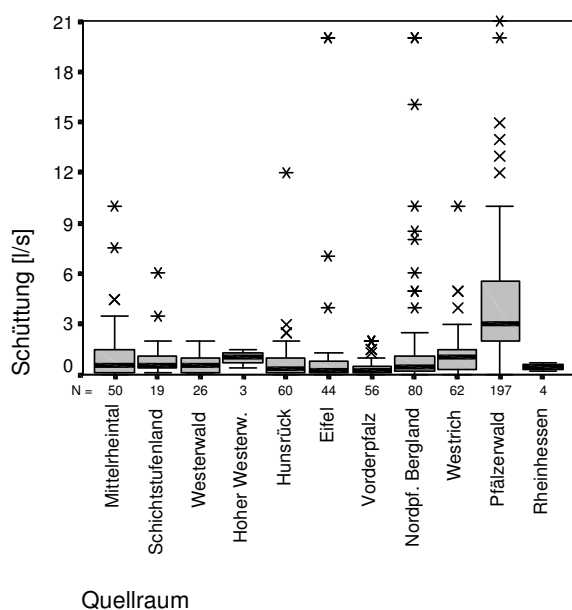
Abb. D1/2: Schüttung und Geologie aller Quellen (Grundwasserlandschaften, links) bzw. Schüttung, aufgeteilt auf Monate der Untersuchungszeit (rechts). Quelle Nr. 0176 (bis 70l/s), 0178 (bis 42 l/s), 0166 (35 l/s), 0098 und 0161 (jew. 25 l/s) ist nicht dargestellt (meist im Buntsandstein).

Der Vergleich von Buntsandstein- mit Tonschieferquellen lässt erkennen, dass erstere im Jahresverlauf eine relativ konstante Hydrologie zeigen, während letztere eine stärkere Tendenz zur Periodizität besitzen. So liegt ihr Median der Schüttung deutlich tiefer. Tonschieferquellen schütteten im Halbjahr Winter/Frühjahr im Median 0,65 l/s, im Sommer/Herbst dagegen 0,3 l/s, während Buntsandsteinquellen mit 3,5 bzw. 2,0 l/s eine ausgeglichener Schüttung aufwiesen. Dort wurde mit ca. 70 l/s auch die stärkste Schüttung festgestellt (Quelle Nr. 0176). Die Dichte des Gewässernetzes gibt Hinweise auf Hydrologie (Abb. B4/1) und Quell-

schüttung in verschiedenen Regionen. Die Quelldichte ist im Tonschiefer relativ hoch, die Schüttung der einzelnen Quellen jedoch relativ niedrig (vgl. Kap. E), was insbesondere im Vergleich zu Buntsandsteingebieten auffällt, wo die Quelldichte geringer, die Schüttung einzelner Quellen jedoch stärker ist.

Die Trennung von Quellraum und Naturraum ergab sich aus den unterschiedlichen Anforderungen der beiden Hauptprojekte, nach denen die Struktur der Quellen in Quellräumen, die faunistische Besiedlung der Quellen aber in abbildungsschärferen Naturräumen differenziert und betrachtet wurde. Verschiedene regionale Bedingungen wie Landnutzung und örtliche geologische Unterschiede haben nämlich oft eine andere Besiedlung zur Folge, was in der Struktur von Quellen eines Quellraums nicht erkennbar ist (vgl. Kap. D 4). Oft stimmen aber die Naturräume mit den Quellräumen überein oder sind Teil derselben (Tab. B5/1). In drei Naturräumen und zwei Quellräumen wurden keine faunistische Daten erhoben, da dort zum Beprobungszeitpunkt keine naturnäheren Quellen bekannt waren. Insbesondere in Rheinhessen sind fast alle Quellen aufgrund landwirtschaftlicher Nutzung anthropogen verändert, besonders durch Drainagen und Kanalisierung. Wenn möglich, werden bei der Darstellung Quellräume favorisiert, in wenigen Fällen wurden auch Naturräume dargestellt, insbesondere bei den Daten aus SCHINDLER & HAHN (2000).

In Abbildung D1/3 ist die Schüttung aller Quellen in Bezug zum Quellraum gesetzt, wobei die hohen Schüttungen im Pfälzerwald deutlich hervortreten. Sowohl die durchschnittlichen (Median) als auch die maximalen Schüttungsmengen sind hier am größten. Es folgen Eifel und Nordpfälzer Bergland sowie Westrich und Mittelrheintal. Tabelle D1/1 fasst die Mediane aller Quellräume zusammen.



Tab. D1/1: Median der Schüttung [l/s] in den Quellräumen

Quellraum	N	Median
Mittelrheintal	50	0,50
Schichtstufenland	19	0,50
Westerwald	26	0,50
Hoher Westerw.	3	1,00
Hunsrück	60	0,30
Eifel	44	0,20
Vorderpfalz	56	0,20
Nordpf. Bergland	80	0,45
Westrich	62	1,00
Pfälzerwald	197	3,00
Rheinhessen	4	0,40
Gesamt	601	1,00

Abb. D1/3: Schüttung und Quellraum aller Quellen. Die Quellen Nr. 0176 (bis 70l/s), 0178 (bis 42 l/s), 0166 (35 l/s), 0098 und 0161 (jew. 25 l/s) sind nicht dargestellt

D 1.2 Beschreibung der abgegrenzten hydrogeologischen Quellräume in Rheinland-Pfalz

Maßgebenden Einfluss auf das Erscheinungsbild der Quellen haben neben dem Relief, der Nutzung und der Hydrologie des Grundwassers die geologischen Verhältnisse, die bei der Einteilung der Quellräume vor allem berücksichtigt wurden. Sie beeinflussen Faktoren, die sich auf die Morphologie der Quelle auswirken wie die Art des Grundwasserleiters, die anorganischen Substrate und letztendlich über die mit den Böden zusammenhängende menschliche Nutzungspräferenz (Waldanteil). Basierend auf der Karte der Grundwasserlandschaften (LfW RLP) wurden elf hydrogeologische Quellräume abgegrenzt. Kriterien waren neben der

Geologie die Quelldichte, die Häufigkeiten einzelner Quelltypen, das Schüttungsverhalten und die Stetigkeit der Quellen, das Vorkommen geologischer Sondertypen (Kalksinter-, Ocker- und Schwefelquellen), die anorganischen Quellsubstrate, typische, häufige oder auch fehlende Strukturen, die Nutzungsstruktur und damit die Beeinträchtigungsqualität und –quantität sowie die Natur- und Fließgewässerräume nach LfW (1999). Der Begriff Quellraum fasst eine Region mit gleicher oder ähnlicher Grundwasserlandschaft zusammen, in der sich morphologische Eigenschaften der Quellen wiederholen. Im Folgenden werden diese kurz vorgestellt, wobei die Angaben als Mittelwerte zu interpretieren sind.

a) Pfälzerwald

Der Pfälzerwald zeichnet sich durch eine hohe Reliefenergie und hohe Grundwasserneubildungsraten aus. Die Quellen besitzen in der Regel eine sehr hohe, gleichbleibende Schüttung, während Sicker- und vor allem Wanderquellen weitgehend fehlen. Die Quelldichte ist dagegen relativ gering. Oft finden sich punktuelle Austritte an den Grenzen der Buntsandsteinschichten. Dementsprechend dominiert die Sturzquelle als häufigster Quelltyp. Deren Anteil ist mit ca. 80 % sehr hoch, was eine Besonderheit für Rheinland-Pfalz darstellt. Tümpelquellen finden sich an den Talrändern. Geochemische Überprägungen kommen kaum vor, jedoch sind manchmal leichte Verockerungen in den Bachtälern zu finden. Das Gebiet ist bis auf Bereiche am Ostrand von Buntsandstein dominiert, was es für die Trinkwassernutzung besonders eignet. Als Substrate in den Quellen sind Fels, Blöcke und Steine sowie aufgrund der leichten Verwitterungsfähigkeit Sand typisch. Der Bewaldungsanteil ist sehr hoch, da der anthropogene Nutzungsdruck aufgrund der nährstoffarmen Sandböden relativ gering ist. Wenig Landwirtschaft findet sich in den Randbereichen, vor allem im Wasgau. Dadurch sind noch zahlreiche naturnahe Quellen zu finden, allerdings sind auch viele Quellen zur Wassergewinnung oder an Wanderwegen gefasst. Zum Teil werden alte, verfallene Fassungen erneuert, was ein ökologisches Problem darstellen kann. In den Hochlagen des Pfälzerwalds tritt z. T. eine starke Versauerung in den Quellbereichen auf, die Quellbäche sind dagegen weitgehend unversauert (vgl. Kap. D 3).

b) Westrich

Nach Westen setzt sich der Westrich vom Pfälzerwald durch ein Mosaik aus Buntsandstein in den Tälern sowie Muschelkalk und Keuper auf den Hügeln und Hochebenen ab. Dadurch ist die Gewässerchemie stärker von Kalk geprägt. In Einzelfällen sind schwache Kalksinterablagerungen auszumachen. Die Geologie wirkt sich auch auf die Nutzung aus. Dabei sind die kalkreichen Hochflächen fast lückenlos landwirtschaftlich genutzt, während die im Buntsandstein eingekerbten Täler bewaldet sind. Auch hier ist die Sturzquelle der dominierende Quelltyp. Sie entspringt meist beim Übergang von Muschelkalk zum Buntsandstein, wobei sie oft typische Felsstufen überfließt, so dass als dominierendes Substrat Fels und als prägendes Strukturelement Rieselfluren auftreten. Viele Quellen sind gefasst, sowohl zu touristischen Zwecken als auch wegen früherer Wassergewinnung. Die meisten Waldquellen sind nur mäßig beeinträchtigt, während Offenlandquellen durch landwirtschaftliche Einflüsse wie Viehtränken und Drainagen geschädigt sind.

c) Vorderpfalz

Die Oberrheinebene wird durch quartäre und pliozäne Ablagerungssedimente geprägt. Der Landschaftsraum ist sehr reliefarm und die Quelldichte sehr gering. Der Ursprung der meisten Fließgewässer der Vorderpfalz liegt im Pfälzerwald, wobei am reliefreicheren Haardtrand aufgrund der intensiven Weinbaunutzung kaum noch naturnahe Quellen zu finden sind. Viele Fließgewässer haben ihren Ursprung in anthropogenen Drainagesystemen. Vorhandene Quellen haben eine geringe Schüttung und sind häufig periodisch. Bis auf den Haardtrand fehlen Sturzquellen und auch Wanderquellen, wobei der morphologische Quelltyp meist nicht mehr feststellbar ist. Naturnahe Quellen kommen außer auf der tertiären Bruchscholle des Bienwaldes, wo Wald vorherrscht, praktisch nicht mehr vor. Ursache ist die starke menschliche Nutzung (Landwirtschaft, Siedlung) mit nahezu fehlender Bewaldung. Insbesondere am Haardtrand mit seiner oft intensiven Weinbau-

lichen Nutzung existieren kaum Reste naturnaher Vegetation. Fast alle Quellen sind hier stark geschädigt, oft drainiert und kanalisiert, zu Brunnen verändert oder an Weinbergsränder verlegt. Viele Quellen sind zudem eutrophiert (Nitrat). Als anorganische Substrate dominieren Feinmaterialien. Die Geologie ist sehr komplex (Sande, Löß, Tone, Mergel), weshalb der Kalkgehalt und die Hydrochemie der verschiedenen Quellgewässer sehr stark variiert. Als Besonderheit treten an den tektonischen Brüchen des Oberrheingrabens Schwefelquellen auf. Im Bienwald sind die Quellen fast immer periodisch und ihre Schüttung ist sehr gering, wobei natürlicherweise die Quelldichte sehr gering ist.

d) Rheinhessen

Das rheinhessische Tafel- und Hügelland hebt sich als reliefreicherer Landschaftsraum von der Oberrheinebene ab. Es stehen tertiäre Kalksteine, Mergel und Tone an. Die dort herrschende Gewässerarmut ist sowohl geologisch als auch durch die geringen Niederschläge bedingt. Nicht nur die Quelldichte, auch die Anzahl naturnaher Quellen ist durch die starke Nutzung sehr gering. Auch hier sind kaum Reste naturnaher Vegetation vorhanden. Grobmaterial fehlt als Substrat. Der Anteil periodischer Quellen ist hoch. Tümpel- und Wanderquellen wurden nicht gefunden, wobei der morphologische Quelltyp der angetroffenen Quellen meist nicht mehr feststellbar ist. Dies gilt auch für die hier vorkommenden Schwefelquellen.

e) Nordpfälzer Bergland

Westlich an das Rheinhessische Hügelland schließt sich das Nordpfälzer Bergland an, das geologisch durch Sedimente und Magmatite des Rotliegenden geprägt ist. Die Landnutzung besteht hauptsächlich aus Landwirtschaft mit kleineren Waldinseln. Wegen hoher Anteile leicht durchlässiger Substrate wie Blockschutt, Schotter und Feinmaterial sind Kluftgrundwasserleiter typisch. Es resultiert eine Tendenz zur Unstetigkeit der Quellaustritte. In Kombination mit der höheren Reliefenergie ist der Typ der Wanderquelle besonders ausgeprägt. Sicker- und Sturzquellen kommen häufig mit einer gewissen Tendenz zum Wanderquellcharakter vor, vor allem in den Rotliegend-Magmatiten. Je nach Lage ist ein breites Spektrum von Wander-, „Amplituden“ der Austrittsorte von einigen Metern bis weit über 100 m möglich. Typischerweise befinden sich die Quellen in grabenartigen Mulden mit Versickerungstrecken im Quellbach. Die Quelldichte ist mäßig, wobei sich aufgrund der Nutzung nur wenige Quellen im gering vorhandenen Wald befinden. Viele Quellen sind drainiert oder gefasst (Viehtränken) und aufgrund der Landwirtschaft oft geschädigt bis stark geschädigt. In Waldinseln liegen noch einige naturnahe Quellen, so am Donnersberg, der aufgrund der großflächigen Bewaldung einen Sonderfall darstellt. Geochemische Überprägungen kommen vermutlich selten vor, es kann jedoch zu leichter Ockerbildung kommen. In Oberhang- und Hochlagen sind einige Quellen sauer. Donnersbergquellen sind mäßig beeinträchtigt oder naturnah, z. T. auch geschädigt.

f) Westerwald

Trotz der teilweise höheren Reliefenergie im Westerwald ist der Anteil an Sturzquellen sehr gering, insbesondere bei einem Vergleich mit den Verhältnissen im Pfälzerwald. Es finden sich fast ausschließlich Quellen, die z. T. großflächig als Sickerquellen aus den Kluftgrundwasserleitern der devonischen Quarzite, Schiefer und Grauwacken hervortreten. Die Grundwasserführung ist gering, was sich in einem sehr geringen und unsten Schüttungsverhalten ausdrückt. Periodische Quellen sind häufig, während die Quelldichte allgemein hoch ist. Als Substrate treten vor allem Feinmaterialien wie Tone und Lehme auf, dazu kommt ein mehr oder weniger großer Anteil an gröberem Material in Form von Schotter oder Steinen, vor allem auf den Quarzitrücken. Als Nutzungsformen wechseln sich Landwirtschaft und Wald ab, wobei Landwirtschaft dominiert und Wald vor allem auf den Quarzitrücken vorkommt. Dort treten noch zahlreiche naturnahe Quellen zutage, wobei die untersuchten Quellen häufig im Wald liegen. In landwirtschaftlichen Bereichen liegen vielfach gestörte Weidequellen oder stark geschädigte, drainierte Quellbereiche.

g) Hoher Westerwald

Der östliche Westerwald stellt aufgrund seiner Geologie eine Besonderheit dar. Es stehen tertiäre Vulkanite an, die für einen hohen Anteil an Basaltsteinen als Substrate sorgen. Die Region besitzt eine geringere Reliefenergie als der restliche Westerwald und die Quelldichte dürfte geringer sein. Aufgrund der Fruchtbarkeit der Böden sind die Waldanteile geringer als im übrigen Westerwald. Es treten überwiegend Sickerquellen auf. Der Anteil periodischer Quellen dürfte relativ hoch liegen, wobei zu bemerken ist, dass hier nur wenige Quellen kartiert wurden.

h) Hunsrück

Auch im Hunsrück ist trotz der Höhenlage und teilweise höherer Reliefenergie der Anteil an Sturzquellen im Verhältnis zum Pfälzerwald sehr gering. Es herrschen gleiche bzw. sehr ähnliche Verhältnisse wie im Westerwald (periodische Sicker- und Wanderquellen, geringe Grundwasserführung, hohe Quelldichte, Feinmaterialien mit Schotter oder Steinen auf den Quarzitrücken). Auch hier wechseln sich Landwirtschaft und Wald ab, letzterer dominiert vor allem auf den Quarzitrücken, wo noch zahlreiche naturnahe Quellen zutage treten. In den Hochlagen erhöht der Quarzit die Versauerungsempfindlichkeit des Bodens, so dass hier landesweit das Versauerungsproblem, bis weit in die Oberläufe der Bäche hinein, am stärksten ausgeprägt ist. In Tallagen sind die Quellen weitgehend unversauert, viele aber landwirtschaftlich geschädigt bzw. durch Ablagerungen wie Müll oder Bauschutt gestört. Beeinträchtigungen gehen oft von Fichtenforsten aus. Fassungen, teilweise älteren Datums, sind nicht selten (Wassergewinnung, Tourismus).

i) Mittelrheintal

Die zum Mittelrheintal hin abfallenden Hänge weisen eine sehr hohe Reliefenergie auf. Die dortigen Quellen fließen durch sehr steile, tiefe und enge Mulden sowie durch Kerbtäler ab. Von beiden Seiten des Rheintals stehen devonische Schiefer und Grauwacken an, woraus ähnlich wie im Westerwald und im Hunsrück aufgrund der geringen Grundwasserführung ein periodisches Schüttungsverhalten resultiert. Es treten wegen der topographischen Situation vermehrt echte Wanderquellen bzw. Sicker- und Sturzquellen mit linearer Tendenz auf. Die Quelldichte ist natürlicherweise hoch, die Anzahl naturnaher Quellen ist durch anthropogene Beeinträchtigungen jedoch relativ gering. Am südlichen Mittelrhein ist vor allem der intensive Weinbau und die Weidewirtschaft mit Brachflächen, im Norden die Grundwasserentnahme zu nennen, wobei viele Brunnenstuben stillgelegt sind. Auf den Hochflächen dominiert Landwirtschaft. Als Substrat herrscht Grobmaterial in Form von Schiefer vor. Der rheinische Grabenbruch mit seinen tektonischen Prozessen verursacht das Auftreten von Mineralquellen im nördlichen Mittelrheintal, die als geochemische Überprägung Ockerausfällungen, Salzinkrustierungen oder erhöhte Wassertemperaturen aufweisen (Thermalquellen). Die Sonderquellentypen sind allesamt zu Heilzwecken ausgebaut. In abseitigen, steilen Lagen sind noch wenige, naturnahe Quellen vorhanden, z. B. in Schluchtwald oder Brachflächen. Quellen in genutzten Bereichen sind vielfach durch Viehtritt oder Weinbau geschädigt, auch durch Fassungen und alte Brunnenstuben.

j) Eifel

Die Eifel ist geprägt von einem kleinräumigen geologischen Mosaik aus verschiedenen Vulkaniten, Tonschiefer mit Grauwacken, devonischen Kalksteinen, Quarziten und Buntsandstein. Ähnlich heterogen wie der Untergrund ist damit auch das Erscheinungsbild der Quellen. Es konnten alle Quelltypen mit fast allen geochemischen Überprägungen gefunden werden (außer Schwefelquellen). Im flächenmäßig größten Teil des Tonschiefers sind die Verhältnisse ähnlich wie in Hunsrück und Westerwald. Dort finden sich fast ausschließlich Sickerquellen mit häufig temporären Charakter. Die allgemeine Quelldichte ist hoch, die Schüttung z. T. sehr gering, kann in Einzelfällen jedoch auch sehr hoch sein (Karstquellen). Als anorganische Substrate dominieren Feinmaterialien, in steileren Lagen ergänzt durch Schiefergeröll. Die tertiären Vulkanite sind als kleinere Basaltinseln im gesamten Eifelgebiet verteilt und kommen großflächig am Ostrand und im

mittleren Teil nördlich des Schichtstufenlandes vor. Hier treffen sie auf zahlreiche weitere Formationen wie Buntsandstein und Kalk. An den häufig vorhandenen Schichtgrenzen kann es zum Auftreten von Mineralquellen kommen, welche den Quelltyp überprägen. Steht im Einzugsgebiet Kalk an, ist Sinterbildung möglich. Bewaldete und Offenlandflächen halten sich die Waage. An den Randbereichen zum Moseltal herrschen ähnliche Verhältnisse wie im Mittelrheintal. Die Landnutzung ist durch Landwirtschaft mit Waldinseln geprägt, in kalkigen Bereichen tritt der Wald stärker zurück. Viele Quellen sind durch landwirtschaftliche Veränderungen stark gestört. Die Gefährdungssituation in der Kalkeifel ist ähnlich wie im Westrich, vermutlich sogar noch etwas drastischer. Naturnahe Quellen sind die Ausnahme. In der Vulkaneifel spielt die Wassernutzung eine entscheidende Rolle, es existieren viele Tümpelquellen und es sind viele Mineralbrunnen mit Brunnenstuben in Betrieb. Die typischen Mineralquellen sind, von wenigen Ausnahmen abgesehen, fast immer gefasst.

k) Schichtstufenland

Das Schichtstufenland oder Bitburger Gutland ist durch Muschelkalk- und Keuperschichten, die über dem Buntsandstein anstehen, charakterisiert. Insofern sind die Verhältnisse ähnlich denen des Westrich. Trotz einer eher mäßigen Reliefenergie treten Sicker- und Sturzquellen in gleichem Maße auf. Sie treten meist als Schichtquellen zwischen den einzelnen Gesteinslagen hervor, wobei die Grundwasserführung gerade im Kalkstein mäßig bis gering ist. Es besteht die Tendenz zu linearen Quellen. Die Quelldichte ist durchschnittlich. Die über den Schichtstufenkalken liegenden Böden bieten optimale Bedingungen für die Landwirtschaft, der Waldanteil ist gering. Dementsprechend sind naturnahe Quellen selten. Die durch Buntsandstein geprägten steileren Bach- und Flusstäler bleiben ausgespart, wobei sich naturnahe Quellen fast ausschließlich in den steilen, engen Seitentälern von Prüm, Nims und Kyll befinden. Als Substrate sind, je nach Lage der Quelle, Korngrößen von Feinmaterial bis hin zu Blöcken und Felsen zu finden. In manchen Fällen führt Kalkausfällung zu starken Sinterablagerungen, die von Moosen überwachsen sind. Da das Wasser dann nicht mehr punktuell austritt, sondern großflächig aus Kalksinterporen sickert, können punktuelle Sturzquellen zu Sickerquellen umgewandelt werden. Die meisten Quellen des Schichtstufenlandes sind durch Landwirtschaft geschädigt bis stark geschädigt, wobei sich verhältnismäßig wenig Weidequellen finden.

D 1.3 Ebene des Einzugsgebietes

Das Krenon wird auch von Faktoren beeinflusst, die sich außerhalb des aquatischen Bereichs einer Quelle befinden (vgl. Abb. E5). Um diese Faktoren beurteilen zu können, wurde die Vegetation und die Nutzung im Bereich um die Quelle kartiert. Es wurde je nach dem Abstand zur Quelle das Einzugsgebiet, das Umfeld, der Quellbereich, das Quellufer sowie der obere Quellbachbereich erfasst. Unterschieden wurden folgende Arten der Vegetation und Nutzung: standorttypische und standortfremde Vegetation, Moosgesellschaften, Laubwald, Mischwald, Gebüsch, Nadelforst, intensives und extensives Grünland, Acker/Sonderkultur, unbefestigter Weg, befestigter Weg/Straße sowie künstlich vegetationsfreie Bereiche/Siedlung (Kap. C 8.3.4).

Für die Darstellung der Vegetation und Nutzung in Einzugsgebiet und Umfeld ermöglicht das Kreisdiagramm einen schnellen Vergleich einzelner Vegetations- und Nutzungsanteile. Dabei sind die verschiedenen Anteile mit Grautönen unterlegt, um naturnahe Verhältnisse (dunkelgrau), anthropogene Veränderungen mit geringem negativem Einfluss (hellgrau) und anthropogene Veränderungen mit starken Einflüssen (weiß) auf einen Blick unterscheiden zu können (Abb. D1/4, vgl. Kap. C 8.3.4). Dabei stellen die Anteile der Kreisdiagramme die Daten aller beprobten Quellen dar und sind nicht unbedingt landesweit repräsentativ.

Insgesamt zeigte sich, dass bei etwa 70% der Quellen im Einzugsgebiet Wald vorherrscht, wobei sich bei SCHINDLER & HAHN (2000) ein Wert von 60 % ergab, der repräsentativer ist. Ein großer Anteil der Offen-

landquellen liegt in intensivem Grünland bzw. in Ackerland, während nur wenige Quellen in extensivem Grünland liegen (Abb. D1/4). Die Anteile der Nutzungsform im Einzugsgebiet entsprechen weitgehend dem Bewaldungsgrad und der Bodenfruchtbarkeit. Die Nutzungsform im Einzugsgebiet verändert die Wassereigenschaften, so dass in Gebieten mit starker landwirtschaftlicher Nutzung in Form von Ackerbau oder Sonderkulturen wie Wein- und Obstbau höhere Nitratwerte zu erwarten sind (vgl. Kap. D 3).

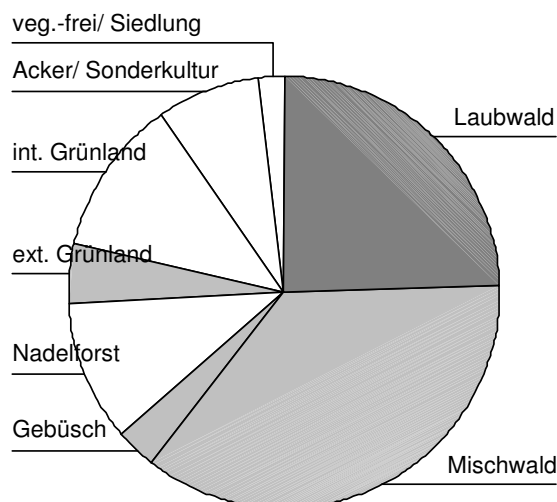


Abb. D1/4: Anteile Vegetation/Nutzung im Einzugsgebiet aller Quellen

Die stärksten anthropogenen Veränderungen im Einzugsgebiet befinden sich im Schichtstufenland, im Nördlichen Hunsrück, in der Kalkeifel, in der Vorderpfalz, im Nordpfälzer Bergland ohne Donnersberg und teilweise im Westrich. Diese Räume zeichnen sich alle durch eine mehr oder weniger intensive Landwirtschaft aus. Die von ihrem Einzugsgebiet naturnäheren Räume sind Nördlicher Mittelrhein, Westerwald, Südlicher Hunsrück, Vulkaneifel, Bienwald, Donnersberg, Pfälzerwald und teilweise der Südliche Mittelrhein. Sie zeichnen sich alle durch hohe Waldanteile aus.

Auf der Ebene des Einzugsgebietes wurde neben der Vegetation und Nutzung auch die Hanglage der Quellen erfasst. Die meisten Quellen befanden sich in Mittelhanglage (140 Quellen), dann folgten Hangfußquellen (113) und Talquellen (53). Oberhanglagen wurden noch seltener kartiert (22 Quellen), weil hier das Einzugsgebiet so klein ist, dass die Quelle aufgrund der geringen Schüttung periodisch oder sogar endorheisch, d. h. abflusslos ist (ZOLLHÖFER 1997). Vergleicht man die mittlere Schüttungsmenge mit der Hanglage, zeigte sich, dass Hangfußquellen die größte Schüttung aufwiesen (Tab. D1/2, Abb. D1/5 links).

Tab. D1/2: Schüttung [l/s] aller Quellen und Hanglage. N bezieht sich auf die Stichprobenzahl der Schüttung

Hanglage	N	Median
Oberhang	42	1,0
Mittelhang	299	0,6
Hangfuß	179	2,5
Tallage	81	0,5
Insgesamt	601	1,0

Die Hanglage aller Quellen ist für die Basisquelltypen in Abbildung D1/5 (rechts) dargestellt, wobei in Hangfuß- und Tallage Tümpelquellen häufiger werden. Sturzquellen häufen sich in Hangfußlage, Wanderquellen wurden ausschließlich in Mittelhanglage angetroffen, wo auch die meisten Sickerquellen nachgewiesen wurden. Die Hanglage ist außerdem für die einzelnen Quellräume in Abbildung D1/6 (links) dargestellt. Die Geländeneigung und die Reliefenergie ist hierbei im Pfälzerwald und im Mittelrheintal am größten, gefolgt von Westrich und Nordpfälzer Bergland. Die restlichen Quellräume sind von ihrem Relief eher kuppig

D Ergebnisse

ausgebildet, lediglich in einigen Flusstälern finden sich stärker geneigte Hänge, so etwa bei Nims und Kyll in der Eifel oder in den Seitenbächen der Mosel.

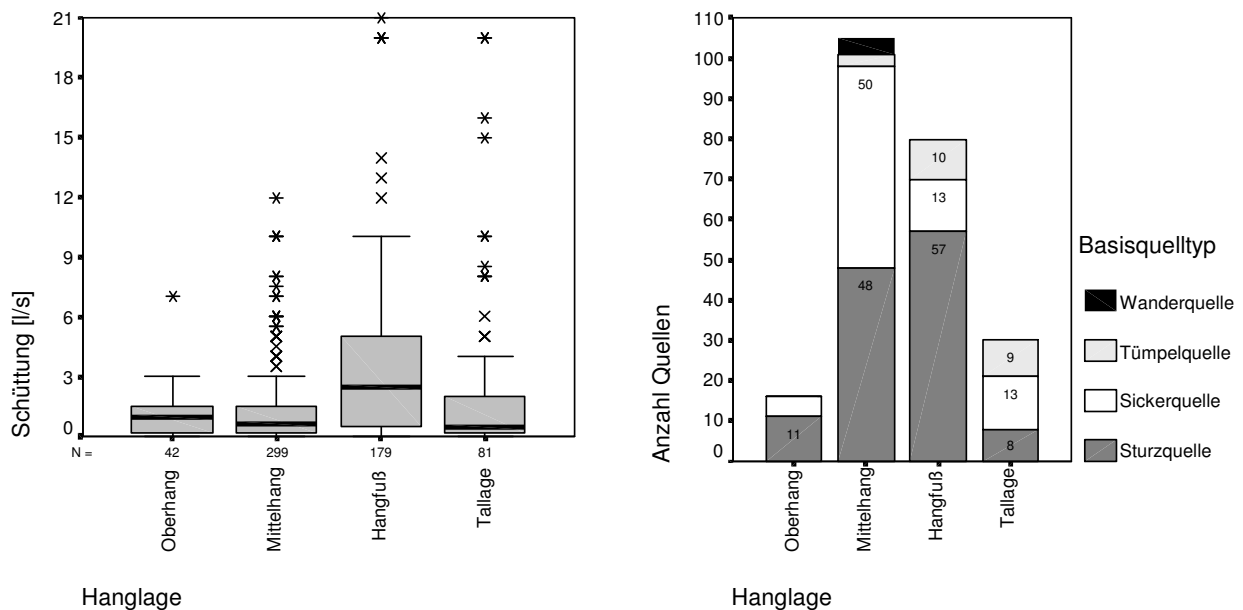


Abb. D1/5: Schüttung und Hanglage (links) bzw. dominierender Basisquellentyp und Hanglage aller Quellen (rechts). Die Quellen Nr. 0176 (bis 70l/s), 0178 (bis 42 l/s), 0166 (35 l/s), 0098 und 0161 (jew. 25 l/s) sind nicht dargestellt (meist Hangfuß und Tallage)

Beim Vergleich der Hanglage mit der Geologie in Abbildung D1/6 (rechts) fällt auf, dass in devonischen Gesteinen, Muschelkalk und Rotliegend-Magmatit Mittelhangquellen dominieren, während sich Hangfußquellen im mittleren und unteren Buntsandstein sowie in Rotliegend-Sedimenten häufen. Hierbei ist die stärkere Reliefenergie nicht unbedingt mit der Höhenlage korreliert, so dass etwa die reliefarmen Quarzitrücken des Hunsrück in weit größerer Höhe liegen als der reliefreichere Buntsandstein des Pfälzerwaldes (vgl. Abb. D1/1).

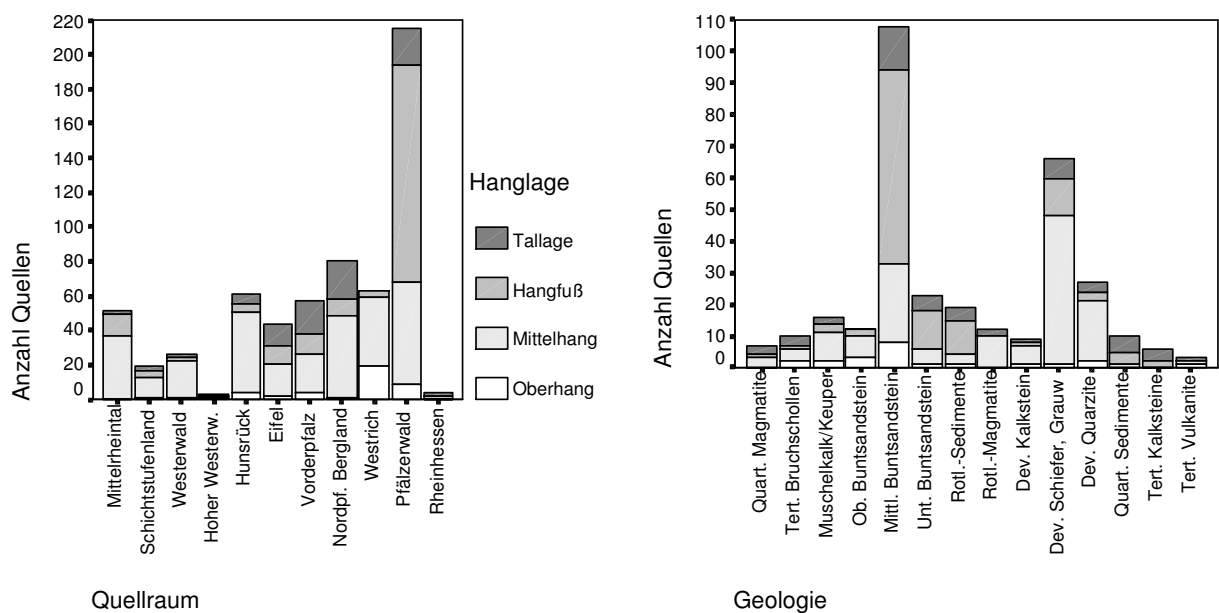


Abb. D1/6: Hanglage und Quellraum bzw. Geologie aller Quellen (Legende gilt für beide Abbildungen)

Kartiert wurden weitere Lagemerkmale wie Geländeneigung und Abflussrichtung der Quelle. Diese Merkmale sind vor allem durch die jeweilige Region bestimmt und beeinflussen die Morphologie und die Fließgeschwindigkeit, die ebenfalls kartiert wurde. Da sie sich in den einzelnen Naturräumen als sehr variabel herausstellten, wird die Darstellung dieser Daten bis auf die Morphologie (Kap. D 2) unterlassen.

D 1.4 Ebene des Quellumfeldes und Quellbereichs

Ähnlich dem Einzugsgebiet der Quellen wurde für das Umfeld, den Quellbereich und für das Quellufer die Flächennutzung und Vegetationsform erfasst. Dies gilt auch für den Quellbach bis 100 m unterhalb des Austritts. Wegen der ökologischen Bedeutung des direkten Umfeldes für die Krenozöosen und aus Gründen der Übersichtlichkeit wird lediglich das Umfeld sowie der unmittelbare Quellbereich dargestellt. Zunächst ist die Umfeldnutzung für alle Quellen in Abbildung D1/7 (links) dargestellt. Demnach findet sich im Umfeld der Quellen meist Wald (häufig Laubwald) und bei fast 20 % der Quellen naturnahe Biotope, während etwa die Hälfte der Quellen von eher naturfernen Nutzungen betroffen sind (vgl. Kap. C 8.3.4). Sie bestehen vor allem aus Nadelwald, Verkehrsnutzungen und intensivem Grünland, wobei das Umfeld oft vegetationsfrei gehalten wird, etwa durch die Erholungsnutzung in Form parkähnlicher Anlagen. Bei etwa einem Viertel aller Quellen dominiert Mischwald, Gebüsch oder die extensive Nutzung in Form von Grünland.

Die Vegetation und Nutzungsform des Quellbereichs aller Quellen zeigt Abb. D1/7 (rechts). Es dominieren standorttypische, höhere Pflanzen und Moosgesellschaften mit über 50 %. Nicht selten wird der Quellbereich durch Nutzungen oder verschiedene Formen von Verbau vegetationsfrei gehalten. Dies war bei knapp 20 % der Quellen der Fall. Insgesamt kann aber die Mehrheit der unmittelbaren Quellbereiche als relativ unbeeinträchtigt bezeichnet werden.

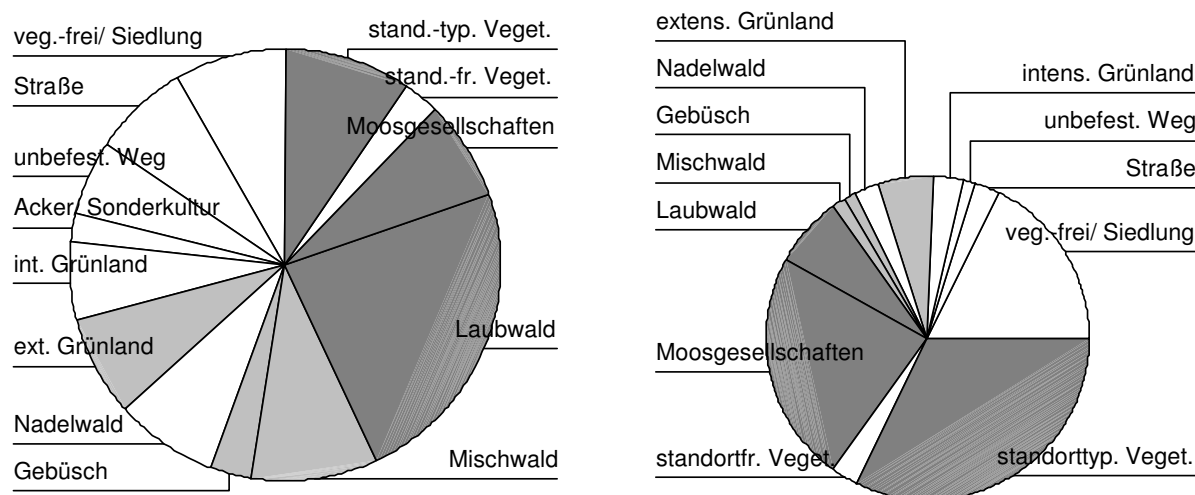


Abb. D1/7: Anteile Vegetation/Nutzung im Umfeld (links) und im Quellbereich (rechts) aller Quellen

Da im Umfeld einer Quelle mehrere Nutzungen auftreten können, welche unabhängig von ihrem jeweiligen Anteil gleichberechtigt gezählt wurden, treten in Abbildung D1/7 (links) kleinflächige Nutzungen stark in den Vordergrund. Übersichtlicher ist deshalb die Unterteilung der Umfeldnutzung in sechs dominierende Gruppen, so dass kleinräumige Nutzungen wie Wege entfallen (Abb. D1/8). Außerdem zeigt die Abbildung den Anteil der Untersuchungen, wobei die repräsentative Rheinland-Pfalz-Kartierung (SCHINDLER & HAHN 2000) hervorzuheben ist (Kap. C). Hiernach liegen 64 % der Quellen im Wald, und zwar 36 % in Laubwald, 19 % in Mischwald und knapp 10 % in Nadelwald. Von den 35 % Offenlandquellen liegen 12 % in extensivem Grünland, gut 6 % in intensivem Grünland und 17 % in Acker-, Siedlungs- und Verkehrsbereichen.

D Ergebnisse

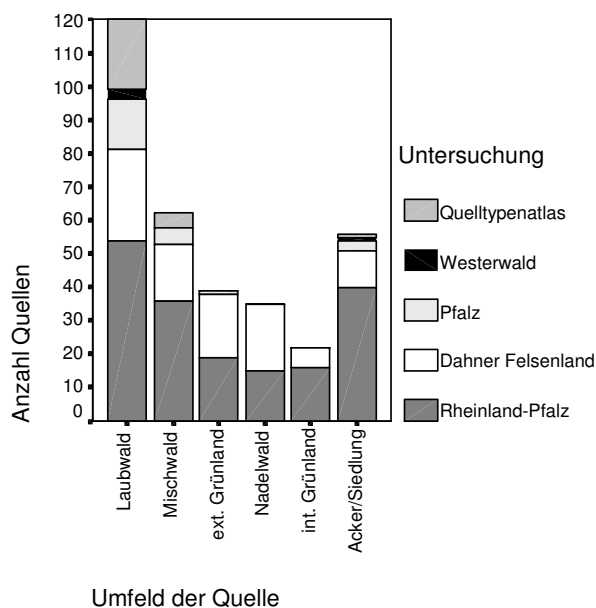


Abb. D1/8: Anteile Vegetation/Nutzung im Umfeld aller Quellen und Untersuchung (nur sechs dominierende Nutzungstypen)

In der Vorderpfalz waren die Umfelddefizite besonders deutlich, lediglich 15 % der Quellen am Haardtrand wiesen noch ein naturnahes Umfeld auf. Ähnliches gilt für Rheinhessen. Von ihrem Umfeld her naturnähere Räume sind Westerwald, Hunsrück, Bienwald, Nordpfälzer Bergland und hier vor allem der Donnersberg, der Pfälzerwald und der Südliche Mittelrhein mit hohen Anteilen an Brachland bzw. extensivem Grünland. Sie zeichnen sich oft auch durch hohe Waldanteile aus.

Vegetation und Nutzungsform wirken auch über den Faktor Beschattung auf den Quellbiotop. Die Beschattung wurde an jeder Quelle bei voller Belaubung in vier Klassen geschätzt (vgl. C 8.3.4). Hiernach waren 55 Quellen unbeschattet (17 %), 44 schwach beschattet (13 %), 67 (20 %) wiesen eine mittlere und 161 Quellen eine starke Beschattung auf (49 %), so dass insgesamt stark beschattete Quellen dominierten. Die Beschattung wird in Kapitel D 3 mit physiko-chemischen und in D 4 mit biozönotischen Faktoren verglichen.

Weiterhin wurde die Vernetzung der Quelle mit anderen Quellen erfasst. Es zeigte sich, dass Quellen vor allem dann miteinander vernetzt sind bzw. sich in räumlicher Nachbarschaft befinden, wenn eine hydrogeologische Verbindung zwischen ihnen besteht (Quellhorizont) und ihr Umfeld relativ naturnah ist. Dies ist häufig in waldreichen Naturräumen der Fall. Ein Quellkomplex (vernetzte Quelle) wurde insgesamt bei 22 % aller Quellen festgestellt und kam vor allem bei Sickerquellen und weniger bei Sturzquellen und Tümpelquellen vor, was die in der Regel größere räumliche Ausdehnung von Sickerquellen unterstreicht.

Vor der Thematisierung der Quellstrukturen ist noch auf die Größe der Quellbereiche einzugehen. Ihre Größe variierte von maximal 3000 m² bis unter 1 m², der Median lag bei 12 m². Hierbei ist besonders die Aufteilung auf die Quelltypen interessant, welche verschiedene Quellbereichsflächenausdehnungen aufwiesen. Hiernach haben Sickerquellen den größten Quellbereich und gefasste Quellen mit künstlichem Austritt den kleinsten Quellbereich. Die Größe des Quellbereichs beträgt für Sickerquellen im Median 50 m², für Sturzquellen 12 m², für Tümpelquellen ebenfalls 12 m² und für Wanderquellen 11 m². Gefasste Quellen besitzen lediglich eine mittlere Größe von 4 m² (Median). Die Größe der Quellbereiche ist von direkter Bedeutung für die Populationengröße der einzelnen Arten (vgl. Inseltheorie von MACARTHUR & WILSON 1967).

D 2 Die Struktur von Quellen in Rheinland-Pfalz

D 2.1 Ergebnisse des Strukturbewertungsverfahrens und natürliche Strukturen

Maßgebend für die Ökologie und die Beurteilung von Quellbiotopen ist neben den Eigenschaften des Einzugsgebietes und Umfeldes insbesondere die Struktur der Quelle selbst. Die Morphologie und die Substrat- und Kleinhabitattypen in ihrer speziellen Kombination entscheiden über die ökologische Funktionsfähigkeit und die Lebensgemeinschaften an einer Quelle (FISCHER et al. 1998). Aufgrund der besonderen Bedeutung naturnaher Strukturen sind diese hier definiert und dargestellt. Bei der Kartierung wurden vielfältige Strukturparameter erfasst und ausgewertet. Anthropogene Veränderungen werden in Kapitel D 2.2 dargestellt. Natürliche Quellstrukturen bilden die Basis für die morphologische Quelltypologie und die Auswahl von Strukturreferenzquellen. Die im Folgenden dargestellten Parameter sind im Sinne des unter C 8.3 vorgestellten Verfahrens häufig Wertparameter, die für eine positive Bewertung von Quellen herangezogen wurden. Hierzu gehören Substrat, Strömungsdiversität, Wasser-Land-Verzahnung und besondere Strukturen an Quellen, ferner die Vegetation/Nutzung und die Beschattung, die bereits in Kapitel D 1.3 behandelt wurden.

Die Quellen wurden bei der Kartierung nach dem Gesamteindruck des Kartierers in fünf Bewertungsklassen eingeteilt. Dieser subjektive Eindruck der Quelle fasst den ökologischen Zustand der Quelle zusammen. Hiernach wurden 66 naturnahe, 42 bedingt naturnahe, 75 mäßig beeinträchtigte, 95 geschädigte und 56 stark geschädigte Quellen unterschieden (Abb. D2/1, links). Die hohe Anzahl naturnaher Quellen ist auf den Quelltypenatlas sowie die Pfalz-Kartierung zurückzuführen, wo naturnahe Quellen im Mittelpunkt standen. Die Untersuchung von SCHINDLER & HAHN (2000) gibt aufgrund der Zielsetzung einen landesweit repräsentativen Überblick und zeigt, dass nach dem subjektiven Gesamteindruck 22 naturnah, 20 bedingt naturnah, 47 mäßig beeinträchtigt, 55 geschädigt und 36 Quellen stark geschädigt waren. Die überwiegende Mehrheit aller Quellen war demnach geschädigt und mäßig beeinträchtigt. Am schlechtesten schnitt der Quellraum Vorderpfalz ab. Dies wird in der landesweiten Übersicht von SCHINDLER & HAHN (2000) deutlich, in der die Naturräume nach ihrer Naturnähe geordnet sind (n = 181, Abb. D2/1, rechts). Der subjektive Gesamteindruck wird im Folgenden mit den Berechnungs-Ergebnissen des Strukturbewertungsverfahrens verglichen.

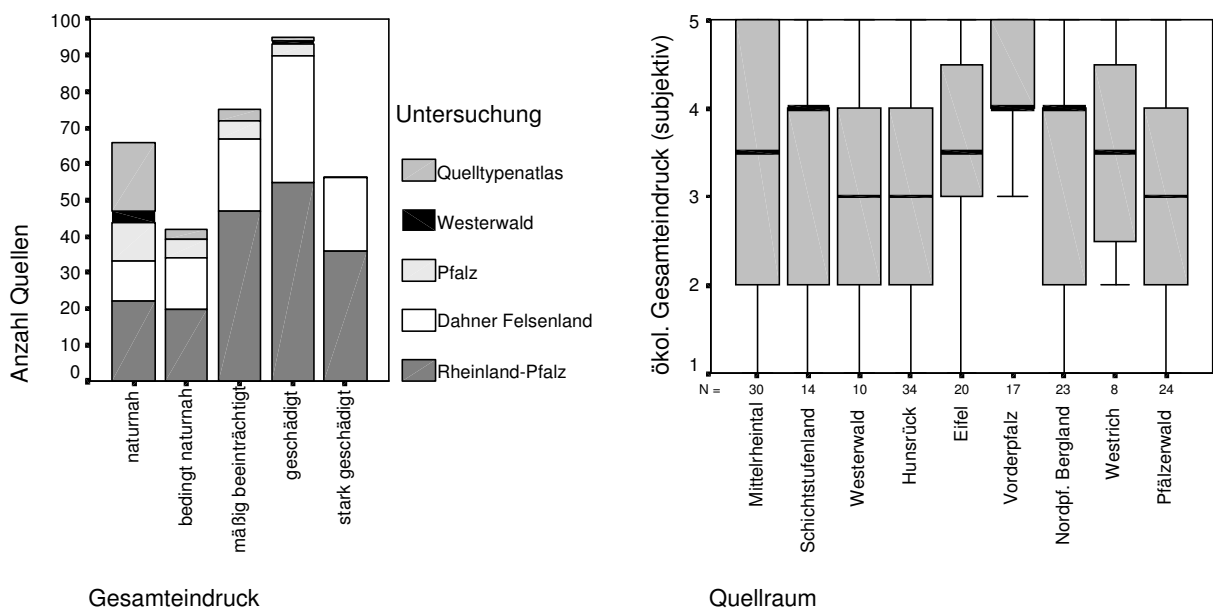


Abb. D2/1: Ökologischer, subjektiver Gesamteindruck des Kartierers vor Ort und Untersuchung (links) bzw. Quellraum nach der landesweit repräsentativen Untersuchung von SCHINDLER & HAHN (2000, rechts)

Für die Auswahl von Quellen mit natürlichen Strukturen wurden nur ungefasste und unbeeinträchtigte Quellen herangezogen. Von allen Quellen waren 150 ungefasst (45 %) und 184 Quellen gefasst (55 %). Bei der Kartierung im südlichen Pfälzerwald (SCHINDLER, GUTENSOHN & HAHN 2002) waren 29 % der untersuchten Quellen ungefasst, bei der Rheinland-Pfalz-Kartierung 41 %, bei der Westerwald-Untersuchung 75 %, bei der Pfalz-Untersuchung 88 % und beim Quelltypenatlas 92 %. Von diesen ungefassten Quellen wurden nur naturnahe Quellen der Bewertungsklasse 1 (naturnah) ohne Beeinträchtigungen herausgenommen.

Die Bewertung erfolgte mit dem vom Autor entwickelten Verfahren für die Quellstruktur (Kap. C 8.3). Das entwickelte Verfahren strebt einen Vergleich des Erscheinungsbildes einer kartierten Quelle mit dem ökologischen Leitbild an und bestimmt darüber den Grad der Naturnähe. Das in dieser Arbeit beschriebene Erfassungs- und Bewertungsverfahren beschreibt dabei ökomorphologische Teile einer Quelle und ordnet diese fünf Bewertungsklassen zu. Der Optimalzustand für die Basisquelltypen, der in Kapitel D 2.3.2 geschildert wird, bildet das Leitbild, an dem die Quelle mittels des Kartierbogens gemessen wird. Voraussetzung ist die bestmögliche Umsetzung der in Kapitel D 2.3.2 geschilderten Bedingungen in den Fragen des Bogens und in der Bewertungsmatrix sowie die richtige Interpretation und Beantwortung der Fragen durch den Bearbeiter, was mit dem Verfahren und der Kartieranleitung in Kapitel C 8.3 versucht wurde.

Insgesamt wurden nach dem fünfstufigen Verfahren 78 Quellen als naturnah eingestuft (Tab. D2/1, Abb. D2/2). Fasst man die beiden besten Klassen zusammen, ergeben sich 39 %, bei der landesweit repräsentativen Untersuchung von SCHINDLER & HAHN (2000) lediglich 33 %. Diese Quellen können strukturell als relativ unbeeinträchtigt gelten. Bezogen auf die Quelltypen ungefasster Quellen sind dies 45 % der Sturzquellen, 65 % der Tümpelquellen, 70 % der Sickerquellen und 100 % der Wanderquellen. Im Folgenden werden einerseits Daten aller Quellen, andererseits nur die der naturnahen Quellen herangezogen, die nach dem eigenen Verfahren (Kap. C 8.3) berechnet und herausgefiltert wurden. In einigen Fällen werden diese beiden Gruppen auch verglichen.

Tab. D2/1: Bewertungsklassen aller Quellen nach dem Quellstrukturverfahren (vgl. auch Abb. D2/2)

	Bewertungsklasse	Häufigkeit	Prozent
1	naturnah	78	23,4
2	bedingt naturnah	55	16,5
3	mäßig beeinträchtigt	67	20,1
4	geschädigt	82	24,6
5	stark geschädigt	52	15,6

Abbildung D2/2 (links) zeigt die Aufteilung der Quellen auf die fünf Bewertungsklassen und einzelnen Untersuchungen. Es zeigt sich, dass der Gesamteindruck sehr eng mit den berechneten Ergebnissen korreliert ist (Spearman-Rangkorrelation: $r = 0,945$, $p = 0,000$, $n = 334$). Insgesamt ist festzustellen, dass das Bewertungsverfahren etwas positivere Ergebnisse liefert als der Gesamteindruck, was in Kapitel E diskutiert wird. Die Untersuchung von SCHINDLER & HAHN (2000) gibt einen repräsentativen Überblick (Abb. D2/2, links, dunkelgrau) und zeigt, dass nach dem Bewertungsverfahren 26 Quellen (14 %) naturnah, 35 (19 %) bedingt naturnah, 39 (22 %) mäßig beeinträchtigt, 43 (24 %) geschädigt und 37 (21 %) stark geschädigt waren. Auch hier ist die Mehrheit aller Quellen geschädigt und mäßig beeinträchtigt, wobei die Unterschiede der Klassenanteile im Vergleich zum Gesamteindruck kleiner sind.

In Abbildung D2/2 (rechts) sind die berechneten 181 Quellen der Quellräume nach ihrer Naturnähe geordnet und entsprechen Abbildung D2/1. Die Ähnlichkeit ist deutlich, lediglich der Hunsrück schneidet im Verfahren etwas schlechter ab, das Nordpfälzer Bergland dagegen besser (Median). Alle anderen Naturräume wurden geringfügig besser oder gleich bewertet. Am negativsten schnitten wieder die Vorderpfalz ab. In Abbildung D2/3 sind die Ergebnisse des Strukturverfahrens pro Quellraum dargestellt und entsprechen Abbildung

D Ergebnisse

D2/1. Da teilweise gezielt naturnahe Quellen gesucht wurden (Quellentypenatlas: Hoher Westerwald n = 3, Rheinhessen, n = 5, SCHINDLER 2002) sind die Ergebnisse allerdings nicht so repräsentativ wie in Abbildung D2/2. Im Pfälzerwald wurden bei SCHINDLER, GUTENSOHN & HAHN (2002) vor allem gefasste Quellen untersucht, weshalb das Ergebnis in Abbildung D2/3 negativer ausfällt als in Abbildung D2/2 (rechts).

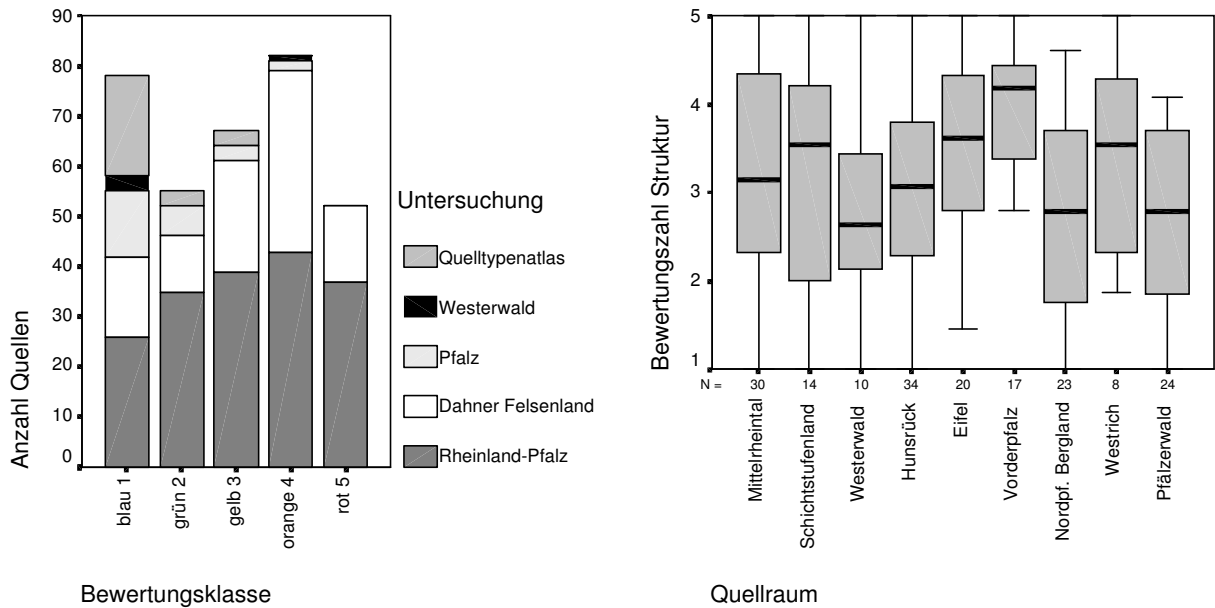


Abb. D2/2: Bewertungsklassen des Strukturverfahrens und Untersuchung (links) bzw. Strukturbewertung und Quellraum der 181 Quellen von SCHINDLER & HAHN (2000, repräsentativ, rechts)

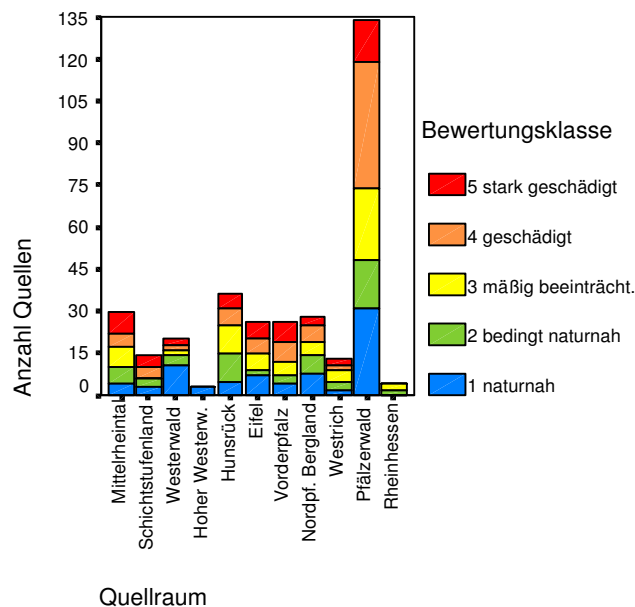


Abb. D2/3: Bewertungsklassen des Strukturverfahrens und Quellraum aller Quellen

Naturnahe Strukturen hängen besonders von anorganischen und organischen Substraten ab, wovon 14 verschiedene Typen differenziert wurden. Hiervon sind zwölf Typen natürlich und zwei anthropogen verändert (Kap. C 8.3). Besonders häufig waren als anorganisches Substrat Kies/Schotter, Feinmaterial und Moospolster sowie als organisches Substrat Detritus, gefolgt von Totholz, Falllaub und Pflanzen. Bei der Anzahl der Substrattypen wurden am häufigsten fünf bis sieben verschiedene Substrate angetroffen (Abb. D2/4).

Beim Vergleich der Anzahl der Substratzahlen mit den Bewertungsklassen fallen hohe Substratzahlen bei naturnahen Quellen auf, die von 3 bis 11 reichen, während stark geschädigte Quellen wenige natürliche Substrate von 0 bis maximal 7 besitzen (Abb. D2/4, links). Das Umfeld der Quellen hängt ebenfalls mit der Anzahl der Substratzahlen zusammen (Abb. D2/4, rechts). Die substratreichsten Quellen finden sich in Laub- und Mischwald, die substratärmsten in Acker- und Siedlungsgebieten. Interessant ist, dass auch in extensivem Grünland noch relativ substratreiche Quellen vorkommen können. Nadelwald und intensives Grünland nehmen eine Mittelposition ein.

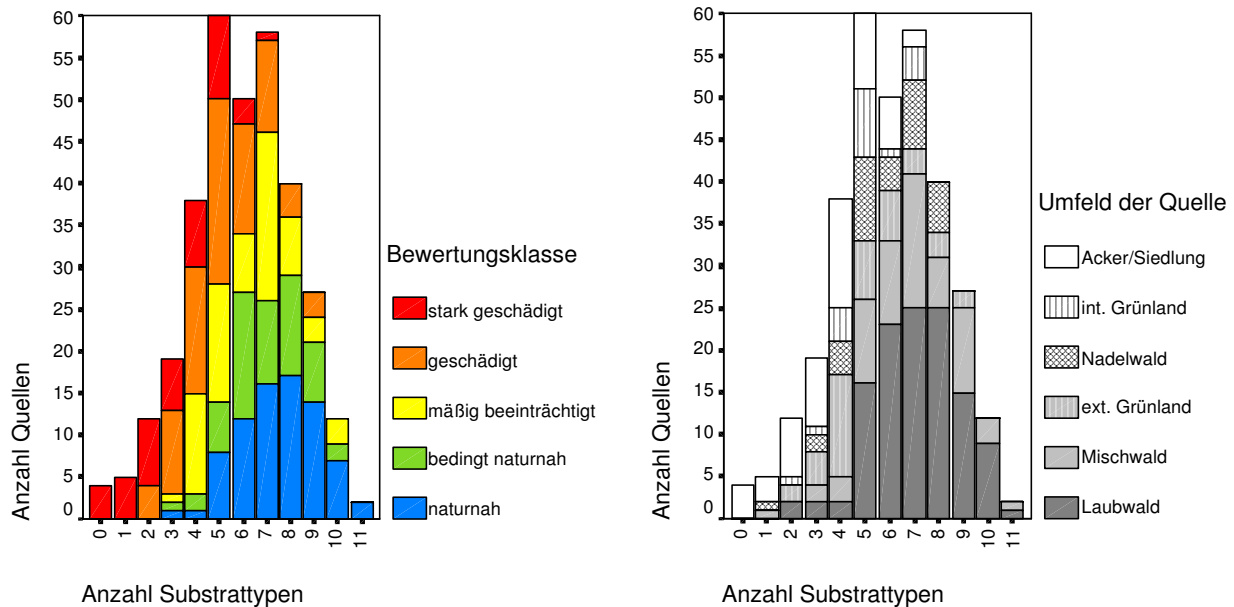


Abb. D2/4: Anzahl natürlicher Substrattypen u. Bewertungsklasse (links) und Umfeld aller Quellen (rechts)

Ein weiterer Anhaltspunkt für die Habitatvielfalt sind verschiedene Strömungszustände. Es wurden acht verschiedene Strömungszustände kartiert, die von Spritzwasser über stehend bis zum Wasserfall reichen (Kap. C 8.3.4). Häufig sind laminare, seltener leicht turbulente Strömungszustände. Es kommen meist drei bis sechs Strömungszustände pro Quelle vor (Abb. D2/5, links).

Erfasst wurden auch besondere Strukturen, die für Quellen typisch sind. Hier sind in erster Linie Laufverzweigungen, natürliche Pools oder Fließhindernisse zu nennen, seltener Inselstrukturen, Rieselfluren, große Tiefenvarianz, Wasserfälle, Sandwirbel, Kaskaden, viele Wassermoose sowie eine stark ausgeprägte Quellflur. Bei der Anzahl besonderer Strukturen pro Quelle (Abb. D2/5, rechts) ist eine linksschiefe Verteilung zu erkennen, d. h. es wurden meist wenige solcher Strukturen gefunden. Ab einer Anzahl von etwa vier Strukturen sinkt die zugehörige Anzahl der Quellen sehr schnell. Besitzt eine Quelle viele besondere Strukturen, kann sie mit großer Wahrscheinlichkeit als ökologisch wertvoll bezeichnet werden (vgl. Kap. C 8.3.4). Die Substrattypen scheinen dagegen normalverteilt, sind es tatsächlich aber nicht (KS-Test: $p = 0,001$, $n = 327$).

Kartiert wurde außerdem die Wasser-Land-Verzahnung, womit die mögliche Vernetzung des Quellwassers mit dem Uferbereich (Uferlinie, Uferkante, Bodendurchfeuchtung) gemeint ist (Abb. D2/6, vgl. Kap. C 8.3.4). Sie ist vor allem dann gering, wenn menschliche Einflüsse wie Fassungen, Verbau oder Gräben vorhanden sind bzw. der Wasserlauf gelenkt wird. Ist die Wasser-Land-Verzahnung groß, ist die Quelle in der Regel naturnah. Von allen Quellen war die Wasser-Land-Verzahnung bei 117 Quellen gering, bei 115 Quellen war sie groß und bei 95 Quellen mittel ausgeprägt (Messniveau ordinal).

D Ergebnisse

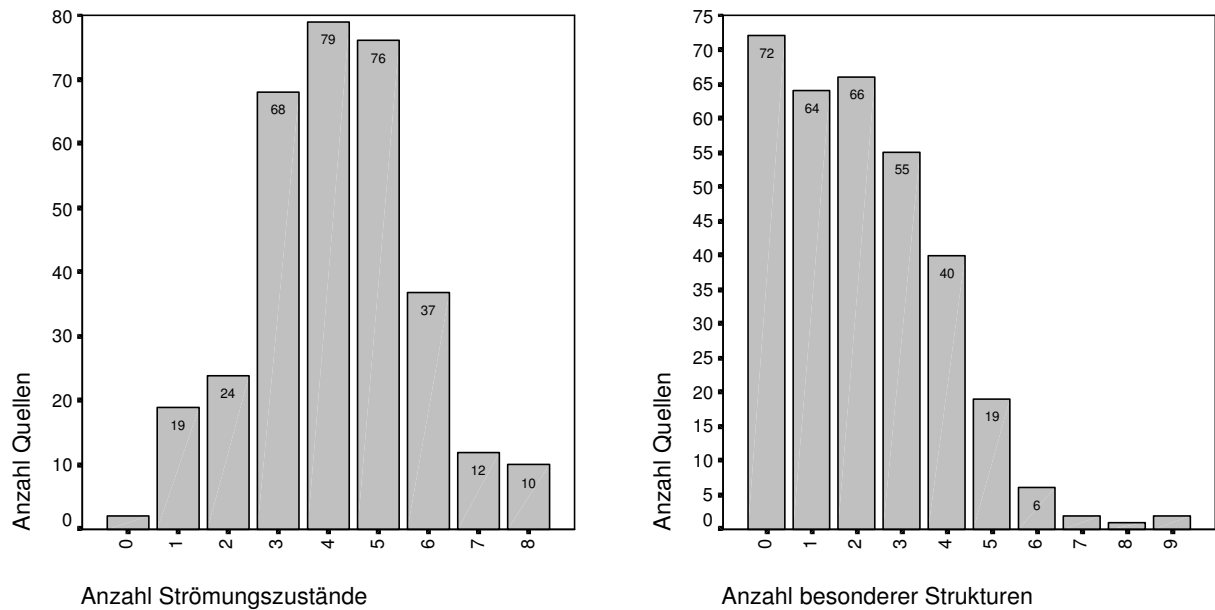


Abb. D2/5: Anzahl der Strömungszustände (links) und Anzahl der besonderen Strukturen aller Quellen (re.)

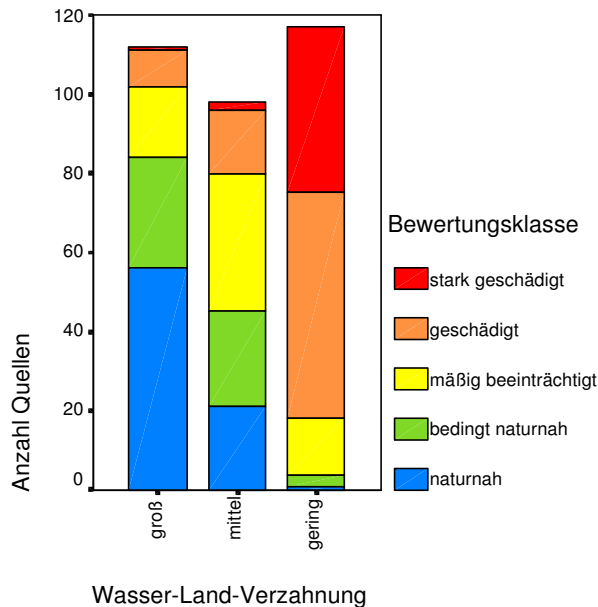


Abb. D2/6: Wasser-Land-Verzahnung und Bewertungsklasse der Struktur

Interessant ist der Vergleich naturnaher Strukturparameter mit den Bewertungsergebnissen des Verfahrens. Vergleicht man den Median der Anzahl der Substrattypen der bewerteten Quellen untereinander (Tab. D2/2), weisen naturnahe Quellen deutlich höhere Werte auf als Quellen anderer Bewertungsklassen, besonders im Vergleich zu stark geschädigten Quellen (fett unterlegt). Diese Unterschiede sind jeweils signifikant (ANOVA, $p = 0,000$, $F = 54,57$, $n = 327$). Auch andere Strukturparameter lassen dies erkennen, so die Anzahl der besonderen Strukturen (ANOVA, $p = 0,000$, $F = 65,52$, $n = 327$) und der Strömungszustände (ANOVA, $p = 0,000$, $F = 17,54$, $n = 327$) sowie die Wasser-Land-Verzahnung (Abb. D2/6).

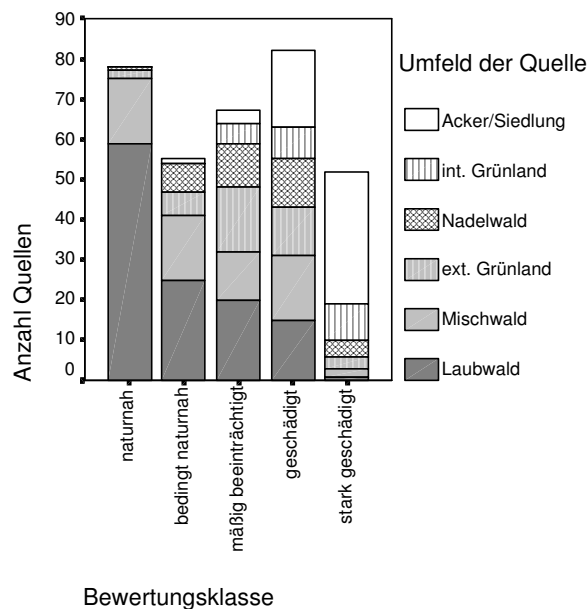
Die Anzahl der Substrattypen hängt deutlich mit den berechneten Werten des Strukturgüteverfahrens zusammen, so dass sich höchst signifikante Korrelationen ergaben (Spearman-Korrelationsanalyse: $r = -0,645$, $p = 0,000$, $n = 327$). Dies gilt auch für die Anzahl der besonderen Strukturen (Spearman-Korrelation: $r = -0,727$, $p = 0,000$, $n = 327$) und der Strömungszustände (Spearman-Korr.: $r = -0,422$, $p = 0,000$, $n = 327$).

Tab. D2/2: Median von Strukturparametern des Quellstrukturverfahrens und Bewertungsklassen

	naturnah	bedingt naturnah	mäßig beeinträchtigt	geschädigt	stark geschädigt
	Median	Median	Median	Median	Median
Anzahl der Substrattypen	8	7	6	5	3
Anzahl Strömungszustände	5	5	4	4	3
Anzahl besonderer Strukturen	4	3	2	1	0

D 2.2 Anthropogene Strukturveränderungen

Natürliche bzw. naturnahe Strukturen inklusive des Umfeldes um die Quelle werden meist durch anthropogene Nutzungsformen verändert. Das Umfeld der Quellen zeigt in Verbindung mit den Bewertungsklassen, dass die meisten naturnahen Quellen in Laub- und Mischwald liegen, stark geschädigte liegen dagegen in Acker- und Siedlungsflächen, intensivem Grünland und zu geringem Teil in Nadelwald und anderen Nutzungstypen (Abb. D2/7). Quellen der mittleren Schädigungsklassen liegen oft in extensivem Grünland.

**Abb. D2/7:** Umfeld aller Quellen und Bewertungsklasse

Eine häufig anzutreffende Nutzungsform am Quellaustritt ist die Fassung und der Verbau verschiedener Art, was die natürliche Habitatvielfalt stark einschränkt. Wie bereits geschildert, ergab sich insgesamt, dass von allen untersuchten Quellen 150 (45 %) ungefasst und 184 (55 %) gefasst waren. Die landesweit repräsentative Untersuchung von SCHINDLER & HAHN (2000) ergab 73 (41 %) ungefasste und 107 (59 %) gefasste Quellen. Acht Quellen waren so stark verändert, dass sie keinen offenen Abfluss mehr besaßen. Sie waren für verschiedene Zwecke über- oder verbaut, meist als Brunnenstuben für die Wassergewinnung. Tabelle D2/3 zeigt die Häufigkeit der Fassungen in den jeweiligen Kartierungen. In den Kartierungen Quelltypenatlas, Pfalz und Westerwald lag der Schwerpunkt auf ungefassten Quellen. Die repräsentativsten Zahlen sind fett unterlegt.

Die Daten von SCHINDLER & HAHN (2000) zeigen als Überblick über neun Quellräume repräsentative Verhältnisse von gefassten zu ungefassten Quellen (Abb. D2/8). Viele Fassungen fanden sich am Mittelrhein mit Wasserentnahmen vor allem im nördlichen Teil, im Schichtstufenland mit intensiver Landwirtschaft, in der Eifel (Tourismus) sowie in der Vorderpfalz (Sonderkulturen). Ähnlich ist die Situation in Rheinhessen. Eine zusammenfassende Darstellung der Situation in den einzelnen Quellräumen gab bereits in Kapitel D 1.2.

Tab. D2/3: Verteilung von Quellfassungen auf die Untersuchungen

	Untersuchung									
	Rheinland-Pfalz		Dahner Felsenland		Pfalz		Westerwald		Quelltypenatlas	
	Quellfassungen		Quellfassungen		Quellfassungen		Quellfassungen		Quellfassungen	
	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%
nein	73	40,6%	32	31,1%	21	87,5%	9	90,0%	78	91,8%
ja	107	59,4%	71	68,9%	3	12,5%	1	10,0%	7	8,2%

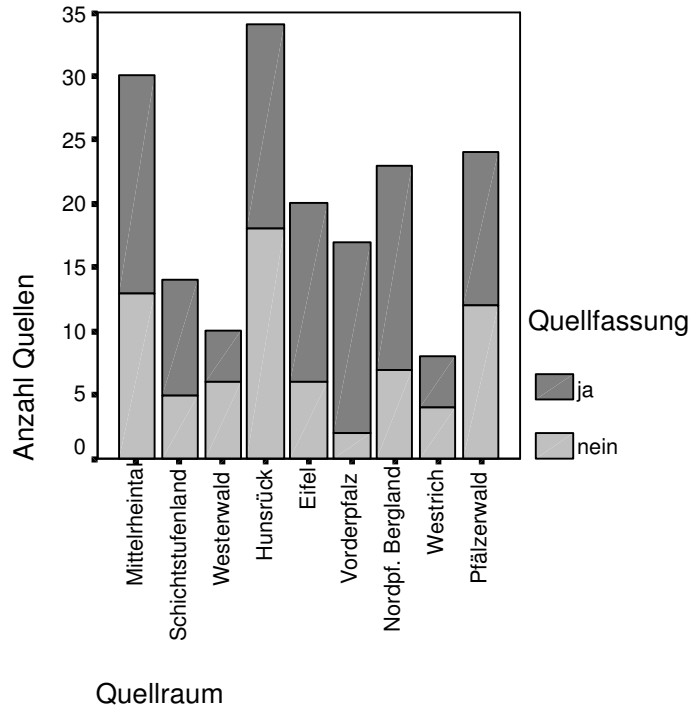


Abb. D2/8: Quellfassungen und Quellraum der Untersuchung von SCHINDLER & HAHN (2000)

Tabelle D2/4 verdeutlicht die Arten der kartierten Quellfassungen und ihre absolute Häufigkeit. Sie reichen von Brunnenstube mit Überlauf, Rohr und Becken bis hin zu nur Rohr bzw. Rinne. Diese drei Abstufungen wurden im Unterhaltungszustand als neu, alt oder verfallen differenziert. Dominierend waren vor allem ältere, noch funktionstüchtige Fassungen mit Rohr und Becken sowie ältere Rohrfassungen. Es folgten Brunnenstuben mit Überlauf, die oft älteren Datums waren. Brunnenstuben finden sich vor allem um dicht besiedelte Räume wie die Flusstäler des Rheins (Mittelrheintal) und der Mosel oder am Ostrand des Pfälzerwaldes. Brunnen- und Rohrfassungen finden sich dagegen in touristischen Räumen und in Mittelgebirgen wie dem Hunsrück, dem Pfälzerwald, teilweise aber auch in landwirtschaftlich genutzten Regionen.

Tab. D2/4: Fassungsarten aller gefassten Quellen

Art der Fassung									
kein offener Abfluss	Brunnenstube neu	Brunnenstube alt	Brunnenstube verfallen	Rohr u. Becken neu	Rohr u. Becken alt	Rohr u. Becken verfallen	Rohr/Rinne neu	Rohr/Rinne alt	Rohr/Rinne verfallen
Anzahl	Anzahl	Anzahl	Anzahl	Anzahl	Anzahl	Anzahl	Anzahl	Anzahl	Anzahl
8	11	20	9	24	42	17	16	30	9

Die Aufteilung der Fassungsarten auf die Bewertungsklassen des Verfahrens zeigen den Einfluss der Fassungsstypen auf die Quellstrukturbewertung (Abb. D2/9). Alte und verfallene Fassungen mit wenig Verbau zeigen nach dem Verfahren die größte Naturnähe, neue Brunnenstuben und neue Fassungen mit Rohr und Becken wurden am schlechtesten bewertet. Am besten schnitten Rohrfassungen mit naturnahem Ablauf ab.

D Ergebnisse

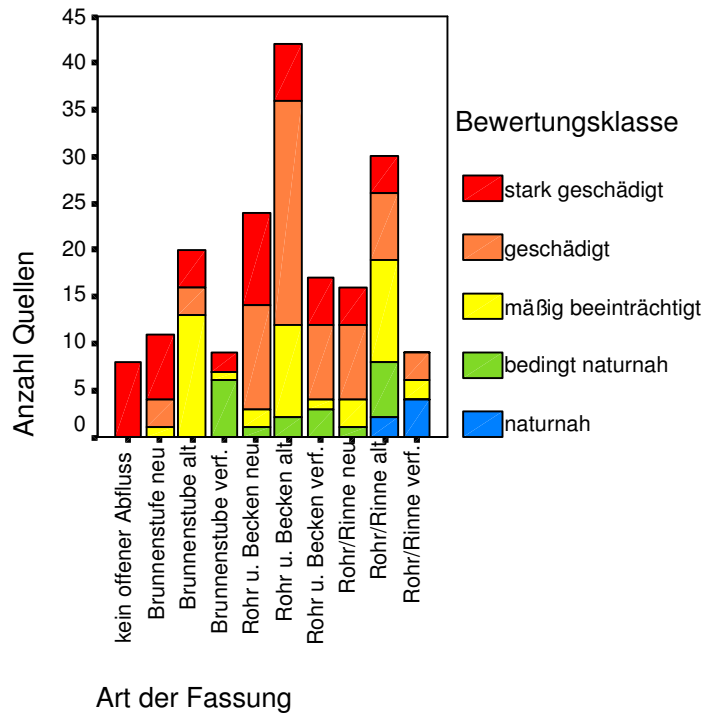


Abb. D2/9: Fassungstypen aller gefassten Quellen und Bewertungsklassen (verf.: verfallen)

Eine weitere Beeinträchtigung des Quellaustritts ist die Verlegung, die, abhängig von Distanz und Alter, die typischen Quellbedingungen nachteilig verändert. Außerdem wird durch die Verlegung die Flora und Fauna direkt geschädigt. Insgesamt konnte an 86 Quellen (26 %) eine mehr oder weniger deutlich erkennbare Verlegung festgestellt werden, bei den Daten aus SCHINDLER & HAHN (2000) waren es sogar 47 %. Meist sind dies Verlegungen an einen Weg oder aus einer landwirtschaftlich genutzten Fläche heraus, z. B. als Drainagen. Allerdings ist die Distanz einer verlegten Quelle vom ursprünglichen Austrittsort nicht selten als relativ gering zu veranschlagen, was die ökologischen Auswirkungen der Verlegung verringert.

Beeinträchtigen Fassungen und Verlegungen den direkten Austritt und die Abführung des Quellwassers aus dem Grundwasser, bezieht sich Verbau auf den Abschnitt unterhalb des Austritts. Verbau konnte an 67 % der Quellen festgestellt werden, lediglich 33 % der Quellen wiesen keine baulichen Maßnahmen auf. Diese Ergebnisse entsprechen den Daten von SCHINDLER & HAHN (2000). Weiterhin ergab sich bei der Auswertung, dass bauliche Maßnahmen unterhalb des Austritts vor allem Sturz- und Tümpelquellen betreffen. Sicker- und Wanderquellen sind weitgehend unverbaut. Die Ergebnisse beim Verbau in Bezug zu den Quellräumen entsprechen weitgehend den Ergebnissen für die Quellfassungen in Abbildung D2/8. Tabelle D2/5 zeigt die Arten des Verbaus an den Quellen.

Tab. D2/5: Verbauarten aller Quellen (Mehrfachnennungen sind möglich)

Art des Verbaus					
Holzverbau	Steinschüttung	Wilder Verbau	Natursteinverbau	Betonverbau	Verrohrung
Anzahl	Anzahl	Anzahl	Anzahl	Anzahl	Anzahl
15	2	9	100	93	104

Dominierend sind Verrohrungen bei 31 % aller Quellen sowie Naturstein- und Betonverbau in wenig geringerer Häufigkeit. Die Stärke der Schädigung durch eine Verrohrung wurde nach stark, mittel und gering gewichtet, wobei von allen Quellen 7 % stark, 4 % mittel und 5 % gering geschädigt waren. Kriterien für die Beurteilung der ökologischen Auswirkung war die Länge und der Abstand der Verrohrung zum Quellaustritt. Der mittlere Abstand vom Austritt betrug 2 m (Median), die Länge 5 m (Median). Da Quellen oft an Wegen

liegen, finden sich dort auch die meisten Verrohrungen. Verbau fand sich – wie Fassungen – vor allem in offenen, landwirtschaftlich genutzten sowie auch in touristischen Regionen.

Die Durchgängigkeit des Quellbaches wird auch durch Abstürze beeinträchtigt, wenn sie den Gesamtabfluss betreffen. An 12 % der Quellen konnte ein freier Absturz größer als 10 cm festgestellt werden, wobei der Gesamtabfluss betroffen war. An 3 % der Quellen lag ein Teilabsturz vor. Bei der Übersichtskartierung von SCHINDLER & HAHN (2000) ergaben sich knapp 20 % Quellen mit einem künstlichen Absturz.

Eine weitere typische Schädigung vieler kartierter Quellen ist der mehr oder weniger starke Aufstau zu Teichen, wobei besonders Fischteiche zu nennen sind. Auch hier werden Prozente angegeben, wobei die Zahl in der Klammer die Verhältnisse aus SCHINDLER & HAHN (2000) wiedergibt. 16 % (20 %) aller Quellen waren aufgestaut, wobei der Aufstau bei 13 % (18 %) der Quellen im Hauptschluss lag und bei 3 % (2 %) im Nebenschluss. Ein Aufstau im Hauptschluss ist zwar ökologisch gravierender, zumal er oft auf den ersten Metern erfolgt, allerdings hat er meist nur eine Größe von einigen Quadratmetern. Der Median der Distanz vom Austritt betrug 5 m. Die Größe des Aufstaus betrug im Median 15 m². In einigen Fällen fließt die gefasste Quelle direkt in einen Fischteich, so z. B. bei Quelle Nr. 0013. Dies wurde vergleichsweise häufig im südlichen Pfälzerwald, aber auch in anderen Regionen festgestellt (Südlicher Mittelrhein, Westerwald, Hunsrück).

Anthropogene Veränderungen finden sich nicht nur direkt am Gewässer selbst, sondern auch im Quellbereich und im näheren Umfeld. Hier sind als Beeinträchtigungen Trittschäden zu nennen, insbesondere, wenn diese starke Ausmaße annehmen. Sie können von Vieh, Wild und Besuchern herrühren. Trittschäden finden sich bei 28 % der Quellen, was der Rheinland-Pfalz-Kartierung entspricht. Die Trittschäden wurden als gering, mäßig und stark klassifiziert und jeweils an 11, 13 bzw. 4 % aller Quellen erfasst. Mäßige Trittschäden werden nicht selten durch den Menschen verursacht. Dieser sogenannte Besucherdruck wurde etwa bei 10 % der Quellen nachgewiesen (unbefestigter Boden). Starke Trittschäden sind nicht ganz so häufig und werden meist durch Wild oder Vieh verursacht, wobei in solchen Fällen die Bodenverwundungen so extrem sind, dass sie im Quellbereich keine Vegetation mehr zulassen.

Daneben beeinflussen Einrichtungen der Infrastruktur wie Parkplätze oder sonstige Bodenversiegelungen und Nutzungen das Umfeld einer Quelle. Die Beeinträchtigung erfolgt durch Anlage selbst und durch die Anziehung von Besuchern, was ihrerseits wieder Müllablagerungen oder Trittschäden nach sich zieht. Es wurden Zuwegungen, Bänke und Parkplätze, Trittsteine, Überdachungen, Wassertretbecken, Wildfutterstellen und Fahrschäden unterschieden (Tab. D2/6). Gerade jagdliche Wildfutterstellen und Salzlecken werden wegen der zusätzlichen Lockwirkung der Wasserstelle gern an Quellen errichtet, zumal sie dann nicht zufrieren. Starke Trittschäden durch das angelockte Wild sind die Folge. Einrichtungen der Infrastruktur wurden an insgesamt 37 % der Quellen kartiert. Viele Infrastruktureinrichtungen kommen am Haardtrand, am nördlichen Mittelrhein, im Nordpfälzer Bergland sowie in der Vulkaneifel vor.

Tab. D2/6: Einrichtungen der Infrastruktur aller Quellen (Mehrfachnennungen sind möglich)

Einrichtungen der Infrastruktur						
Zuwegung Anzahl	Bänke/Parkplätze Anzahl	Trittsteine Anzahl	Überdachung Anzahl	Wassertretbecken Anzahl	Wildfutterstelle Anzahl	Fahrschaden Anzahl
102	54	25	9	2	5	7

Eine Störung des Quellbereiches erfolgt auch nicht selten durch Ablagerungen wie Haus- und Gewerbemüll, Bauschutt, sowie Pflanzen- und Holzabfälle. Bei der Erfassung dieser Beeinträchtigungen wurde auch Faulschlamm berücksichtigt, der sich aus organischen Resten wie zersetzenden Pflanzenabfällen oder nach Schmutzwassereinträgen bilden kann. Er zeichnet sich durch stärkere Schichtdicken in Verbindung mit übelriechenden Stoffen wie Pflanzen- bzw. Müllresten aus. Eine natürliche Schlammabildung wurde bei Substrat-

typen unter Detritus/organischer Schlamm erfasst. Ablagerungen kamen an insgesamt 20 % der Quellen vor, bei SCHINDLER & HAHN (2000) an 30 % der Quellen. Es dominierten Ablagerungen von Haus- und Gewerbemüll, gefolgt von Pflanzenabfall sowie Erdaushub und Bauschutt (Tab. D2/7). Es fiel auf, dass Quellen vor allem in dicht besiedelten oder landwirtschaftlichen Regionen häufig als Entsorgungmulde missbraucht werden. Zum Teil wird auch versucht, den Quellbereich durch die Verfüllung trockenzuliegen. Dies wurde insbesondere im Nordteil des Landes beobachtet.

Tab. D2/7: Arten von Ablagerungen an allen Quellen (Mehrfachnennungen sind möglich)

Art des Verbaus				
Haus-/Gewerbemüll	Holzabfall	Pflanzenabfall	Erdaushub/Bauschutt	org. Reste/Faulschlamm
Anzahl	Anzahl	Anzahl	Anzahl	Anzahl
46	10	11	11	8

Direkte Einleitungen in Quellen konnten an etwa 5 % bzw. an 12 % der Quellen bei SCHINDLER & HAHN (2000) festgestellt werden. Es waren meist Drainagen oder Entwässerungsgräben, aber auch Straßen- bzw. Oberflächenentwässerungen versiegelter Flächen sowie trockene Einleitungsrohre kamen vor. Die Einleitung unverdünnter Abwässer konnte nicht direkt beobachtet werden. Einleitungen wurden insbesondere in der Vorderpfalz und im Schichtstufenland nachgewiesen.

In Kapitel D 4 wird auf die Auswirkungen anthropogener Veränderungen auf die Quellzoozöosen im Detail eingegangen, wobei Zusammenhänge zwischen Beeinträchtigungen von Strukturen und der Besiedlung aufgezeigt werden. Dort wird auch die Struktur, die Hydrochemie und die Fauna von neun ausgewählten Quellen der Pfalz dargestellt, die intensiver beprobt wurden und jeweils drei verschiedene anthropogene Hemerobiegrade repräsentieren.

D 2.3 Morphologische Quelltypologie von Rheinland-Pfalz

Im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Forsten Rheinland-Pfalz, vertreten durch das Landesamt für Wasserwirtschaft in Mainz wurde eine morphologische Typisierung der Quellen von Rheinland-Pfalz in Form eines Quelltypenatlas erstellt (SCHINDLER 2002). Die Arbeit führte die verschiedenen Kartierergebnisse der vorherigen Untersuchungen zu einem einheitlichen Typologieansatz zusammen. Ziel des Quelltypenatlas war die Beschreibung natürlicher Zustände und Strukturen von Quellen als quellraumbezogene Leitbilder für die Durchführung von Maßnahmen zur ökologischen Aufwertung von Quellen.

Das Längsgefälle, die Breite des Tales und die Steilheit des Hanges spielen für den Quelltyp eine wichtige Rolle. Das Gefälle der Quellmulde und des Hanges oder Tals entscheidet in Verbindung mit dem Schüttungsverhalten über die Körnung des Untergrundes. Großen Einfluss hat die Geologie, die die Art des Quellaustritts festlegt. Aufgrund der wechselnden Erscheinungsbilder einzelner Quellen in unterschiedlichen Naturräumen gibt es eine Vielzahl morphologischer und hydrologischer Zustände, die überlagert werden von menschlichen Einflüssen im Einzugsgebiet, im Umfeld und am Quellaustritt. Die morphologische Differenzierung fasst die gemeinsamen Eigenschaften naturnaher Referenzquellen zusammen und ordnet diese bestimmten Typen zu. Faktoren für die Typisierung von Quellen fasst Tabelle D2/8 zusammen.

Hierbei wurden bewusst einige Eigenschaften aus Tabelle D2/8 für die Typisierung herangezogen, andere weniger oder gar nicht. Grund war vor allem das Ziel, eine Typologie mit einer übersichtlichen Anzahl Quelltypen zu schaffen. Die Morphologie des Austritts, dessen Flächenausdehnung und Kleinbiotopausstattung stand im Mittelpunkt, wobei verschiedene Substrattypen zwar Einfluss auf die Bewertung, jedoch nur indirekt auf die Abgrenzung der Quelltypen hatten. Insbesondere die Korngröße des Untergrundes und die Höhenlage wurden nicht in den Vordergrund gestellt, da sie kleinräumig stark variieren und somit der Ab-

grenzung von Quellräumen und einer übersichtlichen Anzahl von Quelltypen im Wege gestanden hätten. Trotzdem spielen diese Eigenschaften vor allem für die Fauna eine wichtige Rolle (vgl. Kap. D 4 und E).

Tab. D2/8: Faktoren für die Typisierung von Quellen (u. a. nach THIENEMANN 1924, HÖLTING 1989, MATTHEß & UBELL 1983)

Faktor	Quelltypen
Morphologie (Substrat)	Rheokrene (Sturzquelle) Limnokrene (Tümpelquelle) Helokrene (Sickerquelle) Andere Typen (z. B. lineare Quelle nach ZOLLHÖFER 1997)
Temperatur	Kaltwasserquelle Warme Quelle (Thermalquellen) Heiße Quelle
Genese	Schichtquelle (häufig in Quellhorizonten) Stauquelle oder artesisische Quelle Spalt- oder Verwerfungsquelle Hangschuttquelle Karstquelle (Hungerbrunnen, „Bröller“)
Höhenlage (Besiedlung)	Gebirgsquelle (montan) Mittelgebirgsquelle (submontan) Flachlandquelle (planar)
Wasserführung	Perennierend Periodisch Temporär (intermittierend)
Hydrochemie	Silikatquelle Karbonatquelle Solequelle (Chlorid) Gipsquelle (Sulfat) Schwefelquelle Mineralquelle
Lichthaushalt	Waldquelle Offenlandquelle

D 2.3.1 Morphologische Quelltypen

Insgesamt können nach der Morphologie des Austritts vier morphologische Basis Quelltypen in Rheinland-Pfalz unterschieden werden. Der Austritt einer Quelle kann punktuell, flächig oder linear sein. Auch die Richtung des Austritts ist von Bedeutung, wenn Grundwasser unter Druck nach oben steigt. Drei Quelltypen gehen auf STEINMANN (1915) und THIENEMANN (1924) zurück und sind nachfolgend näher beschrieben. Dies ist die Helokrene (Sickerquelle), die Rheokrene (Sturzquelle) und die Limnokrene (Tümpelquelle). Der vierte Quelltyp ist die Migrakrene (Wanderquelle). Dieser Typus wurde als neuer Quelltyp hinzugenommen und erstmalig für Rheinland-Pfalz beschrieben. Er besitzt einige Eigenschaften des Quelltyps „lineare Quelle“ nach ZOLLHÖFER (1997), der unabhängig für die Schweiz dargestellt wurde (vgl. Kap. E). Wanderquellen stellen einen mit anderen Quelltypen nicht vergleichbaren Typ dar, deren Austritt in Abflussrichtung jahreszeitlich linear wandert. Dabei bildet der konkrete Austritt zu einem bestimmten Zeitpunkt oft einen Mischtyp zwischen Helo- und Rheokrene, wobei ihr Abfluss in Richtung des Gefälles stetig zunimmt (ZOLLHÖFER 1997).

Neben den vier Basis Quelltypen kommen Mischtypen zwischen ihnen vor. Ein Quelltyp dominiert fast immer als Hauptquelltyp. Der Nebenquelltyp ist im Quelltypensystem in Klammern angegeben (vgl. Abb. D2/17) und liegt dann vor, wenn z. B. eine Rheokrene noch kleinere, seitliche helokrene Quellaustritte besitzt. Bei Mischtypen ist der Hauptquelltyp einer Quelle über die größte Schüttung festgelegt. Es kommen also Quellen mit nur einem Quelltyp und Mischtypen mit Haupt- und Nebenquelltyp vor. Eine Kombination von Wander- und Tümpelquelle existiert allerdings nicht. In seltenen Fällen überlagern sich mehrere Quell-

typen, besonders bei geochemischen Überprägungen (Kap. D 2.3.4). Weiterhin ist zu beachten, dass Übergänge zu temporären sowie periodischen Quellen bei allen Quelltypen vorkommen können. Jede Grundwasserlandschaft bzw. jeder hydrogeologische Quellraum hat ein besonderes Verhältnis an Quelltypen, das für ihn charakteristisch ist. Dies gilt auch für den Anteil periodischer Quellen (vgl. Kap. D 2.3.6 und D 1.2).

Neben den vier morphologischen Basisquelltypen mit ihren Kombinationen kommen weitere morphologisch charakterisierbare Quelltypen vor. Wo sie auftreten, überlagern sie meist den Basisquelltyp. Solche geochemische Sondertypen sind Kalksinterquellen, Schwefelquellen, Ockerquellen (meist als Mineralquellen) und Sole- sowie Thermalquellen. Sie treten gehäuft in bestimmten geologischen Formationen oder bestimmten Regionen auf, z. B. im Oberrheingraben. Auch die geochemischen Typen können kombiniert auftreten und werden in Kapitel D 2.3.4 charakterisiert. Um sich die charakteristische Ausprägung der genannten Quelltypen vorstellen zu können, werden im Folgenden naturnahe und typische Eigenschaften der Basis- und Sonderquelltypen beschrieben. Die Abkürzungen beziehen sich dabei auf Abbildung D2/17 (S. 81).

D 2.3.2 Die vier Basisquelltypen

a) Morphologischer Steckbrief der Helokrene (Sickerquelle, Abkürzung H)

Die Haupteigenschaft der typischen Helokrene ist der flächige Grundwasseraustritt (Abb. D2/10, links). Naturnahe Sickerquellen besitzen Austritte an mehreren Stellen, da sie eine große Fläche durchnässen und die Austrittsfläche über den gesamten Quellbereich diffus verteilt ist. Die Wasserfläche ist fast immer viel kleiner als der durchfeuchtete Quellbereich. Das ausgetretene Wasser sammelt sich in baumartig verzweigten Rinnsalen und der Quellbereich ist relativ breit. Das Gelände ist häufig schwach bis mäßig geneigt (geringe Reliefenergie), die Schüttung ist in der Regel geringer als bei Sturz- und Tümpelquellen.

Die Wassertiefe ist auf den ersten Metern sehr gering und beträgt höchstens wenige Zentimeter. Die Fließgeschwindigkeit ist langsam bis mittel, fehlende Abstürze bedingen keine größeren Strömungsverwirbelungen. Allerdings ist die durchnässte Oberfläche sehr groß. Durch die geringen Strömungsgeschwindigkeiten herrschen Feinsubstrate wie Ton, Sand und Feinkies vor, auch kleinstes Totholz und Fallaub werden kaum abgespült, sondern verbleiben in der Quelle. Inselstrukturen und Laufverzweigungen sind häufig zu beobachten, gleichzeitig sind die Einzelstrukturen und Kleinhabitate relativ gleichmäßig über den Quellbereich verteilt.

Bedingt durch die geringe Strömungsgeschwindigkeit siedelt sich bei geeignetem Lichteinfall eine reiche Quellflur aus Makrophyten an, die zusätzliche Fließhindernisse - gekoppelt mit einer gewissen Nährstoffkonzentration - verursacht. Häufig sind Helokrenen im unmittelbaren Quellbereich baumfrei und besitzen deshalb eine stärkere Quellflur, im Randbereich kommen auch wasserliebende Baumarten wie Erlen oder Eschen vor. Sickerquellen sind wegen ihrer Größe oft Sonderstandorte für spezielle Biotoptypen wie Quellsümpfe, Kalksinterfloreten, Seggenriede oder Hangbrüche.

b) Morphologischer Steckbrief der Rheokrene (Sturzquelle, Abkürzung R)

Die Haupteigenschaft der typischen Rheokrene ist der punktuelle Grundwasseraustritt, an dem fast das gesamte Wasser der Quelle zutage tritt (Abb. D2/10, rechts). Naturnahe Sturzquellen besitzen oft eine relativ geringe Ausdehnung, meist nur wenige Quadratmeter. Die Quelle ist häufig bachähnlich und die Quellbedingungen setzen sich im Gegensatz zu Sickerquellen relativ weit in Richtung des Quellbaches fort. Der Quellbereich kann mit der Austrittsfläche weitgehend identisch sein, oft ist er aber auch größer. Das Gelände ist mäßig bis stark oder schroff geneigt (bergig) und die Schüttung kann sehr stark sein. Demzufolge ist die Fließgeschwindigkeit relativ hoch, kann aber je nach Geologie örtlich und zeitlich stark variieren. Ähnlich

verhält es sich mit der Tiefenvarianz und der Strömungsdiversität, die beide recht hoch sind (Kaskaden, Wasserfälle, natürliche Pools, Fließhindernisse). In der Vertikalen bilden sich spritzwasserbedingt oft spezielle Rieselfluren aus, so an Felswänden. Der Name „Sturzquelle“ impliziert Abstürze und wasserfallartige Strukturen. Die Rheokrene kann jedoch auch in flacherem Gelände bachähnlich, z. B. am Hangfuß auftreten. Entscheidend für die Abgrenzung zur Sickerquelle ist der punktuelle Austritt.

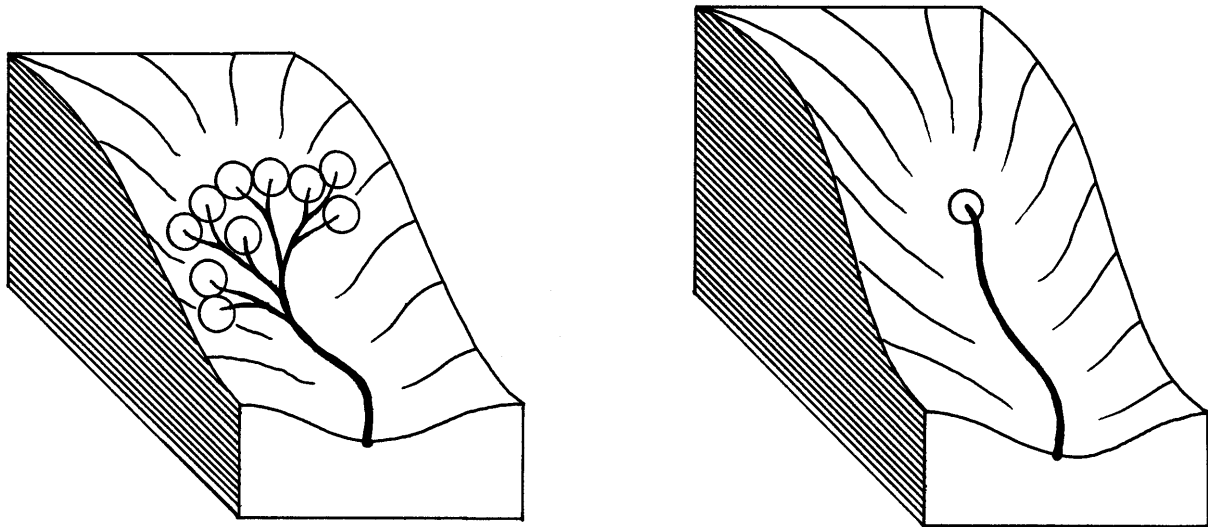


Abb. D2/10: Schematische Darstellung einer typischen Helo- und Rheokrene (Austrittsstellen markiert)

Strömungsbedingt herrschen Grobsubstrate wie Fels, Blöcke oder Steine vor. Feinsubstrate finden sich bei niedriger Fließgeschwindigkeit. Durch die Strömung wechselt das Substrat örtlich sehr stark, so dass im Gegensatz zur Sickerquelle punktuelle Wechsel mit klarer Substrattrennung typisch sind, z. B. Falllaubstapel neben Fels. Viele Substrate sind nur spritzwasserbenetzt, während andere wie Wurzeln, Blöcke und größeres Totholz vollständig umspült oder ausgewaschen werden. Falllaub wird zu „leafpacks“ zusammengespült. Die Strukturvielfalt kann sehr hoch sein. Ähnlich den Substraten konzentrieren sich Kleinhabitate und Einzelstrukturen ebenfalls an wenigen Stellen. Sturzquellen sind häufig ästhetisch ansprechend und pflanzenärmer als Sickerquellen. Moose, Farne und wenige Kräuter dominieren das Bild.

c) Morphologischer Steckbrief der Limnokrene (Tümpelquelle, Abkürzung L)

Die Haupteigenschaft der typischen Limnokrene ist der Grundwasseraustritt von unten in einen Quelltümpel (Abb. D2/11, links). Der Austritt kann punktuell sein, es sind aber meist mehrere beieinander liegende Kleinaustritte erkennbar. Tümpelquellen sind selten, wobei die Tümpelgröße von der Geländesituation abhängt. Der Quellbereich ist gegliedert in Tümpel und Überlauf. Der Begriff Tümpel ist etwas irreführend, da Tümpel per Definition austrocknend sind, wird aber aus historischen Gründen beibehalten. Richtiger wäre der Begriff „Weiherquelle“ (ZOLLHÖFER 1997). Tümpelquellen finden sich mit unterschiedlich starker Schüttung in schwachgeneigtem Gelände, am Hangfuß oder in Tallagen. Die Fließgeschwindigkeit und Strömung ist außer am Überlauf sehr gering bis fehlend, während eine größere Wassertiefe als bei den anderen Quelltypen erreicht wird.

Das Substrat ist in Tümpelquellen nach Korngrößen um die Austrittsstelle(n) kreisförmig sortiert, wobei innen mittelgrobes Substrat wie etwa Sand vorherrscht, das nach außen hin von Feinsubstrat abgelöst wird. Vorhandene Totholzstrukturen wirken außer am Überlauf nicht als Fließhindernis. Laub und Detritus findet

sich an den Tümpelrändern. Typisch für Tümpelquellen sind Sandwirbel am Grund, während sich die einzelnen Kleinhabitats zonal um die Austrittsstelle gliedern. An der Wasseroberfläche können manchmal Strudel oder leichte Erhebungen beobachtet werden, so bei artesischen Quellen mit gespanntem Grundwasser. Die Vegetation ist ebenfalls kreisförmig zoniert, sie wechselt von Wasser zum Land hin und erinnert an die Flora nährstoffarmer Stillgewässer.

d) Morphologischer Steckbrief der Migrakrene (Wanderquelle, Abkürzung M)

Die Haupteigenschaft einer typischen Wanderquelle ist ihre Linearität (Abb. D2/11, rechts). Sie hat keinen erkennbaren Austritt, der Abfluss nimmt vielmehr von oben nach unten kontinuierlich zu, wobei Quellbachabschnitte nicht selten für einige Meter oder länger trocken fallen. Allerdings kommt die letztgenannte Eigenschaft auch bei anderen Quelltypen vor. Der Begriff Migrakrene wird hier erstmalig verwendet (von lat. „*migrare*“ = wandern). Die geschilderten Eigenschaften treten zusammen mit einem „Wandern“ des obersten Austrittes auf, der typischerweise jahresperiodisch im Sommer talabwärts und im Winter talaufwärts erfolgt.

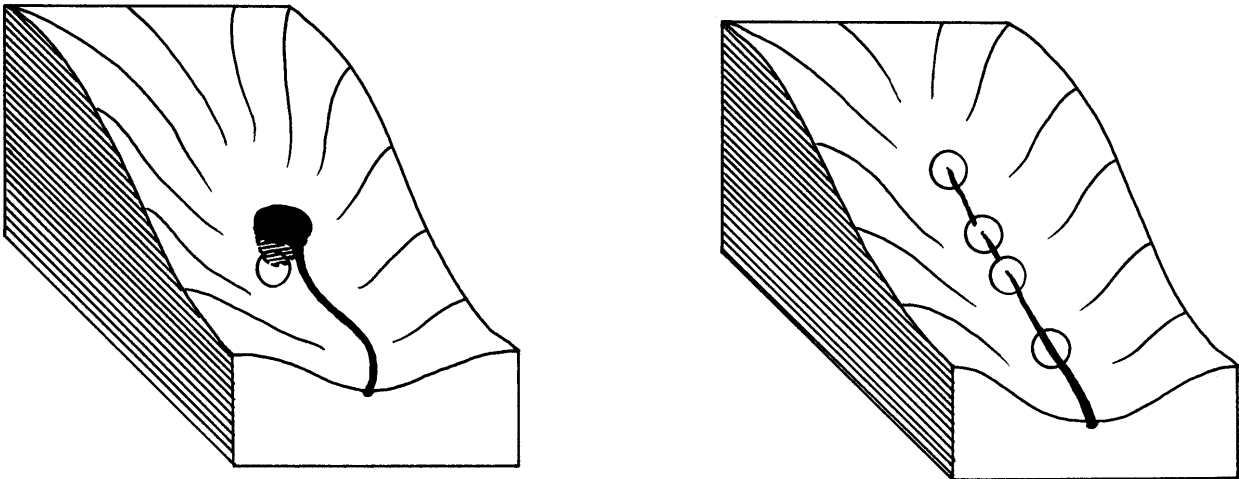


Abb. D2/11: Schematische Darstellung einer typischen Limno- und Migrakrene (Austrittsstellen markiert)

Wanderquellen treten zumeist in einer Geländerinne aus, die die Höhenlinien rechtwinklig schneidet. Diese wurde von der schwankenden Schüttung gebildet und besitzt einen Untergrund aus etwas gröberem Substrat, in der Regel aus Schotter. Wanderquellen sind daran zu erkennen, dass sie keinen typischen Quellaustritt mit Quellmulde, Quellvegetation und den typischen Quellstrukturen der anderen Quelltypen wie Sandwirbel, Laufverzweigung, Kaskaden oder Rieselfluren besitzen. Sie sind deswegen gut im Gelände „getarnt“ und, was das Substrat betrifft, relativ einheitlich. Diese Situation ist natürlich und die Substratarmut nur relativ, da sie für den Quelltyp charakteristisch ist. Die große „Oberfläche“ der Quelle befindet sich dagegen im Lückensystem des Interstitials, was die besondere Struktur dieses Quelltyps bildet. Wo der Quellbach in grobkörnigem oder durchlässigem Boden versiegt (Bachschwinde), entsteht unterhalb eine sog. sekundäre „Quelle“, die vom oberen Austritt weit entfernt sein kann. Das „Wandern“ von Migrakrenen kann z. T. beträchtliche Strecken talauf- und talabwärts erfolgen, zum Teil mehrere hundert Meter und mehr.

D 2.3.3 Gemeinsamkeiten naturnaher Basisquelltypen

Alle Quelltypen haben gemeinsam, dass sie fast immer nur dann naturnah ausgeprägt sind, wenn sie von Laub-Mischwald umgeben sind. Er garantiert eine stärkere Beschattung im Sommer, während die Quelle im Winter nur schwach beschattet ist. Der natürliche Lichthaushalt fördert die quelltypische Vegetation und

verhindert eine für Quellstandorte untypische, starke Veralgung oder Verkrautung (Ubiquisten). Natürliche Offenlandquellen sind dagegen eher selten und besitzen meist eine Flora aus Seggen. Des Weiteren findet sich bei naturnahen Quellen eine größtmöglich vernässte Oberfläche, die den Quellbereich im Vergleich zur reinen Austrittsfläche deutlich vergrößert. Wanderquellen besitzen ihre große „Oberfläche“ allerdings im Interstitial. Je nach örtlicher Geologie ist der Austausch zwischen Quelle und Grundwasser unbehindert und das abfließende Gewässer ist durchgängig für tierische Organismen, auch in vertikaler Richtung. Die Fließgeschwindigkeit natürlicher Quellen ist je nach den Geländegegebenheiten sehr variabel und es lassen sich verschiedene Strömungszustände beschreiben. Die Wassertiefe bleibt meistens gering. Typisch sind Fließhindernisse der verschiedensten Art sowie ein relativer Substrat- und Struktureichtum (Kleinhabitate), nur eingeschränkt durch die naturräumlichen Gegebenheiten. Der Nährstoffgehalt ist natürlicherweise gering und die Wasserchemie entspricht den geologischen Voraussetzungen. Das Umfeld weist keine Nutzungen auf, die sich auf Morphologie und Stoffhaushalt der Quelle auswirken und der Austausch der Quelle mit dem Umfeld ist optimal gewährleistet. In naturnahen Quellen ist in der Regel die Wasser-Land-Verzahnung groß und die Quelle häufig mit anderen Quellen vernetzt. Verbau und direkte schädliche Einflüsse fehlen.

D 2.3.4 Geochemische Sondertypen

Diese bisher beschriebenen vier Quelltypen bilden die morphologische Grundlage für die Austrittsform einer Quelle. Darauf aufbauend kommen noch weitere, durch die örtliche Geochemie bestimmte Quelltypen vor. Wo sie auftreten, überlagern sie den Basisquellentyp. Sie werden als geochemische Sondertypen oder Überprägungen bezeichnet. Dies sind Kalksinterquellen, Schwefelquellen, Mineralquellen mit Verockerungen, Solequellen und Thermalquellen. Gipsquellen sind in Rheinland-Pfalz nicht bekannt.

a) Kalksinterquellen (Abkürzung ca)

Kalksinterquellen sind in Rheinland-Pfalz aufgrund geologischer Gegebenheiten relativ selten, da silikatische Gesteine dominieren. Sie treten bei Kalkuntergrund auf, wobei im Grundwasser gelöste Bikarbonate als Kalk unter Erwärmung bzw. Einwirkung von Quellmoosen, die CO₂ aus dem Wasser aufnehmen (biogene Entkalkung), ausfallen. Der ausgefällte Kalk inkrustiert alle Substrate mit porösen Kalkschichten. Es bilden sich teilweise imposante terrassenförmige Ablagerungen aus Kalksinter mit kleinen Hohlräumen, die dicht von Quellorganismen besiedelt sind. Kalksinter fällt besonders an Stellen aus, wo Abstürze wie Wasserfälle und Kaskaden vorhanden sind, in solchen Fällen können die Sinterablagerungen die Quelle morphologisch dominieren (Abb. D2/12, links). In Rheinland-Pfalz kommen sie im Schichtstufenland, im Westrich und in der Kalkeifel vor. Anderswo stellen sie absolute Ausnahmen dar wie im Mittelrheintal (Quelle Nr. 0004). Kalksinterquellen können touristische Attraktionen bilden wie etwa der Nohner Wasserfall (Abb. D2/12).

b) Schwefelquellen (Abkürzung su)

Schwefelquellen (su von lat. *sulfur* = Schwefel) sind in Rheinland-Pfalz selten und an tektonische Prozesse in Bruchzonen des Oberrheingraben gebunden. Sie kommen um Landau und Worms vor. Schwefelquellen sind morphologisch durch Ausfällungen von Schwefelbakterien gekennzeichnet, die fädig-weißlich um die Austrittsstelle wachsen und den Quellbereich prägen (Abb. D2/13). Die Ausfällungen bestehen aus elementarem Schwefel. Das Wasser riecht nach Schwefelwasserstoff, welcher an den Geruch fauler Eier erinnert. Hier leben spezielle Zoozönosen (vgl. Kap. D 4). Alle kartierten Schwefelquellen waren gefasst und wurden in naturnaher Ausprägung in Rheinland-Pfalz nicht mehr nachgewiesen.

c) Mineralquellen mit Verockerungen (Abkürzung fe)

Mineralquellen mit Verockerungen (fe von lat. *ferrugo* = Eisenrost) treten in Rheinland-Pfalz gehäuft im Mittelrheintal, im Rheingraben und in der Vulkaneifel um Gerolstein auf (tektonische Bruchzonen, Vulkanismus). Hier werden bewusst nur morphologisch unterscheidbare Ockerquellen typologisiert, da andere Mineralquellen nur durch die wasserchemische Beschaffenheit oder den Gehalt an Kohlendioxid gekennzeichnet sind. Die Ausfällung von Ocker tritt da auf, wo (mineral- und) metallhaltiges, sauerstoffarmes Grundwasser austritt. Bei der Anreicherung mit Sauerstoff oxidieren gelöste Metalle und werden chemisch ausgefällt. Dieser Vorgang wird durch verschiedene Bakterien unterstützt. Ocker tritt vor allem in Form von Eisenocker auf, es können aber auch andere Metalle wie Mangan beteiligt sein. Der orangefarbene Ocker legt sich über alle Substrate und sieht flockig oder schleimig aus (Abb. D2/14). In solchen Quellen kommen nur noch wenige höhere Organismen vor (Kap. D 4). Extreme Verockerungen sind selten, während leichte Verockerungen häufiger zu beobachten sind. Sie treten meist in Bachtälern auf, wo sauerstoffarme Gleyeböden mit geringer Korngröße vorhanden sind. Eine leichte Verockerung kommt manchmal bei Sickerquellen vor, die bodenwassergeprägt sind. Tiefengrundwassergespeiste Quellen dagegen sind fast immer ockerfrei.



Abb. D2/12: Nohner Wasserfall in der Eifel, eine Kalksinterquelle mit starker Sinterbildung, Quelle Nr.0181

d) Solequellen (Abkürzung so) und Thermalquellen (Abkürzung th)

Sole- und Thermalquellen sind sehr selten und treten gehäuft an tektonischen Bruchzonen auf. Sie kommen in der Nähe des Mittel- und Oberrheintales vor z. B. in Bad Breisig, bei Bad Bergzabern, aber auch in Bad Ems, an der Ahr und zum Teil auch in der Eifel. Seit römischer Zeit wurden Thermalquellen aufgrund ihres hohen Gehaltes an Gasen und Wasserinhaltsstoffen als sogenannte Thermen für Heilzwecke gefasst und verbaut. Solequellen hingegen wurden zur Salzgewinnung genutzt oder zugeschüttet. Weder Sole- noch Thermalquellen wurden in naturnaher Ausprägung in Rheinland-Pfalz gefunden. Ein Beispiel ist der Geier-

sprudel in Bad Breisig, der mehrere Eigenschaften der geochemischen Sondertypen vereinigt. Der ursprünglich natürliche Austritt wurde hierbei durch eine Tiefenbohrung mit konstanterer Wasserförderung ersetzt.

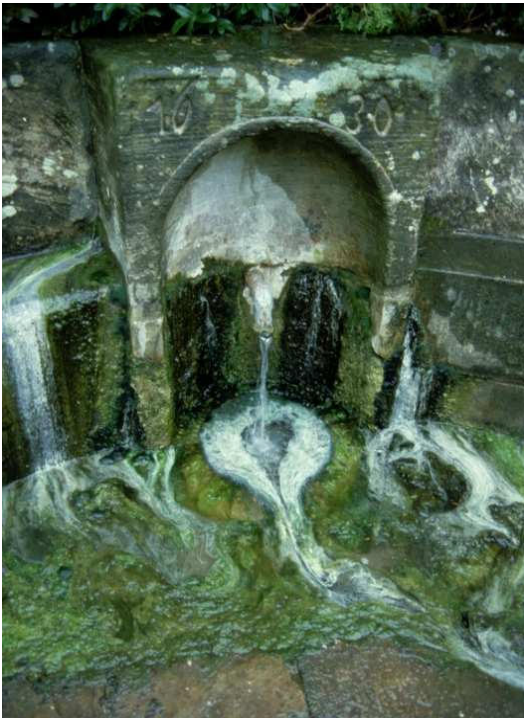


Abb. D2/13: Schwefelhaltige Ablagerung, Quelle 0117 **Abb. D2/14:** Eisen- u. Manganockerausfällung, Nr.4061

D 2.3.5 Morphologisch nicht zugeordnete Quellen

Bei der Einteilung von Quellen sind ferner endorheische Quellen zu berücksichtigen, die zwar einen relativ konstanten Austritt mit geringer Schüttung besitzen, aber weiter unterhalb austrocknen (ZOLLHÖFER 1997). Solche „abflusslosen“ Quellen sind häufig und kommen vor allem dort vor, wo der Boden wegen geringer Korngrößen relativ wasserundurchlässig ist wie im Tonschiefer oder über kalkreichem Untergrund. Sie sind stark bodenwasser geprägt und wurden wegen ihres temporären Charakters nicht typisiert und nicht als Referenzquellen berücksichtigt. Weiterhin kommen Quellen vor, die schwer abgrenzbar sind bzw. nicht oder kaum morphologisch differenziert werden können (vgl. Kap. C). Zunächst ist hier die Karstquelle zu nennen, die durch eine stark wechselnde Schüttung charakterisiert ist. Der Typ der Karstquelle mit stark schwankender Schüttung ist in Rheinland-Pfalz sehr selten und unterscheidet sich morphologisch kaum von der Sturzquelle. In der Eifel kommen wenige (gefasste) Karstquellen vor. Außerdem wurden Sturz- und Fallquellen nicht unterschieden, wie dies in Bayern geschieht (J. RÖMHELD, mündl. Mitteilung). Eine zusätzliche Unterscheidung von Sturzquellen in Fließ- und Fallquellen erscheint zwar sinnvoll, allerdings wurden sehr wenig Fallquellen beobachtet, so dass ihre geringe Zahl keinen eigenen Quelltyp rechtfertigt.

Andere Quellen wie z. B. Grundquellen werden durch angrenzende Biotope überprägt (Oberläufe der Fließgewässer). Übergänge von Grund- zu Oberflächenwasser ohne deutliche Quellaustritte wurden ebenfalls nicht berücksichtigt (Geländesenken, Bruchlandschaften). Außerdem sind geochemische Gewässertypen wie Silikat- und Karbonatquellen nicht näher differenziert, da sie morphologisch selten unterscheidbar sind. Wo dies dennoch der Fall ist, sind sie als geochemische Sondertypen in Form von Kalksinterquellen berücksichtigt. Faunistisch sind solche Quelltypen allerdings näher zu differenzieren (vgl. Kap. D 4.5). Submontane und planare Quellen wurden ebenfalls nicht als separate Typen unterschieden, da die primäre Höhenlage auf die Struktur wenig Einfluss hat, lediglich die Häufigkeit einiger Substrattypen wird indirekt beeinflusst (Erosion). Es spiegelt sich vor allem das Relief in der Morphologie wider, indem es die Häufigkeit einzelner

Quellentypen verändert, wird aber von Eigenschaften der Naturräume sowie deren Geologie überlagert. Faunistisch spielt die Höhenlage eine etwas größere Rolle (Kap. D 4 und E). Weiterhin sind einige hydrochemische Sondertypen nicht berücksichtigt, da sie keine strukturverändernde Wirkung haben, so spezielle Formen wie Waller oder Bröller, deren CO₂-haltiges Wasser mit Blasenbildung an die Oberfläche quillt, ebenso wie Hydrogencarbonat-Säuerlinge (Eifel). Das periodische Ausgasen von CO₂ führt beim erbohrten Wallborn in der Eifel zu periodisch schwankendem Wasserstand (AESCHBACH-HERTIG et al. 1996).

D 2.3.6 Verteilung der Quelltypen in Rheinland-Pfalz

Die Basisquellentypen sind nicht mit gleicher Häufigkeit über die Landesfläche verteilt. Sturzquellen finden sich reliefabhängig vermehrt in Gebirgsregionen wie dem Pfälzerwald, aber auch im Westrich und dem Schichtstufenland mit ähnlicher Geologie. Außerdem liegen sie an Rändern tief eingeschnittener Täler größerer Flüsse wie Rhein oder Mosel. Sickerquellen sind landesweit verbreitet, vorherrschend in mäßig steilem Gelände, in Hügelland und flacheren Regionen. Sie kommen häufig in Hunsrück, Eifel, Westerwald, Nordpfälzer Bergland, Mittelrheintal und Vorderpfalz vor. Tümpelquellen sind allgemein seltener und nur punktuell verbreitet, häufig in Bachtälern und an Talrändern. Sie sind vor allem in der Vulkaneifel und im Pfälzerwald zu finden. Im Pfälzerwald gibt es nicht wenige un gefasste Tümpelquellen, die typischerweise als Talrandquellen ausgebildet sind. Wanderquellen kommen vor allem im Nordpfälzer Bergland und eher sporadisch im Hunsrück und Mittelrheintal vor, häufig als Nebenquellentyp zu Sickerquellen.

Bei den geochemischen Sondertypen verteilen sich Kalksinterquellen auf die Naturräume Schichtstufenland, Südlicher Mittelrhein, Kalkeifel und Westrich. Mineralquellen mit Verockerungen sind im Nordpfälzer Bergland einschließlich Donnersberg, aber vor allem am Mittelrhein sowie in der Vulkaneifel zu finden, wo auch selten Thermal- und Solequellen vorkommen. Schwefelquellen finden sich am Haardtrand in der Gegend um Landau sowie in Rheinhessen um Worms.

Bei Auswertung der Quelltypenverteilung ist zu beachten, dass bei gefassten Quellen in der Regel der ursprüngliche Quelltyp nicht mehr erkennbar ist. Bei 32 % der Quellen war der Quelltyp durch die Fassung verändert und nicht mehr eindeutig feststellbar. Aus diesem Grund werden gefasste Quellen bei der Betrachtung der Quelltypverteilung weggelassen. Die Ergebnisse sind in Abbildung D2/15 zusammengestellt.

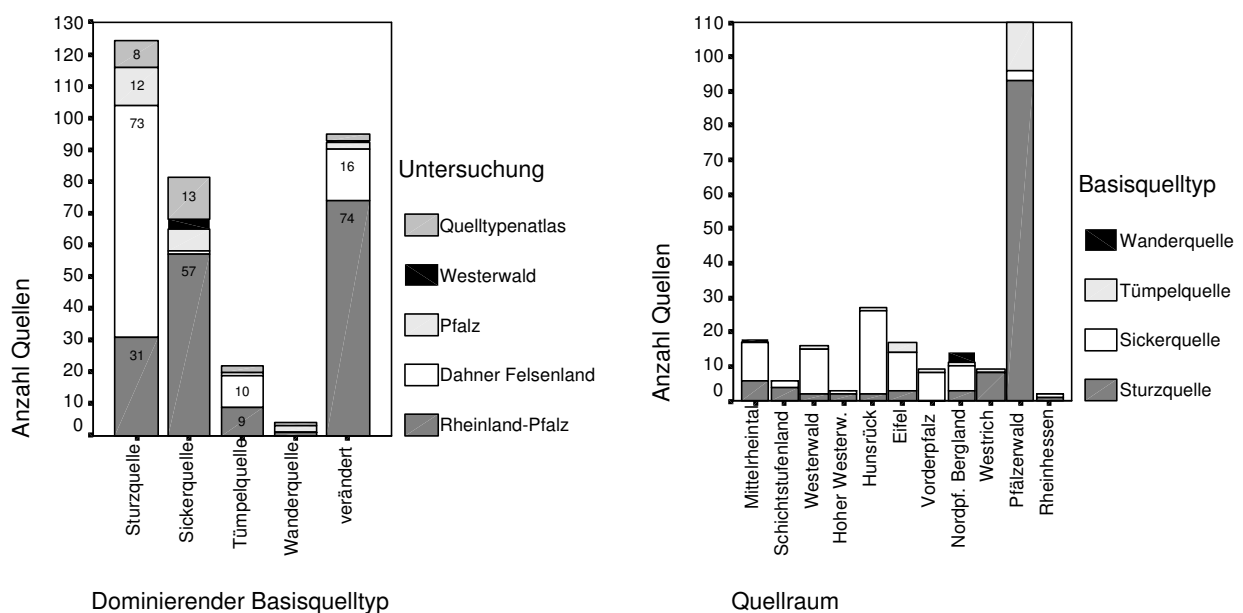


Abb. D2/15: Dominierender Basisquellentyp aller Quellen und Untersuchung (links) bzw. Verteilung aller Basisquellentypen auf die Quellräume (ungefasste Quellen, rechts)

Abbildung D2/15 (links) zeigt die Quelltypenanteile der einzelnen Untersuchungen. Die repräsentative Rheinland-Pfalz-Untersuchung von SCHINDLER & HAHN (2000) in Verbindung mit dem Quelltypenatlas (SCHINDLER 2002) kommt hierbei den natürlichen Gegebenheiten am nächsten (Tab. D2/9). Fasst man diese beiden landesweiten Untersuchungen zusammen, ergeben sich **32 % Sturzquellen, 57 % Sickerquellen, 9 % Tümpelquellen** und **2 % Wanderquellen** (n = 122). Knapp zwei von drei Quellen in Rheinland-Pfalz sind demzufolge als Sickerquellen, etwa eine von drei ist als Sturzquelle und etwa jede zehnte Quelle ist als Tümpelquelle zu bezeichnen. Eindeutige Wanderquellen sind zwar relativ gering vertreten, allerdings stellen sie bei rund 10 % aller Quellen einen Nebenquelltyp dar. Abbildung D2/15 (rechts) zeigt die Quelltypenverteilung in den einzelnen Quellräumen.

Tab. D2/9: Übersicht über die Basis Quelltypenverteilung repräsentativer Kartierungen (ungefasste Quellen)

Bearbeiter	Kartiergebiet	n	Sturzqu.	Sickerqu.	Tümpelqu.	Wanderqu.
SCHINDLER & HAHN 2000	Rheinland-Pfalz	98	32 %	58 %	9 %	1 %
SCHINDLER 2002	Quelltypenatlas RLP	24	33 %	54 %	8 %	4 %

Abbildung D2/16 (links) zeigt die Quelltypen im Vergleich mit der Geologie, wobei auffällt, dass im Buntsandstein Sturz- und ansonsten eher Sickerquellen dominieren. Tümpelquellen verteilen sich relativ gleichmäßig und sind eher vom kleinräumigen Relief abhängig, so dass sie fast immer in Tal- und Hangfußlage geringer Hangneigung liegen. Wanderquellen scheinen eher von einer Geologie abzuhängen, die gröberes Substrat zur Verfügung stellt, so vom Rotliegenden und Schiefer mit Grauwacken. Auch das Relief dürfte eine Rolle spielen, denn sie wurden nur in Mittelhanglage mit mäßiger bis starker Hangneigung gefunden.

Die Verteilung der Schüttungsmenge auf die Quelltypen (Abb. D2/16, rechts) zeigt, dass bei Sicker- und Wanderquellen die geringste durchschnittliche Abflussmenge gemessen wurde (Median 0,3 l/s), während Sturzquellen eine im Schnitt deutlich höhere Schüttung aufweisen (Median 2,5 l/s). Es kommen im Einzelfall allerdings stark abweichende Werte vor. In einer Sturzquelle wurde die größte Schüttung dieser Untersuchung mit 70 l/s gemessen. Im Mittel am stärksten allerdings schütten die Tümpelquellen (Median 3 l/s), was in erster Linie auf ihre Lage am Hang zurückzuführen sein dürfte (vgl. Kap. E).

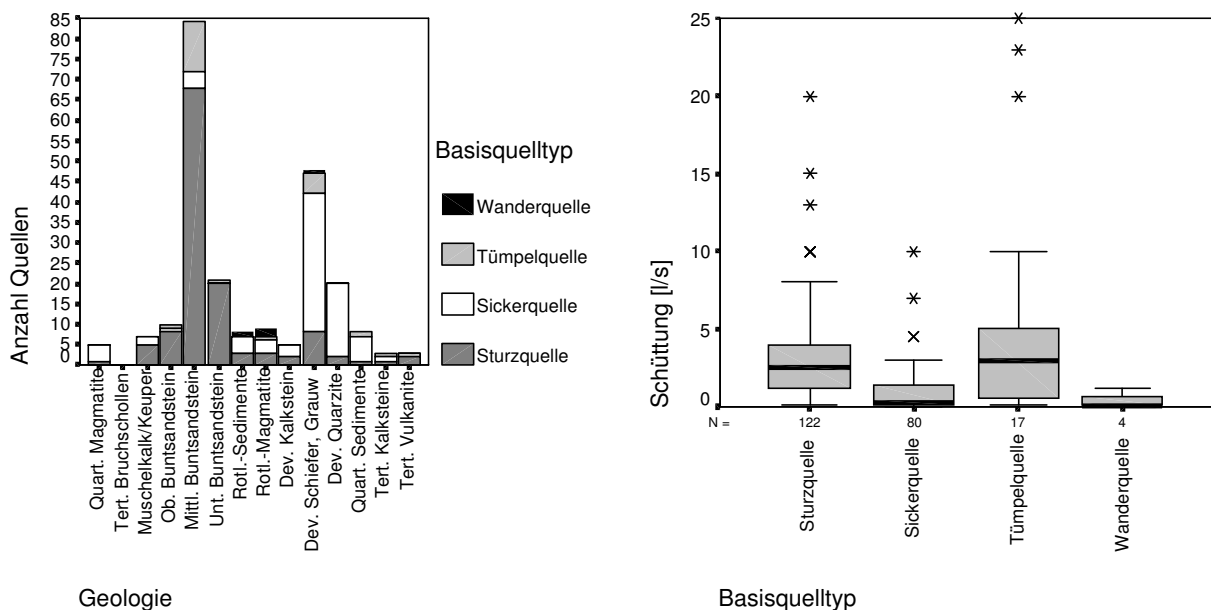


Abb. D2/16: Verteilung aller Basis Quelltypen auf die Geologie (links) bzw. Quellschüttung im Frühjahr (rechts, jeweils ungefasste Quellen). Die größte Schüttung betrug ca. 70 l/s (Sturzqu., nicht dargestellt)

Gekoppelt mit der Hanglage ist auch das Einzugsgebiet von Tümpelquellen größer. Wanderquellen bilden in Bezug auf die Schüttungsmenge das Schlusslicht (Median 0,1 l/s). Allerdings ist bei ihnen eine zunehmende Schüttung auf den ersten Metern zu beachten, so dass bereits nach kurzer Fließstrecke häufig ein deutlich größerer Abfluss vorhanden ist (Definition der Migrakrene, vgl. Kap. D 2.3.2).

D 2.4 Strukturreferenzquellen

Leitbilder für Fließgewässer definieren den potenziell natürlichen Zustand eines Gewässersystems und beschreiben wesentliche Merkmale der Gewässermorphologie, des Abflussgeschehens und der Wasserqualität, die den Typen in naturnahem Zustand eigen sind. Im Vergleich zu Bächen gibt es bei der Erfassung der Morphologie von Quellen noch sehr wenig Erfahrungen. Da die Struktur von Quellen bislang kaum untersucht ist, fehlen konkrete Referenzzustände naturnaher Quellen, weshalb Referenzquellen beschrieben wurden. Diese wurden für abgegrenzte Quellräume als Leitbilder zusammengestellt und sollen zeigen, welche Quelltypen wo in Rheinland-Pfalz in weitgehend naturnahem Zustand zu finden sind. Die aus repräsentativen Stichproben ausgewählten Objekte sind Beispiele für die typische Morphologie von Quellen der jeweiligen Landschaft. In Rheinhessen und in der Vorderpfalz ist die Landschaft in einem hohen Maße anthropogen geprägt, so dass sich geeignete Referenzquellen kaum zu finden waren und diese stärker beeinträchtigt sind.

Da es unbeeinflusste Quellen als Ausgangspunkte für die Leitbildentwicklung nicht mehr gibt, stellt eine Referenzquelle lediglich annähernd den heutigen potentiellen Naturzustand einer Quelle dar. Die morphologischen Leitbilder des Quelltypenatlas wurden in Form von 85 Strukturreferenzquellen aus der Datenlage der bisherigen Quelluntersuchungen in Rheinland-Pfalz ausgewählt. Sie sind repräsentativ für einen Quellraum und relativ unbeeinträchtigt. Insbesondere sollen sie Quelltypen des Quellraumes charakterisieren und Beispiele darstellen, an denen sich die Gewässerentwicklung orientieren kann. Die 85 Referenzquellen sind bereits im Quelltypenatlas in Form eines Kataloges mit Foto und einer Kurzbeschreibung dargestellt. Die Quell(typen)räume entsprechen den „hydrogeologischen Quellräumen“ in Kapitel D 2.3. Die Quellen wurden mit dem Verfahren des Autors bewertet, wobei die jeweils besten Quellen eines Quellraums ausgewählt wurden. Abbildung D2/17 zeigt die Lage und den Typ der einzelnen Quellen in der landesweiten Übersicht. Die Quelltypenkarte hebt die einzelnen Quelltypen farblich voneinander ab und zeigt sie vor dem Hintergrund der hydrogeologischen Quell(typen)räume in Rheinland-Pfalz. Die Quellen sind mit einer Kennung (Abkürzung) versehen, die den Quelltyp in Kurzform beschreibt. Die jeweilige Kennziffer besteht aus einer laufenden Nummer und mindestens einem Buchstaben, der den Quelltyp bezeichnet.

Wie aus Karte D2/17 zu ersehen ist, liegen einige Quellen wegen Quellraumeigenschaften oder organisatorischen Gründen enger beieinander oder sind in bestimmten Regionen spärlicher vorhanden. Die Referenzquellen repräsentieren dabei bis auf die genannten Ausnahmen in stärker anthropogen veränderten Naturräumen einen guten ökologischen Zustand. Als Hauptquelltypen der Referenzquellen wurden 36 Sickerquellen, 23 Sturzquellen, sieben Wanderquellen und fünf Tümpelquellen ohne Überprägungen beschrieben. Als Sonderquelltypen ergaben sich vier Kalksinterquellen, neun Mineralquellen und zwei Schwefelquellen. In Einzelfällen sind auch Quellen einer schlechteren Bewertungsklasse enthalten, wenn im betreffenden Quellraum keine besseren Beispiele gefunden wurden.



Lage der Referenzquellen in Rheinland-Pfalz

Hydrogeologische Quelltypenräume

- Hoher Westerwald
- Eifel
- Hunsrück
- Westerwald
- Mittelheintal
- Schichtstufenland
- Nordpfälzer Bergland
- Vorderpfalz
- Pfälzerwald
- Westrich
- Rheinhessen
- Gewässer



Morphologische Basisquellentypen

- H Sickerquelle (Helokrene)
- R Sturzquelle (Rheokrene)
- L Tümpelquelle (Limnokrene)
- M Wanderquelle (Migrakrene)
- ? natürlicher Quelltyp nicht feststellbar
- (Nebenquellentyp bei Mischtypen

Geochemische Sondertypen

- ca Kalksinterquelle
- fe Mineralquelle mit Verockerung
- su Schwefelquelle
- th Thermalquelle
- so Solequelle

Beispiel

- Nummer
- 16 R, ca — Sturzquelle (Helokrene), Kalksinterquelle
- Kalksinterquelle

0 5 10 15 20 25 30 Kilometer
 Maßstab 1 : 650.000

Wichtiger Hinweis zum Besuch von Quellen:

Quellen sind extrem empfindliche Biotope, die bereits durch kleinste Veränderungen gestört werden können. Es ist besonders darauf zu achten, dass man feuchte und nasse Bereiche nicht betritt, insbesondere wenn sie mit Quellvegetation bewachsen sind, die sich von der Umgebung abhebt. Auch ist kein Totholz zu entfernen oder der Lauf einer Quelle oder des Quellbachs zu verändern. Da Quellen geschützte Biotope sind und generellem Schutz unterliegen, ist ihre Beeinträchtigung und Schädigung zudem verboten.

© Landesamt für Wasserwirtschaft 2002, Fließgewässerinformationssystem

Abb. D2/17: Lage der 85 Referenzquellen des Quelltypenatlas Rheinland-Pfalz (nach SCHINDLER 2002).

Der Haardtrand wurde auf der Abbildung dem reliefähnlichen Pfälzerwald angegliedert

D Ergebnisse

Auch in anderen Untersuchungen wurden Strukturreferenzquellen ausgewählt. Bei der Untersuchung von SCHINDLER, GUTENSOHN & HAHN (2002) wurden 18 Referenzquellen ausgewählt, die einen relativ unbeeinträchtigten Zustand widerspiegeln, der als Leitbild für beeinträchtigte Quellen der Region Südlicher Pfälzerwald zur Verfügung steht. Auch in der Pfalz-Untersuchung wurden drei Referenzquellen für den Naturraum Donnersberg, Pfälzerwald und Westrich ausgewählt (Quelle Nr. 0147, 2304 und 0152), die eine besondere Naturnähe aufwiesen. Ergänzend hierzu sind Quellen als Referenzquellen zu bezeichnen, die nach dem fünfstufigen Strukturgüteverfahren mit der Bewertungsklasse 1 als naturnah bewertet wurden. Insgesamt wiesen 78 Quellen die beste Bewertungsklasse auf. Hiernach fanden sich die meisten strukturellen Referenzquellen im Pfälzerwald (24 Quellen), im Hunsrück (10 Quellen), im Nordpfälzer Bergland mit Donnersberg (9 Quellen) und im Mittelrheintal (8 Quellen).

Nach den strukturellen wurden auch biozönotische Referenzquellen ausgefiltert und festgelegt (Kap. D 4.5). Die Schnittmenge zwischen den besten beiden Klassen der strukturellen und biozönotisch bewerteten Quellen (vgl. Kap. D 4.5) stellt die Basis für die Entwicklung regionaler Leitbilder für Quellen in Rheinland-Pfalz dar. Diese Referenzquellen (56 Quellen) sind im Anhang im Einzelnen mit den wichtigsten Eckdaten dargestellt. Ausgewählte Referenzquellen sind auch fotografisch dokumentiert (vgl. Anhang).

D 3 Hydrochemie der Quellen von Rheinland-Pfalz

Die Hydrochemie des Quellwassers ist für die Ausbildung der Biozönosen von teilweise erheblicher Bedeutung. Eine Auswahl gemessener Analysewerte ist im Anhang aufgelistet. Es ergaben sich 629 Gesamtstichproben der Hydrochemie, davon 344 Stichproben in Winter und Frühjahr und 285 Stichproben in Sommer und Herbst. Zur Veranschaulichung werden wichtige Parameter herausgegriffen und graphisch dargestellt. Zunächst sind die Mediane der vor Ort gemessenen Parameter tabellarisch zusammengestellt (Tab. D3/1).

Tab. D3/1: Mittelwerte der Messungen vor Ort

	Wassertemperatur [°C]	elektr. Leitfähigkeit [mS/cm]	pH-Wert []	Sauerstoff-Sättigung [%]	Carbonathärte [°dH]
N (gültig)	593	582	594	590	585
Median	9,1	20,0	6,6	86,0	2,10

Die Beprobung der Quellen erfolgte zwar im gesamten Jahresverlauf, meistens aber von März bis Juni und im Oktober. Abbildung D3/1 zeigt die gemessenen Werte der Lufttemperatur im Vergleich zur gemessenen Wassertemperatur, wobei diese korrelierten (Spearman-Rangkorrelation: $r = 0,442$, $p = 0,000$, $n = 593$). Der Zusammenhang ist zwar schwach, die Korrelation jedoch höchst signifikant. Erkennbar ist, dass sich die Wassertemperatur nahe dem Jahresmittel befindet, während die Lufttemperatur größeren Schwankungen unterliegt. Dabei wurde die Beprobungsreihenfolge so gewählt, dass die phänomenologischen Unterschiede möglichst gering sind. Dieser Fehler wurde zwar verringert, aber nicht gänzlich vermieden (vgl. Kap. C).

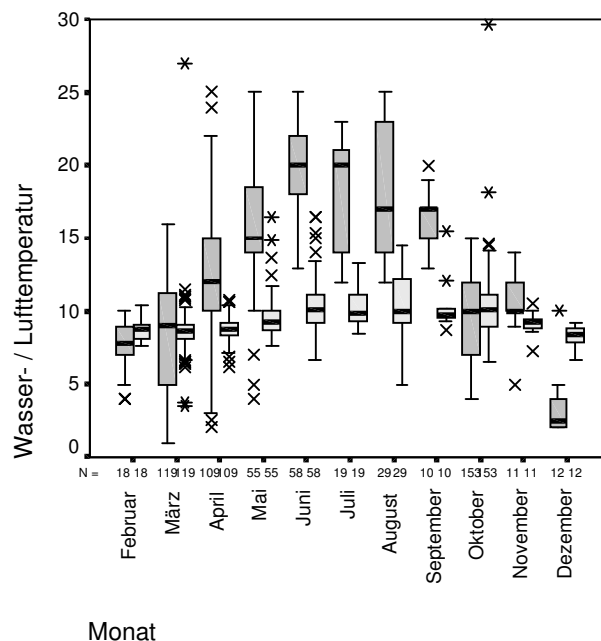


Abb. D3/1: Wasser- (hell) und Lufttemperatur (dunkel) vor Ort pro Untersuchungsmonat aller Quellen

Abbildung D3/2 zeigt Werte für die Wassertemperatur in den 14 beprobten Naturräumen (vergleichbar mit Kap. D 4). Da die Hydrochemie stark von der Geologie abhängt, wird sie ergänzend dargestellt. Auffällig ist, dass die Variabilität im Rheintal und am Haardtrand größer ist als bei Quellen im Westrich oder im Pfälzerwald, welche konstantere Temperaturen zeigen. Die niedrigsten Temperaturen mit den geringsten Amplituden wurden im Buntsandstein gefunden. Niedrige Temperaturen gab es auch am Mittelrhein und im Bienwald (Spätwinter), allerdings mit weit größeren Amplituden, so dass die Werte im Herbst weit höher lagen.

D Ergebnisse

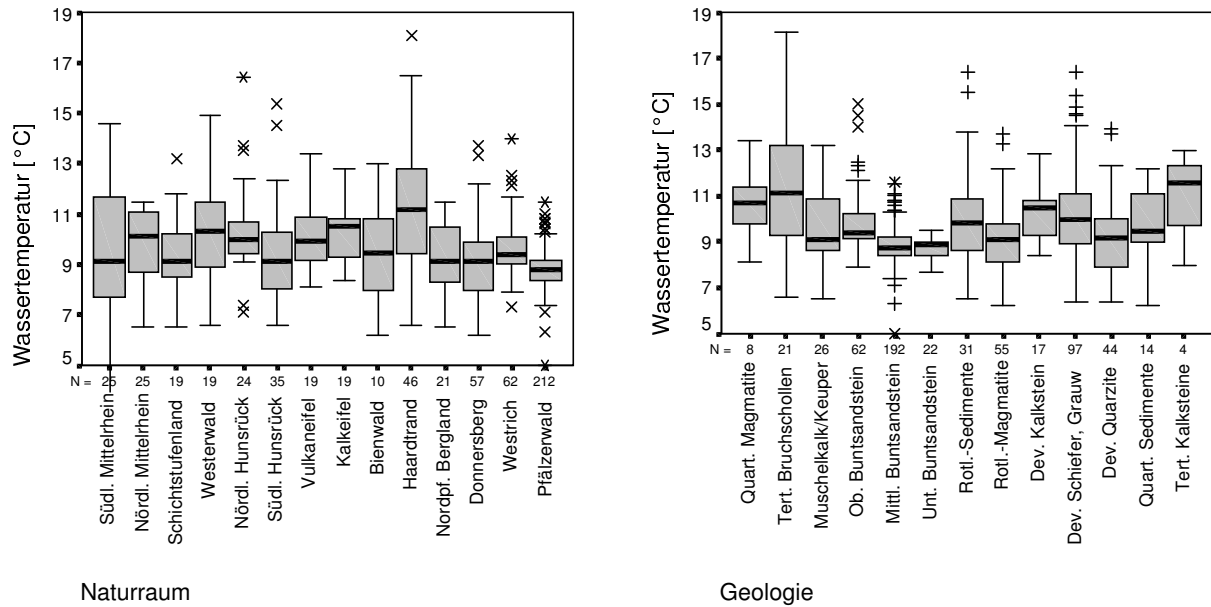


Abb. D3/2: Wassertemperatur aller Quellen (Naturräume, Geologie). Quelle Nr. 0020 fehlt (bis 29,6°C)

Beim Vergleich der saisonalen Unterschiede der Quellwassertemperaturen zeigte sich eine geringe Erwärmung der Quellen im Sommer/Herbst-Halbjahr um 1,2 °C, wobei der Median im Winter/Frühjahr bei 8,8 °C und im Sommer/Herbst bei 10,0 °C lag. Im Einzelfall können die Werte allerdings stärker schwanken. Quelle Nr. 0020 fällt als Thermalquelle aus dem Rahmen. Ihre Wassertemperatur liegt relativ konstant bei knapp 30 °C. Dieser sogenannte Geiersprudel in Bad Breisig ist wie fast alle Thermalquellen gefasst, wobei der ursprüngliche, natürliche Austritt überbaut ist und bereits sehr früh als Heilbad genutzt wurde (Römerbad). Der jetzt zugängliche Brunnen ist an einen Tiefbrunnen angeschlossen, stellt also keine eigentliche Quelle mehr dar. Als Sondertyp des Rheintals wurde er aber trotzdem als naturraumtypisch in die Kartierung aufgenommen. Beim Vergleich der Basisquelltypen wird deutlich (Abb. D3/3), dass die Temperatur der Sickerquellen eine weitere Streuung zeigt als die anderer Quelltypen.

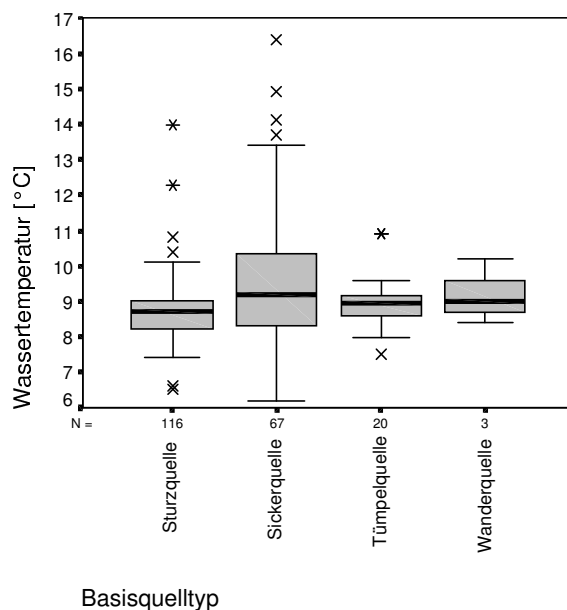


Abb. D3/3: Wassertemperatur der Basisquelltypen (ungefasste Quellen)

D Ergebnisse

Der Zusammenhang zwischen Wasser- und Lufttemperatur für die jeweiligen Quelltypen wurde mittels der Spearman-Rangkorrelation getestet, wobei für Sickerquellen eine starke Korrelation vorlag ($r = 0,663$, $p = 0,000$, $n = 67$). Bei Sturzquellen ($r = 0,299$, $p = 0,001$, $n = 116$) und Tümpelquellen ($r = 0,358$, $p = 0,094$, $n = 20$) war sie deutlich schwächer. Bei Wanderquellen gab es zu wenige Stichproben ($n = 3$). Diese Ergebnisse gelten für ungefasste Quellen. Es zeigte sich ferner, dass Offenlandquellen (Median $9,1\text{ °C}$) eine signifikant höhere Temperatur (U-Test: $p = 0,000$, $n = 299$, Frühjahr) aufwiesen als Waldquellen (Median $8,6\text{ °C}$), vor allem in Acker- und Siedlungsbereichen (Median $9,4\text{ °C}$).

Die elektrische Leitfähigkeit für alle Quellen der Naturräume ist in Abbildung D3/4 (links) dargestellt. Sie ist ein Maß für die im Wasser gelösten Stoffe und in chemisch nicht überprägten, sauberen Quellen eher gering und hängt vor allem mit der Geologie zusammen (rechts). Die Leitfähigkeit ist hier vor allem eine Funktion der Summe der Erdalkalien (Spearman-Rangkorrelation: $r = 0,968$, $p = 0,000$, $n = 488$). Auch bei der Leitfähigkeit wurden Unterschiede zwischen Wald- und Offenlandquellen nachgewiesen (U-Test: $p = 0,000$, $n = 289$, Frühjahr). Offenlandquellen hatten eine mittlere Leitfähigkeit von $0,29\text{ mS/cm}$, Waldquellen von $0,12\text{ mS/cm}$. Auch hier fällt der Geiersprudel (Quelle Nr. 0020) als einer der Mineralquellen aus dem Rahmen. Andere erhöhte Parameter an dieser Quelle sind die Wasserhärte, Chlorid, Sulfat, Kalium, Natrium, Magnesium und Calcium. An Schwermetallen sind Arsen und Nickel erhöht.

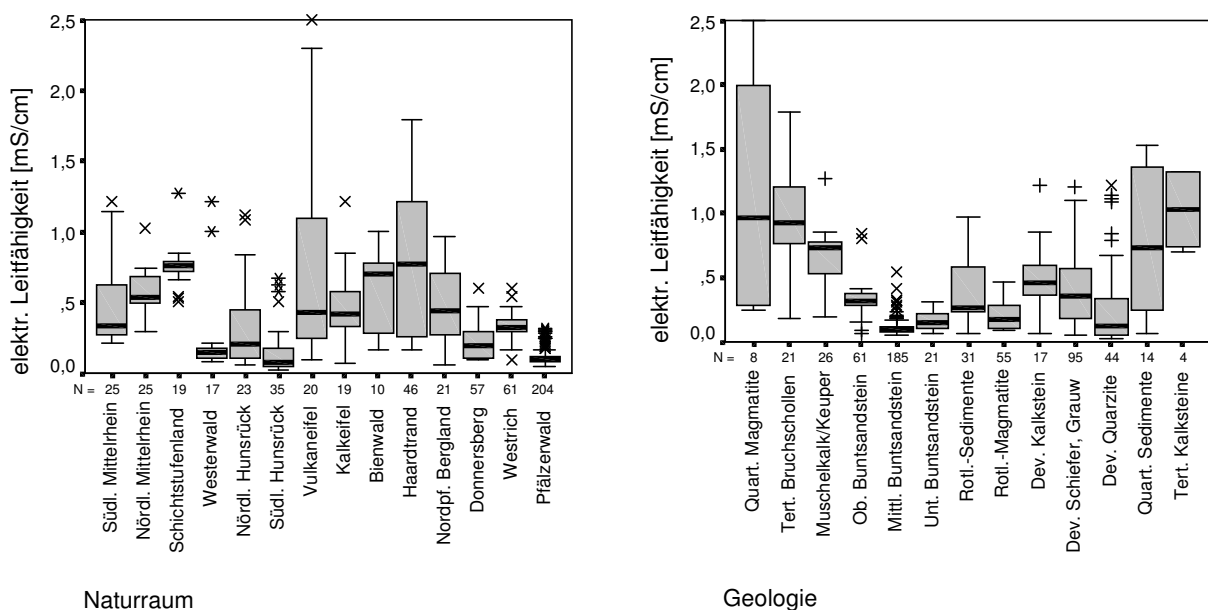


Abb. D3/4: Elektrische Leitfähigkeit vor Ort aller Quellen (Naturräume, Geologie). Quelle Nr. 0020 (bis 591 mS/cm) ist nicht dargestellt

Es wurden Unterschiede zwischen gefassten und ungefassten Quellen in Bezug auf einige chemische Parameter gefunden, etwa bei der Leitfähigkeit (U-Test, $p = 0,002$, $n = 289$). Dies gilt auch für andere, mit der Leitfähigkeit gekoppelte Parameter (Kalium, Kalzium, Magnesium, Chlorid, z. T. Nitrat und Carbonathärte bzw. Säurebindungsvermögen). Bei der Analyse der Leitfähigkeit in Verbindung mit dem Umfeld der Quellen stellte sich heraus, dass Acker- und Grünlandquellen mit intensiver Nutzung die höchste Leitfähigkeit aufwiesen (Abb. D3/5). Waldquellen und besonders Nadelwaldquellen wiesen die geringsten Leitfähigkeiten auf. Diese Unterschiede sind signifikant, z. B. für Laubwaldquellen und Quellen in intensivem Grünland (U-Test, $p = 0,001$, $n = 113$). Mögliche Gründe hierfür werden in Kapitel E diskutiert.

D Ergebnisse

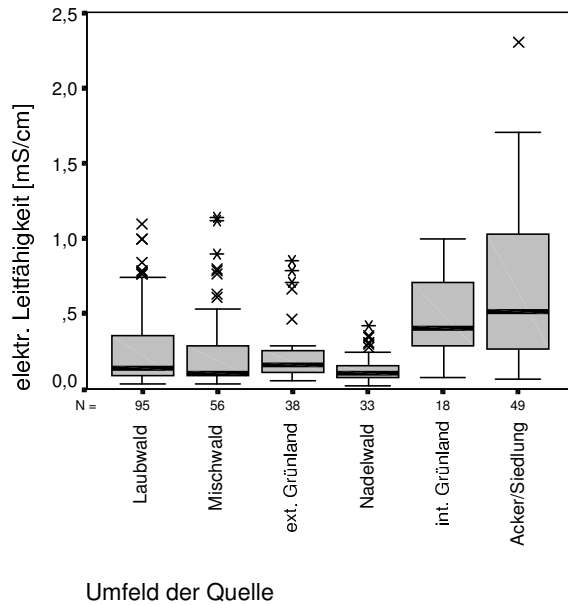


Abb. D3/5: Elektrische Leitfähigkeit vor Ort u. Umfeld aller Quellen (ohne Quelle Nr. 0020, bis 591 mS/cm)

Die elektrische Leitfähigkeit, das Säurebindungsvermögen, die Summe der Erdalkalien, die Wasserhärte (Carbonat- bzw. Gesamthärte) und die Summe der Anionen bzw. Kationen sind Parameter, die eng korreliert sind. Dies wurde zwar getestet, aber nicht näher dargestellt (vgl. HÜTTER 1994). Höchste Korrelationen ergaben sich zwischen Magnesium, Calcium, der Carbonathärte vor Ort, dem Säurebindungsvermögen, der Summe der Erdalkalien und der Leitfähigkeit vor Ort. Die naturraumtypische Verteilung der Wasserhärte entspricht in etwa dem Calciumgehalt sowie eingeschränkt der Summe der Erdalkalien. Das Säurebindungsvermögen ist mit beiden Parametern eng verknüpft (HÜTTER 1994). Als Übersichtsparameter wurde speziell die Leitfähigkeit sowie die Carbonathärte herausgegriffen (Abb. D3/5 und D3/10).

Ebenfalls mit den oben genannten Parametern korreliert ist der pH-Wert. Er wurde vor Ort und im Labor gemessen und hat große Bedeutung für die Lebensgemeinschaft einer Quelle. Er gibt, vor allem in Regionen mit pufferarmem Gesteinsuntergrund, Hinweise auf den Säurestatus einer Quelle (Abb. D3/6).

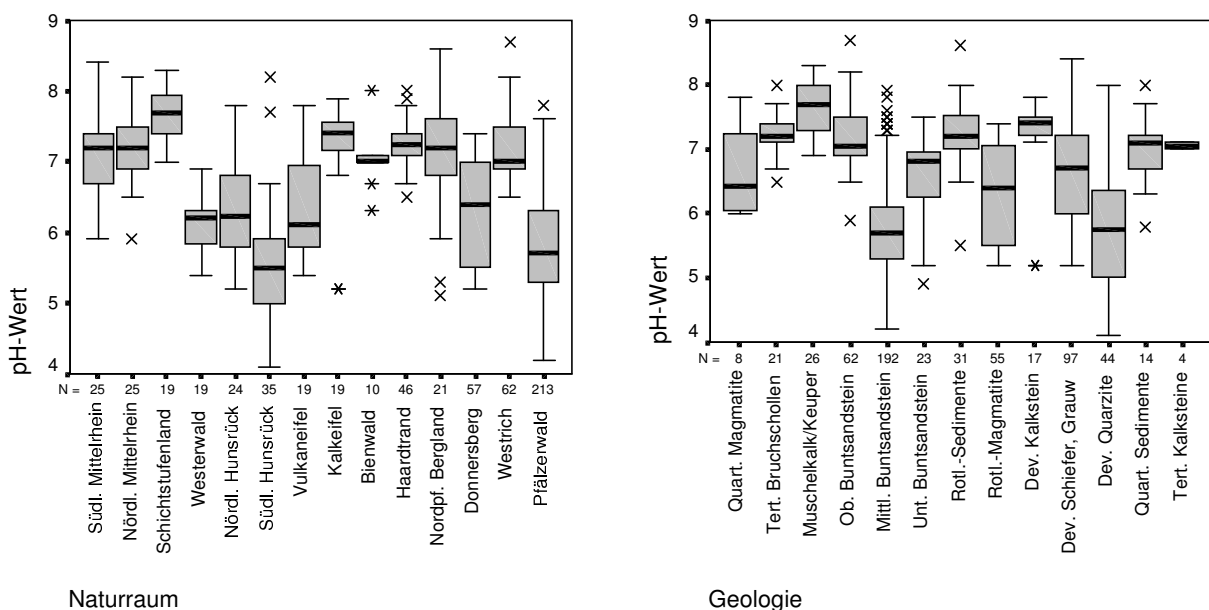


Abb. D3/6: pH-Wert vor Ort aller Quellen (Naturräume, Geologie)

D Ergebnisse

Abbildung D3/6 (links) zeigt die Situation des pH-Wertes in den Naturräumen, wobei deutlich wird, dass die niedrigsten Werte im Südlichen Hunsrück und im Pfälzerwald gemessen wurden. Es folgen Nördlicher Hunsrück, Westerwald, die Vulkaneifel und der Donnersberg. pH-Werte über 8 sind weniger für bestimmte Naturräume als für einzelne, oft geschädigte Quellen typisch. Der niedrigste pH-Wert wurde mit pH 4,1 im südlichen Hunsrück gemessen. Da der Transport und die Lagerung der Wasserproben eine Veränderung des pH-Wertes mit sich bringen kann, wurden nur pH-Werte dargestellt, die vor Ort gemessen wurden. Geologisch gesehen liegen die niedrigsten pH-Werte im mittleren Buntsandstein und im devonischen Quarzit (Abb. D3/6, rechts). Die höchsten Werte wurden im geologisch noch relativ jungen Muschelkalk festgestellt.

Für die Auswertung wurden zwei pH-Klassen gebildet, die den Säurestatus einer Quelle angeben. Quellen mit einem Wert \geq pH 5,5 sind hierbei als nicht sauer eingestuft, Quellen mit einem pH-Wert unter pH 5,5 wurden als sauer klassifiziert. Von den untersuchten 629 Stichproben waren 111 sauer und 518 nicht sauer. Nach dem Mittelwert der Stichproben pro Quelle wurden 60 saure (20 %) und 240 nicht saure (80 %) Quellen klassifiziert. Saure Quellen unter einem pH-Wert von 5,5 wurden vor allem im mittleren Buntsandstein und in devonischen Quarziten nachgewiesen, zum Teil aber auch in Rotliegend-Magmatit und Tonschiefer mit Grauwacken. In Einzelfällen treten auch saure Quellen im unteren Buntsandstein sowie in devonischem Kalkstein auf, bei letzterem in einer sauren Hangmoorsituation mit Torfmoosen (Quelle Nr. 0101). Versauerungsgefährdete Gebiete in Rheinland-Pfalz sind also vor allem Regionen mit pufferarmem Gestein wie der Hunsrück (Taunusquarzit) und der Pfälzerwald (Buntsandstein). Im Pfälzerwald zeigte sich, dass versauerungsgefährdete Gebiete vor allem im mittleren Buntsandstein liegen, meist in Oberhanglage (SCHINDLER, GUTENSOHN & HAHN 2002). Im Hunsrück wirkt sich die Versauerung nicht nur auf Quellen aus wie im Pfälzerwald (HAHN et al. 1998), sondern setzt sich auch weit hinab in die Quellbäche fort (MAUDEN 1994, 1993, LFW 2000), was an fünf Quellbächen überprüft wurde. Die Werte der Quellbäche lagen zum Teil noch nach einigen Hundert Metern auf dem Quellniveau von ca. pH 5 (SCHINDLER & HAHN 2000).

Beim Vergleich des pH-Wertes mit den Umfeldtypen finden sich die niedrigsten Mittelwerte in Nadelwald und die höchsten Werte in intensivem Grünland und Acker- bzw. Siedlungsflächen (Abb. D3/7). Offenland- und Waldquellen zeigen signifikante Unterschiede (U-Test: $p = 0,000$, $n = 301$, Frühjahr), wobei Waldquellen im Mittel saurer (Median pH 5,9) waren als Offenlandquellen (Median pH 6,9). Die Ergebnisse werden in Kapitel E diskutiert.

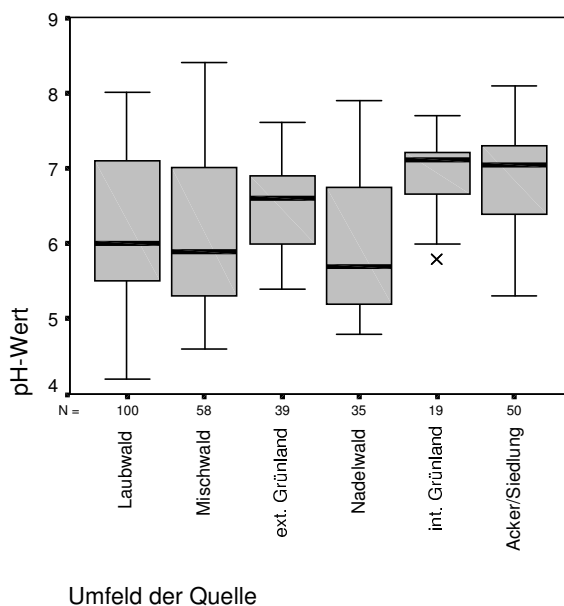


Abb. D3/7: pH-Wert vor Ort und Umfeld aller Quellen

Die Ergebnisse zeigen weiterhin, dass die Quellen im Winter/Frühjahr durchschnittlich um 0,2 pH-Schritte saurer sind als im Sommer/Herbst. Diese Tendenz bestätigen auch andere Untersuchungen (FIEDLER-WEIDMANN & HAHN 1996), sie war aber statistisch nicht signifikant (U-Test, $p = 0,076$, $n = 594$).

Ein weiterer wichtiger Parameter für die Lebensgemeinschaften der Quellen ist das Vorhandensein von gelöstem Sauerstoff. Er wird als Sauerstoffgehalt in mg/l bzw. in Verbindung mit der Wassertemperatur als Sauerstoffsättigung in Prozent angegeben. Da die Sättigung die physikalisch mögliche, aktuelle Löslichkeit bei der Messung einbezieht, gibt sie eine bessere Übersicht und wird deshalb dargestellt. Abbildung D3/8 (links) zeigt geringere Sauerstoffkonzentrationen in Quellen der Vulkaneifel und des Bienwaldes, ansonsten finden sich im Schnitt geringe Unterschiede im Sauerstoffgehalt der Quellen in den einzelnen Naturräumen. Die Sauerstoffsättigung zeigte jahreszeitliche Unterschiede. Sie war im Sommer/Herbst signifikant niedriger als im Winter/Frühjahr (U-Test: $p = 0,000$, $n = 590$). Im Winter/Frühjahr ergab sich ein Mittelwert von 88 %, im Sommer/Herbst von 82 %. Die Sauerstoffsättigung liegt bei fast allen Buntsandsteinquellen recht einheitlich bei etwa 80 bis 100 % (Abb. D3/8, rechts). Diese auch bei anderen Kartierungen in Pfälzerwald und Westrich festgestellten Werte (FIEDLER-WEIDMANN & HAHN 1996, SCHINDLER 2000) sind typisch für Buntsandsteinquellen. In Regionen mit anderer Geologie liegen die Sauerstoffwerte oft etwas niedriger.

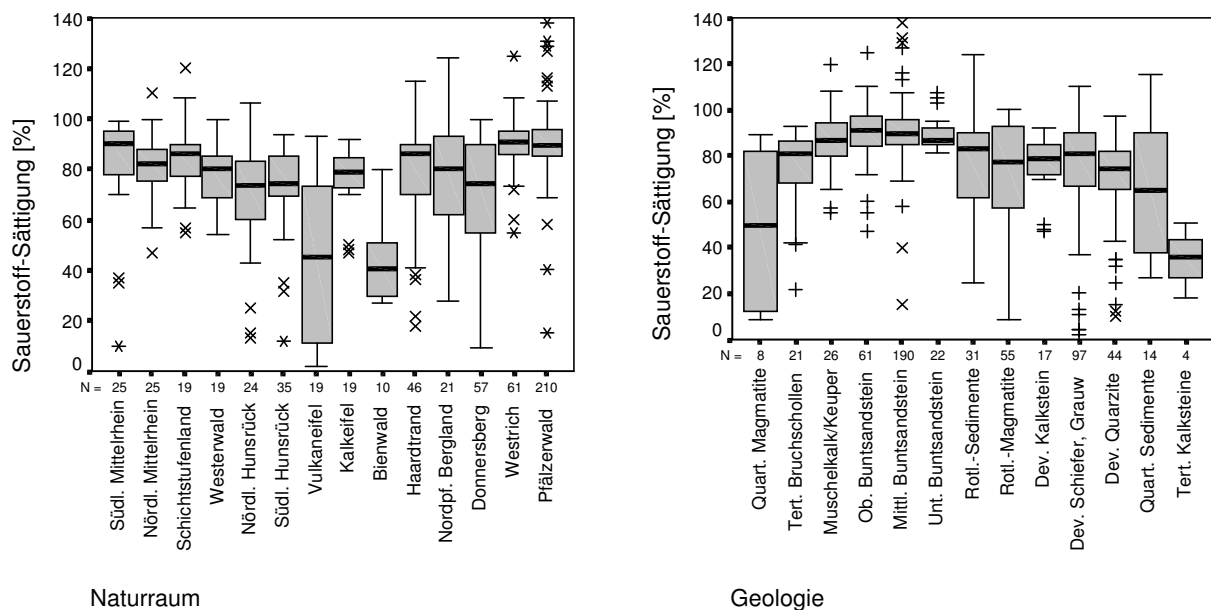


Abb. D3/8: Sauerstoffsättigung aller Quellen (Naturräume, Geologie). Quelle Nr. 2204 (bis 156 %), 2305 (bis 189 %) und 1051 (bis 160 %) ist nicht dargestellt

Zwischen einzelnen Quelltypen sind Unterschiede bei der Sauerstoffsättigung nachweisbar (H-Test, $p = 0,000$, $n = 203$). Abbildung D3/9 zeigt, dass Sturz- (und Wanderquellen) eine engere Spanne der Sauerstoffsättigung als Sicker- und Tümpelquellen aufweisen, außerdem ist die Sättigung von Sicker- und Tümpelquellen im Schnitt signifikant niedriger als bei Sturzquellen (U-Test: $p = 0,000$, $n = 180$ bzw. $n = 113$).

Im Labor des Landesamtes für Wasserwirtschaft wurden Wasserinhaltsstoffe wie Stickstoffparameter, Metalle und Spurenstoffe von allen Untersuchungen analysiert. Die Ausnahme bildet die Untersuchung von SCHINDLER, GUTENSOHN & HAHN (2002), wo lediglich Vor-Ort-Parameter inklusive Nitrat erhoben wurden. Tabelle D3/2 zeigt ausgewählte Parameter und listet die Zahl untersuchter Quellen und Mediane auf. Die Nennung von Grenzwerten im Folgenden bezieht sich auf die Trinkwasserrichtlinie der EU (1998) bzw. AU-RAND (1991).

D Ergebnisse

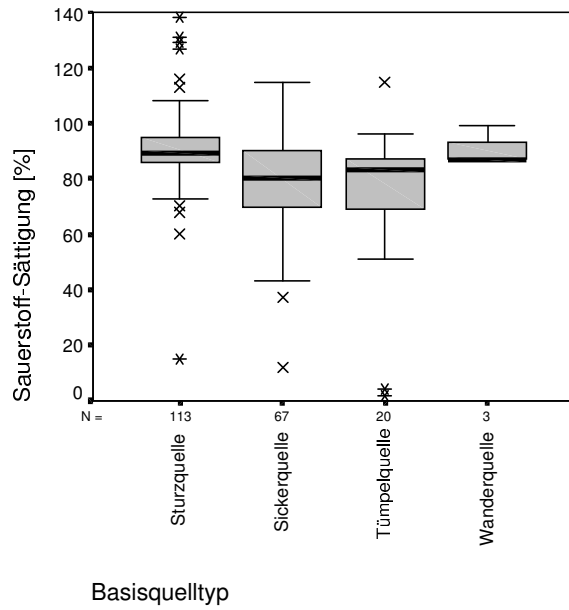


Abb. D3/9: Sauerstoffsättigung der Basisquelltypen (ungefasste Quellen)

Tab. D3/2: Median ausgewählter Laborparameter (LFW Rheinland-Pfalz)

	Carb.- härte °dH	Erdal- kalien ° dH	NH ₄ mg/l	NO ₃ mg/l	Cl ⁻ mg/l	SO ₄ ²⁻ mg/l	CSB mg/l	Na mg/l	Ka mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	Fe mg/l	Mn mg/l	Su. d. Kat- ionen mval/l	Su. d. An- ionen mval/l
N	484	490	490	588	490	490	490	490	490	490	490	490	490	488	488
Median	3,1	5,05	0,01	7,0	10,0	22,0	1,00	3,20	5,30	7,30	22,00	0,020	0,02	2,16	2,23

Zunächst wird die Carbonathärte in den einzelnen Naturräumen dargestellt (Abb. D3/10, links). Hier werden die Laborwerte bevorzugt dargestellt, da einige Vor-Ort-Messungen möglicherweise mit Fehlern behaftet sind (hohe Werte) und im Labor unter konstanteren Temperaturbedingungen analysiert wurde.

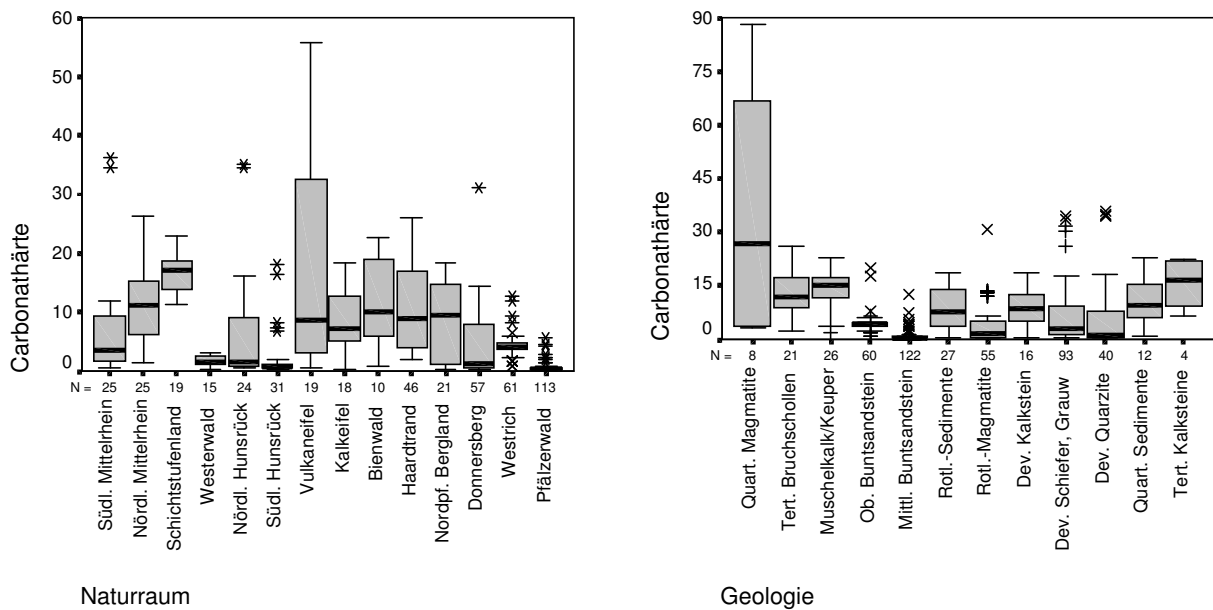


Abb. D3/10: Carbonathärte aller Quellen (Naturräume, Geologie). Quelle Nr. 0020 (bis 133 °dH) und 0095 (bis 88 °dH) ist nicht dargestellt

D Ergebnisse

Es fallen kalkreichere Naturräume wie Schichtstufenland oder auch die Vulkaneifel mit ihren Mineralquellen auf, Puffer- und kalkarme Naturräume besitzen dagegen niedrigere Werte. Die Carbonathärte ist im Pfälzerwald, im Südlichen Hunsrück oder auch im Westerwald sehr niedrig (nahe Null), während der Haardtrand, das Schichtstufenland, der Westrich, die Eifel und, weniger stark ausgeprägt, auch der Nördliche und Südliche Mittelrhein sowie das Nordpfälzer Bergland härteres Wasser besitzen. Erneut fällt Mineralquelle Nr. 0020 mit hohen Werten heraus. Die Geologie demonstriert deutlich den Zusammenhang mit der Grundwasserlandschaft (Abb. D3/10, rechts). Das härteste Wasser fand sich in den quartären Magmatiten der Eifel.

Ein für Quellen wichtiger, verschmutzungsrelevanter Parameter ist der Nitratgehalt des Wassers. Wenn er erhöht ist, wird dies meist durch intensiven Düngereinsatz hervorgerufen. In landwirtschaftlichen Bereichen liegt er in der Regel höher als in einem Gebiet mit walddreichem Einzugsgebiet. So lassen sich walddreiche von walddarmen, landwirtschaftlich genutzten Naturräumen allein schon durch die graphische Darstellung des Nitratgehaltes unterscheiden (Abb. D3/11). Die höchste Nitratkonzentration wurde mit 294 mg/l (!) am Haardtrand gemessen, wo intensive Landwirtschaft in Form von Sonderkulturen vorherrscht (Weinbau, Obst). Dort liegt der Mittelwert der Nitratkonzentration bei 61 mg/l, was den Grenzwert für Trinkwasser überschreitet, bei Sickerquellen des Haardtrandes liegt er sogar bei 92,5 mg/l. Ansonsten wurde der höchste Median im Schichtstufenland nachgewiesen, es folgen neben dem Haardtrand der Südliche Mittelrhein und der Westrich als die landwirtschaftlich bedeutsamsten Naturräume.

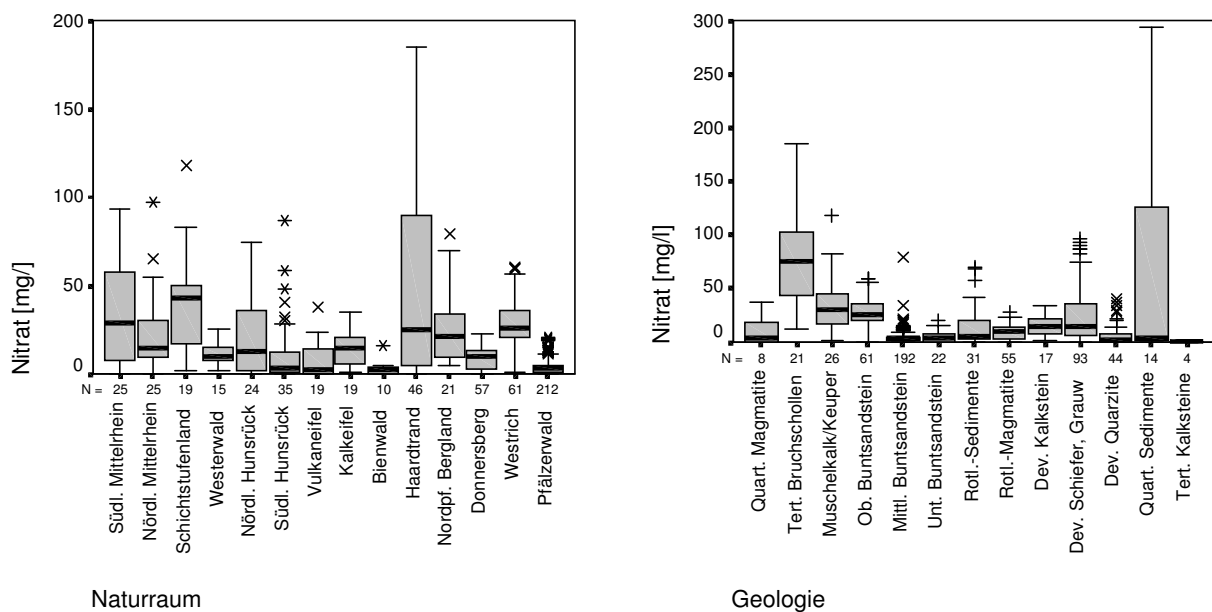


Abb. D3/11: Nitratkonzentration aller Quellen (Naturräume, Geologie). Quelle Nr. 2201 (bis 294 mg/l) ist nicht dargestellt (Haardtrand)

Beim Vergleich des Nitratgehaltes von Quellen verschiedenen Umfelds zeigten sich die höchsten Werte in Acker und intensivem Grünland (Abb. D3/12), während in Laubwald, Mischwald und extensivem Grünland deutlich weniger Nitrat vorhanden ist. Nadelwald besaß die niedrigsten Werte. Auch hier unterscheidet sich die Gruppe der Wald- von den Offenlandquellen (U-Test: $p = 0,000$, $n = 294$, Frühjahr). Waldquellen wiesen im Median 3,8 mg/l Nitrat auf, Offenlandquellen dagegen 13,5 mg/l. Geologisch gesehen liegen die Quellen mit den höchsten Nitratgehalten in tertiären Bruchschollen und quartären Sedimenten der oberrheinischen Tiefebene (landwirtschaftlich besonders geeignet). Naturnahe Quellen wiesen kaum Nitrat auf, allerdings konnte in den Höhen der Mittelgebirge ein leichter Nitratanstieg beobachtet werden (vgl. Kap. E).

D Ergebnisse

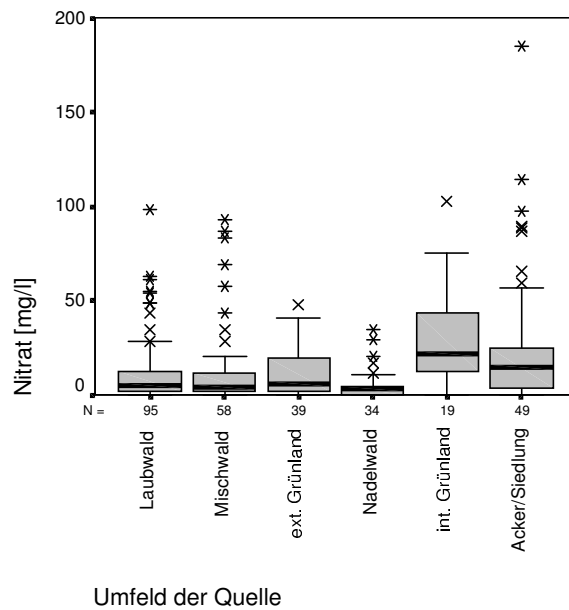


Abb. D3/12: Nitratkonzentration und Umfeld aller Quellen

Unter den Stickstoffparametern war der Ammoniumgehalt des Quellwassers insgesamt recht gering, lediglich in landwirtschaftlich genutzten Regionen wie der Kalkelfel, dem Nördlichen Hunsrück und im Westrich traten einige erhöhte Werte bis max. 0,8 mg/l auf (Grenzwert für Trinkwasser: 0,5 mg/l). Einige höhere Werte traten aber auch in waldreichen Naturräumen sowie in Mineralquellen auf (vgl. Kap. E). Die Nitritwerte lagen auch in landwirtschaftlichen Naturräumen oft unter 0,1 mg/l, betrug im Westrich und im Schichtstufenland allerdings bis zu 0,14 mg/l. Die Quelle mit dem höchsten Nitritgehalt lag in der Vorderpfalz (Quelle Nr. 2202 mit bis zu 0,33 mg/l Nitrit), was den Grenzwert für Trinkwasser (0,1 mg/l) deutlich überschreitet.

Die Phosphorgehalte lagen praktisch immer unter dem Grenzwert für Trinkwasser (Abb. D3/13). Am Haardtrand, im Schichtstufenland und vor allem im Westrich, dessen Quellen geologisch im oberen Buntsandstein liegen, aber oft von Muschelkalk geprägt sind, waren sie dagegen im Vergleich zu anderen Naturräumen zum Teil deutlich erhöht (bis 0,3 mg/l), was auf Grundwasserverunreinigungen hinweist.

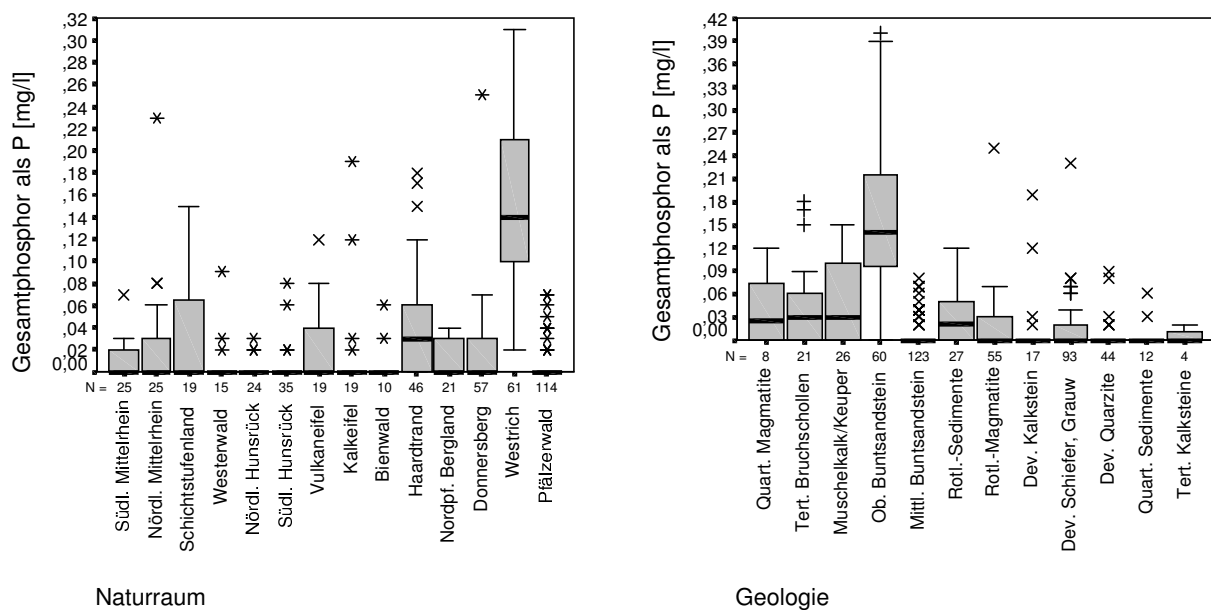


Abb. D3/13: Phosphorgehalte aller Quellen (Naturräume, Geologie). Quelle Nr. 0151 (bis 0,4 mg/l) und 0152 (bis 0,45 mg/l) ist nicht dargestellt (beide im Westrich)

Der CSB bzw. Kalium-Permanganat-Index gibt als zusätzlichen Verschmutzungsparameter den oxidierbaren gelösten größten Anteil organischer und anorganischer Stoffe im Wasser in mg/l KMnO_4 an. Er bleibt in der Regel unter dem Grenzwert für Trinkwasser von 5 mg/l. Bei zwölf Quellen liegt der Wert darüber, wobei drei Quellen besonders ins Auge fallen, und zwar Quelle Nr. 0079, 0111 und 2503, welche alle um 20 bis 25 mg/l liegen. Die Interpretation der Werte erfolgt in Kapitel E. Sulfat ist vor allem in den Quellen des Ober- und Mittelrheingraben aufgrund tektonischer Ursachen erhöht. Dies ist typischerweise am Südlichen und Nördlichen Mittelrhein sowie am Haardtrand der Fall. Am Haardtrand liegen nicht selten Schwefelquellen mit höheren Sulfatgehalten, so bei Landau (Nr. 0117) und um Worms (Quelle Nr. 4026). In Quelle Nr. 0117 wurden Gehalte bis 300 mg/l Sulfat bei einem Trinkwassergrenzwert von 250 mg/l gemessen.

Die Kalziumgehalte entsprechen weitgehend den Carbonatgehalten (Abb. D3/14). Die Magnesiumwerte reichen in der Vulkaneifel bis 300 mg/l (Grenzwert: 50 mg/l), am Haardtrand wurden bis über 200 mg/l Magnesium gemessen, am Nördlichen Mittelrhein, im Nordpfälzer Bergland und in der Kalkeifel bis 100 mg/l. Im Pfälzerwald dagegen ist geologisch bedingt praktisch kein Magnesium vorhanden. Der Summenparameter der Erdalkalien entspricht weitgehend den Kalzium- und Magnesiumgehalten (HÜTTER 1994).

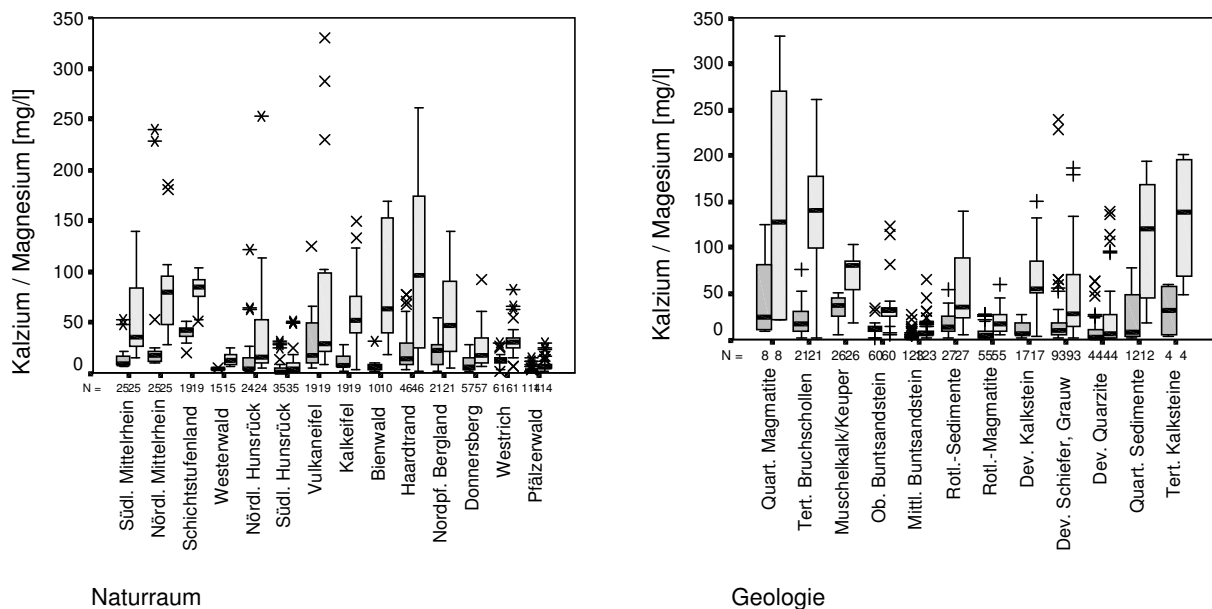


Abb. D3/14: Kalzium- (hell) und Magnesiumgehalte (dunkel) aller Quellen (Naturräume, Geologie)

Von den vielen untersuchten Metallen wird vor allem Kadmium dargestellt (Abb. D3/15), weil bei den anderen die in der Regel geringen Konzentrationen eine graphische Darstellung nicht sinnvoll erscheinen lassen. Erhöhte Kadmiumkonzentrationen fanden sich vor allem im Pfälzerwald (bis 0,8 $\mu\text{g/l}$) und im Südlichen Hunsrück (bis 0,6 $\mu\text{g/l}$), was einen Zusammenhang mit der Versauerung nahe legt (Kap. E). Es wurde eine Korrelation des Kadmiumgehaltes mit dem pH-Wert vor Ort nachgewiesen (Spearman-Rangkorrelation: $p = 0,000$, $r = -0,330$, $n = 490$). Je niedriger also der pH-Wert, desto höher war der Kadmiumgehalt.

Insbesondere im Südlichen Hunsrück und auch im Pfälzerwald wurden höhere Aluminiumgehalte nachgewiesen. Der Mittelwert des Aluminiumgehaltes liegt im südlichen Hunsrück bei 304 $\mu\text{g/l}$, der Maximalwert bei 1730 $\mu\text{g/l}$ (Quelle Nr. 0083). Im Pfälzerwald liegen diese Werte bei 107 $\mu\text{g/l}$ bzw. bei 3550 $\mu\text{g/l}$ (Quelle Nr. 0180). Der Aluminiumgehalt der einzigen untersuchten Sickerquelle im Pfälzerwald beträgt fast 2000 $\mu\text{g/l}$. Ähnlich verhält es sich im Südlichen Hunsrück, wo die höchsten Werte ebenfalls bei sauren Sickerquellen gemessen wurden. Im Bienwald (61,3 $\mu\text{g/l}$) und in der Kalkeifel (70,1 $\mu\text{g/l}$) waren die Aluminiumwerte

ebenfalls etwas erhöht (vgl. Kap. E). Abbildung D3/16 verdeutlicht den Zusammenhang zwischen Aluminiumkonzentration und pH-Wert.

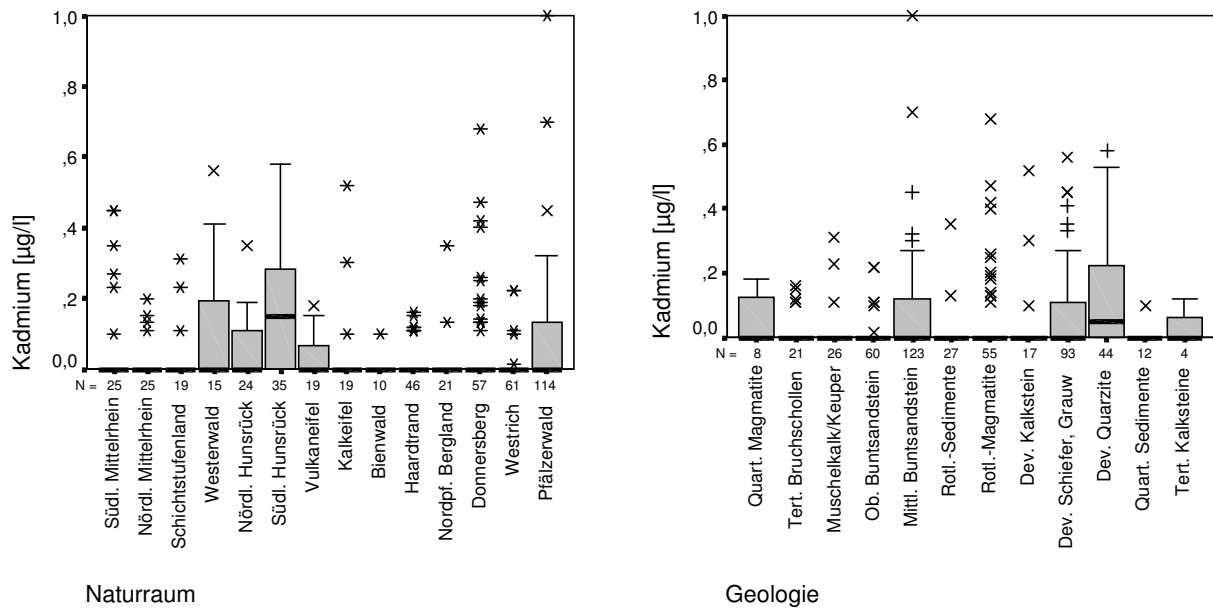


Abb D3/15: Kadmiumgehalt aller Quellen (Naturräume, Geologie)

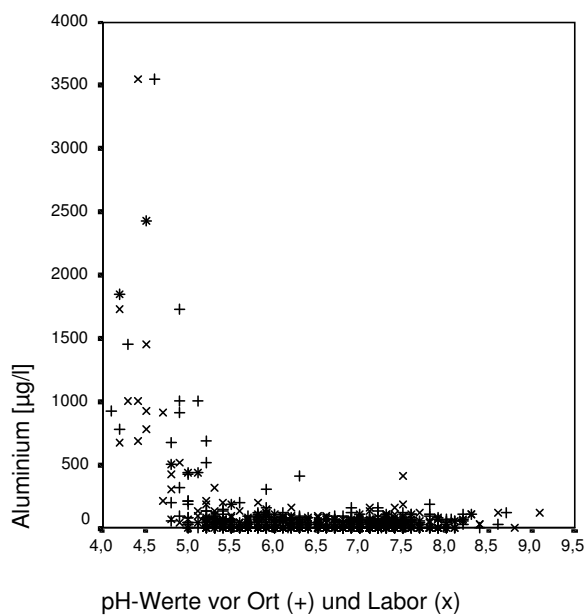


Abb. D3/16: Abhängigkeit des Aluminiumgehaltes vom pH-Wert aller Quellen als Streudiagramm

Die Korrelation zwischen dem pH-Wert und Aluminium ist hierbei höchst signifikant, allerdings bei einem schwachen Zusammenhang (Spearman-Rangkorrelation: $r = -0,195$, $p = 0,000$, $n = 490$). Bei pH-Werten unter pH 5,5 zeigt sich eine starke Zunahme des Aluminiumgehaltes im Quellwasser, da bei diesem pH-Wert das Silikatpuffersystem bereits erschöpft ist und mit dem Übergang zum Austauschpuffer Aluminium frei wird (HOFFMANN 1992). Ein weiterer, starker Anstieg ist mit dem Eintritt in den Aluminiumpuffer ab pH 4,5 zu verzeichnen, so dass der Grenzwert von Aluminium für Trinkwasser ($200 \mu\text{g/l Al}$ nach der EU-Richtlinie) stark überschritten wird. Bereits unterhalb von pH 5,5 können toxische Konzentrationen von Aluminium vorliegen. In versauerten Quellen des Pfälzerwaldes wurden Überschreitungen bis zum 18-fachen des Grenzwertes gemessen.

Der Mangengehalt lag v. a. in einzelnen Quellen der Vulkaneifel (bis zu 5 mg/l) und im Südlichen Hunsrück über dem Grenzwert (0,05 mg/l), im Pfälzerwald und im Nördlichen Hunsrück lagen er geringfügig über der Nachweisgrenze. Es wurde eine Korrelation des Manganwertes mit dem pH-Wert nachgewiesen ($p = 0,000$, $r = -0,259$, $n = 490$), ebenso von Aluminium ($p = 0,000$, $r = -0,159$, $n = 490$) und Nickel ($p = 0,000$, $r = -0,318$, $n = 490$). Bei Nickel ergab sich eine ähnliche Verteilung wie bei Mangan, es wurden bis zu 70 µg/l Nickel festgestellt.

Die Werte für Eisen lagen bis auf wenige Ausnahmen relativ konstant unter der Nachweisgrenze. Höhere Gehalte fanden sich vor allem in einzelnen Quellen des Südlichen Hunsrücks, der Vulkaneifel sowie des Südlichen Mittelrheins bis 26 mg/l. Der Grenzwert für Trinkwasser beträgt 0,2 mg/l. Erhöhte Eisenwerte wurden sonst praktisch nur bei Mineralquellen nachgewiesen. Erkennbar waren diese an orangefarbenen Verockerungen, wenn reduziert Eisen im Quellwasser durch Oxidation bei Sauerstoffkontakt ausfiel. Ähnliches gilt für Mangan, das als Manganocker ausfällt. Es war bei den gleichen, eisenhaltigen Quellen erhöht.

Arsen trat nur ausnahmsweise auf, z. B. an Quelle Nr. 0020 mit 118 µg/l Arsen und Grenzwertüberschreitung (Grenzwert 10 µg/l, geogen bedingt), desgleichen Blei (bis 6 µg/l, Eintrag z. B. durch Strassenverkehr), Bor, Chlorid, Kalium (vor allem in Quelle Nr. 0020), Chrom und Kupfer. Die gemessenen Natriumgehalte lagen meist unter 10 mg/l mit Ausnahme von Quelle Nr. 0020, die knapp 40 mg/l Natrium aufwies. Die Zinkgehalte sind bis auf die Eifel und den Südlichen Hunsrück mit Einschränkungen niedrig, einzelne Quellen aus dem Nördlichen Hunsrück, dem Schichtstufenland, zum Teil auch dem Westrich und dem Pfälzerwald können etwas höhere Werte haben. In der Regel liegen die Werte aber deutlich unter 100 µg/l.

Stellt man nach dem Strukturbewertungsverfahren bewertete Quellen zusammen und vergleicht diese mit wichtigen Parametern der Hydrochemie, ergeben sich unterschiedliche Werte für naturnahe und geschädigte Quellen. Dies gilt insbesondere für stark geschädigte im Vergleich zu naturnahen Quellen (Tab. D3/3, Kap. E). Es zeigte sich, dass naturnahe Quellen im Mittel saurer sind, außerdem besitzen sie eine geringere Leitfähigkeit sowie geringere Nitratgehalte (Tab. 3/3). Diese Unterschiede sind allerdings nur bei der Leitfähigkeit signifikant (ANOVA, $p = 0,000$, $F = 10,42$, $n = 289$).

Tab. D3/3: Zusammenhang zwischen wichtigen hydrochemischen Parametern und den Strukturbewertungsklassen aller Quellen

	naturnah	bedingt naturnah	mäßig beeinträchtigt	geschädigt	stark geschädigt
	Median	Median	Median	Median	Median
pH-Wert	6,05	6,1	6,3	6,45	7
elektr. Leitfähigkeit [mS/cm]	0,11	0,135	0,18	0,155	0,42
Nitrat [mg/l]	3,6	9,35	5	4	10

D 4 Die Fauna von Quellen in Rheinland-Pfalz

D 4.1 Nachgewiesene Arten

Aus Gründen der Übersicht erfolgt eine bewusste Reduzierung auf die aquatische Makrofauna im Sinne von SCHMEDITJE & COLLING (1996), wonach wissenschaftliche Art- und Taxanamen bis auf wenige Ausnahmen benutzt werden. Über Name, ID-Nummer (SCHMEDITJE & COLLING 1996) bzw. Erstbeschreiber und Jahr, die im Anhang aufgeführt werden, sind alle Taxa eindeutig identifizierbar. Es ergaben sich bei aktuellen taxonomischen Änderungen wenige Anpassungen, z. B. bei *Electrogena affinis*. Einige aquatische Taxa sind bei SCHMEDITJE & COLLING (1996) nicht aufgeführt, vor allem Psychodiden und Limoniiden, z. B. *Tonnoiriella pulchra*. Die Determination erfolgte durch den Bearbeiter, wobei für einige Tiergruppen Spezialisten herangezogen wurden, die unsichere Taxa nachdeteminierten bzw. bestätigten. Dies waren Dr. Gunther Seitz (Landshut, Simuliidae), Dr. Franz Hebauer und Dr. Ronald Bellstedt (Grafling bzw. Gotha, aquatische Coleoptera), Dr. Herbert Reusch (Suhldorf, Limoniidae), Peter Neu (Bitburg, Trichoptera) und Prof. Dr. Rüdiger Wagner (limnolog. Flusstation des Max-Planck-Institutes Schlitz, Psychodidae). Zusätzlich wurden Simuliidae dankenswerterweise durch Herrn Dr. Wolfgang Frey (Kaiserslautern) nachdeteminiert. Die Nomenklatur der Fauna entspricht dem aktuellen Stand und der Checkliste der jeweiligen Bearbeiter (Kap. G).

Zusätzlich zur Aufsammlung des Makrozoobenthos wurden an fünf ausgewählten Quellen der Pfalz Emergenzfallen gestellt. Obwohl die Ergebnisse der Emergenzfänge unter den Erwartungen zurückblieben, konnte trotzdem das Artenspektrum ergänzt werden. Dabei wurden neben terrestrischen Taxa vor allem Dipteren der Familien Culicidae, Limoniidae, Tipulidae, Psychodidae, Empididae, Syrphidae, Simuliidae, Bibionidae, Dolichopodidae und Chironomidae gefangen. Sie wurden bis auf die Psychodidae, *Tipula maxima*, *Beris sp.* und *Dixa sp.* oft nicht näher bestimmt. Außerdem wurden wenige Steinfliegen der Gattung *Nemoura* sowie wenige Köcherfliegen und Wassermilben (vgl. Kap. E) gefangen und näher bestimmt. Ein Großteil der Emergenzfänge setzte sich aus terrestrischen Insekten zusammen, die nicht aufgelistet werden, ebensowenig die terrestrische Fauna, die als Begleitfauna bei der Beprobung des Makrozoobenthos auftrat. Es handelt sich hierbei vor allem um Collembolen, Spinnen und Schnecken der feuchten Laubstreu wie *Carychium sp.*, *Discus rotundatus*, *Glomeris marginata*, Oligochaeten u. a.

Bei den Quellen des Quelltypenatlas wurde keine Fauna erhoben, da sich die Arbeit ausschließlich mit der Struktur der Quellen befasste. Aufgrund der praktisch angewandten Zielsetzung bei der Untersuchung von SCHINDLER, GUTENSOHN & HAHN (2002), wo praktisch alle gefassten Quellen der Verbandsgemeinde Dahner Felsenland kartiert wurden, ergab sich eine geringfügig verkürzte Beprobungszeitdauer im Vergleich zu den anderen Untersuchungen. Dies schlug sich zwar in den Taxazahlen nieder, wurde aber bei der Auswertung berücksichtigt (Auswahl der Stichprobe, Median als Lagewert). Da alle faunistischen Untersuchungen ausschließlich durch den Autor durchgeführt wurden und die Probenahme sowie die Determination immer nach den gleichen Kriterien erfolgte (vgl. Kap. C), sind die Daten gut vergleichbar.

Es folgt eine Gesamtartenliste der aquatischen Fauna der kartierten Quellen, wobei quellassozierte (krenobionte und krenophile) Arten fett markiert sind. Krenobionten, die nach den Spezialisten ausschließlich in Quellen vorkommen, sind zusätzlich unterstrichen, der jeweilige Rote-Liste-Status in Klammern angegeben. Erstnachweise nach eigener Recherche und Angaben von Herrn Prof. Dr. R. Wagner für Rheinland-Pfalz sind mit einem •, besondere Nachweise mit einem * gekennzeichnet (Tab. D4/1). Diese verdeutlichen auch den schlechten Bearbeitungsstand für die einzelnen Tiergruppen in Rheinland-Pfalz, besonders bei den Diptera. Die komplette, auf einzelne Quellen aufgeschlüsselte Artenliste ist im Anhang zu finden.

Tab. D4/1: Gesamttaxaliste der faunistischen Kartierung aller Quellen (zur Legende vgl. Text S. 95 unten)

Turbellaria (Strudelwürmer):	Araneae (Webspinnen):	<i>Dryopidae</i> indet.
<u>Crenobia alpina</u>	<i>Dolomedes fimbriatus</i>	Anacaena globulus
<i>Dendrocoelum lacteum</i>	Ephemeroptera (Eintagsfliegen):	<i>Anacaena limbata</i>
<i>Dugesia gonocephala</i>	<i>Baetis muticus</i>	<i>Anacaena lutescens</i>
<i>Dugesia</i> cf. <i>lugubris</i>	<i>Baetis rhodani</i>	<u>Elmis latreillei</u>
<u>Polycelis felina</u>	<i>Baetis</i> sp.	<i>Elmis maugetii</i>
<i>Polycelis nigra</i>	<i>Baetidae</i> indet.	<i>Elmis</i> sp.
<i>Polycelis</i> cf. <i>tenuis</i>	<i>Centropilum luteolum</i>	<i>Elodes</i> sp.
<i>Bdellocephala punctata</i>	<i>Chloeon dipterum</i>	<i>Enochrus melanocephalus</i>
Gastropoda (Schnecken):	<i>Electrogena affinis</i>	<i>Haliplus heydeni</i>
<i>Ancylus fluviatilis</i>	<i>Electrogena lateralis</i>	<i>Haliplus lineatocollis</i>
<u>Bythinella dunkeri</u> (RL 3)	<i>Electrogena</i> sp.	<i>Haliplus</i> sp.
<u>Galba truncatula</u>	<i>Ecdyonurus</i> sp.	<i>Helophorus aquaticus</i>
<i>Gyraulus albus</i>	<i>Leptophlebiidae</i> indet.	<i>Helophorus brevipalpis</i>
<i>Gyraulus crista</i> f. <i>cristatus</i>	<i>Rhithrogena semicolorata</i>	<i>Helophorus flavipes</i>
<i>Lymnaea stagnalis</i>	<i>Rhithrogena germanica</i>	<i>Helophorus</i> sp.
<i>Physa fontinalis</i> (V)	<i>Rhithrogena</i> sp.	<i>Hydraena brittini</i> (V)
<i>Planorbarius corneus</i>	Odonata (Libellen):	<i>Hydraena gracilis</i>
<i>Planorbidae</i> indet.	<u>Cordulegaster bidentatus</u> (RL 1) *	<i>Hydraena melas</i>
<i>Radix peregra</i> / <i>ovata</i>	<i>Cordulegaster boltoni</i> (RL 3)	<u>Hydraena nigrata</u>
<i>Stagnicola</i> sp.	<i>Pyrrosoma nymphula</i>	<u>Hydraena subimpressa</u> (RL 2) *
<i>Gastropoda</i> indet.	Plecoptera (Steinfliegen):	<i>Hydrobius fuscipes</i>
Lamellibranchiata (Muscheln):	<i>Amphinemura</i> sp.	<i>Hydrophilidae</i> indet.
<i>Pisidium casertanum</i>	<u>Diura bicaudata</u>	<u>Hydroporus discretus</u>
<u>Pisidium milium</u> (V)	<i>Leuctra</i> sp.	<u>Hydroporus longulus</u> (RL 3) *
<u>Pisidium</u> cf. <i>obtusale</i> (V)	<i>Leuctridae</i> / <i>Capniidae</i>	<u>Hydroporus melanarius</u>
<u>Pisidium personatum</u>	<u>Nemoura</u> cf. <i>avicularis</i>	<u>Hydroporus planus</u>
<u>Pisidium</u> sp.	<i>Nemoura</i> cf. <i>cambrica</i>	<u>Hydroporus pubescens</u>
Oligochaeta (Wenigborster):	<i>Nemoura</i> cf. <i>cinerea</i>	<u>Hydroporus incognitus</u>
<i>Eiseniella tetraedra</i>	<i>Nemoura</i> cf. <i>flexuosa</i>	<u>Hydroporus ferrugineus</u> *
<i>Enchytraeidae</i> indet.	<u>Nemoura</u> cf. <i>marginata</i>	<u>Hydroporus</u> sp.
<i>Naididae</i> / <i>Haplotaxidae</i> indet.	<i>Nemoura</i> sp.	<i>Limnius perrisi</i>
<i>Limnodrilus</i> sp.	<i>Nemouridae</i> indet.	<i>Laccobius minutus</i>
<i>Tubifex ignotus</i>	<u>Nemurella pictetii</u>	<i>Riolus</i> sp.
<i>Tubifex tubifex</i>	<i>Protonemura</i> sp.	<i>Coleoptera</i> indet.
<i>Tubificidae</i> indet.	<u>Siphonoperla</u> cf. <i>neglecta</i> (RL 2)	Trichoptera (Köcherfliegen):
<i>Oligochaeta</i> indet.	Neuroptera (Netzflügler):	<i>Agapetus fuscipes</i>
Hirudinea (Egel):	<i>Sialis fuliginosa</i>	<i>Agapetus ochripes</i>
<i>Erpobdella</i> sp.	<i>Osmylus fulvicephalus</i>	<i>Agapetus</i> sp.
<i>Glossiphonia complanata</i>	Heteroptera (Wanzen):	<u>Adicella filicornis</u> (RL 3) *
<i>Hirudinea</i> indet.	<i>Corixa</i> sp.	<i>Allogamus auricollis</i>
Crustacea (Krebstiere):	<i>Gerris</i> sp.	<u>Beraea maura</u>
<i>Asellus aquaticus</i>	<i>Microvelia</i> sp.	<u>Beraea pullata</u>
<u>Proasellus cavaticus</u>	<i>Mesovelia furcata</i>	<u>Beraea</u> sp.
<i>Austropotamobius torrentium</i> (RL2)*	<i>Plea leachi</i>	<u>Beraeidae</u> indet.
<i>Gammarus fossarum</i>	<i>Velia caprai</i>	<u>Chaetopterygopsis maclachlani</u> *
<i>Gammarus pulex</i>	<i>Coleoptera</i> (Käfer):	<u>Chaetopteryx major</u> (RL 3)
<i>Gammarus</i> sp.	<i>Agabus bipustulatus</i>	<i>Chaetopteryx villosa</i>
<u>Niphargus</u> sp.	<i>Agabus chalconotus</i>	<i>Chaetopteryx</i> sp.
<i>Ostracoda</i> indet.	<i>Agabus didymus</i>	<i>Chaetopterygini</i> / <i>Stenophylacini</i>
<i>Proasellus coxalis</i>	<u>Agabus guttatus</u>	<u>Crunoecia irrorata</u>
Hydrachnellae (Wassermilben):	<u>Agabus melanarius</u>	<u>Diplectronea felix</u> (RL 2)
<i>Arrenurus</i> sp.	<i>Agabus paludosus</i>	<u>Drusus annulatus</u>
<i>Hydrobates fluviatilis</i>	<i>Agabus sturmi</i>	<i>Drusinae</i> indet.
<i>Hydrachnellae</i> indet.	<i>Agabus</i> sp.	<i>Enoicyla pusilla</i>
	<i>Dryops</i> sp.	<u>Ernodes articularis</u> (RL 2)

D Ergebnisse

- Glyphotaenius pellucidulus*
 Goeridae indet.
Grammotaulius cf. nigropunctatus
Hydropsyche fulvipes
Lasiocephala basalis
Limnephilus auricula
Limnephilus bipunctatus
Limnephilus centralis
Limnephilus extricatus
Limnephilus hirsutus
Limnephilus cf. stigma
Limnephilus sparsus
Limnephilus cf. affinis/ incisus
Limnephilus lunatus
Limnephilus sp.
Limnephilidae indet.
Lithax niger
Micropterna lateralis
Micropterna nycterobia
Micropterna sequax/ lateralis
Odontocerum albicorne
Parachiona picicornis
Philopotamus ludificatus
Philopotamus montanus
Philopotamidae sp.
Plectrocnemia conspersa
Plectrocnemia geniculata
Plectrocnemia sp.
Potamophylax cingulatus
Potamophylax nigricornis
Potamophylax rotundipennis
Potamophylax latipennis/luctuosus
Potamophylax sp.
Ptilocolepus granulatus
***Rhadicoleptus alpestris* (RL 3) ***
***Rhyacophila laevis* (RL 2)**
Rhyacophila fasciata
Rhyacophila cf. philopotamoides
Rhyacophila pubescens
Rhyacophila tristis
Rhyacophila sp.
Sericostoma cf. personatum
Sericostoma sp.
Silo pallipes
Silo nigricornis
Stenophylax permistus
***Stenophylax vibex* (RL 3)**
Stenophylax sp.
- Tinodes assimilis***
Tinodes rostocki
Tinodes unicolor
Tinodes sp.
Wormaldia occipitalis
Wormaldia sp.
Trichoptera indet.
 Diptera (Zweiflügler):
Bazarella subneclecta •
Berdeniella cf. unispinosa •
Berdeniella sp.
Beris sp.
Bezzia sp.
Ceratopogonidae indet.
Chironomus plumosus-Grp.
Chironomus thummi-Grp.
Chironomini indet.
Chironomidae indet.
Clinoceriinae indet.
***Clytocerus ocellaris* •**
Clytocerus sp.
Culicidae indet.
Dicranota sp.
Dixa sp.
Dolichopeza albipes
Dolichopodidae indet.
Eleophila sp.
Ellipteroides sp. •
Empididae indet.
Eristalinae indet.
Eutonia sp. •
***Feuerborniella obscura* •**
***Jungiella sp.* •**
Limoniini indet.
Limoniidae indet.
Milesinae indet.
Molophilus sp.
Neolimnomyia (s. str.) sp. •
Orthocladiinae indet.
Oxycera sp.
Pedicia rivosa
Pedicia sp.
Pericoma trifasciata-Grp.
Peripsychoda sp.
Phylidorea-Grp.
Prionocera sp. •
Procladius sp.
Prodiamesa olivacea
- Prodiamesinae indet.*
Prosimulium tomosvaryi
Pseudolimnophila sp.
Psychoda / Tinearia sp.
Psychodidae indet.
Ptychoptera sp.
Rhypholophus sp.
Satchelliella canescens •
***Satchelliella mutua* •**
***Satchelliella stammeri* •**
Satchelliella trivialis •
Satchelliella sp.
Scleroprocta sp. •
Simulium costatum
***Simulium crenobium* •**
***Simulium cryophilum* ***
Simulium cf. naturale
Simulium urbanum
Simulium trifasciatum
Simulium vernum
Simulium angustitarse
Simulium vernum-Grp.
Simulium sp.
Syrphidae indet.
***Szaboella hibernica* •**
***Telmatoscopus pseudolongicornis* •**
Tabanidae indet.
Tanypodinae indet.
Tanytarsini indet.
Thaumalea sp.
Tipula maxima
Tipula maxima-Grp.
Tipulidae indet.
***Tonnoiriella pulchra* •**
Tonnoiriella sp.
Ulomyia fuliginosa
***Ulomyia undulata* •**
Ulomyia sp.
Diptera indet.
 Vertebrata (Wirbeltiere):
Salmo trutta
Bufo bufo
Rana sp.
***Salamandra salamandra* (V)**
Triturus alpestris
Natrix natrix

Bei der Untersuchung der 310 Quellen wurden insgesamt 292 Arten bzw. höhere Taxa des Makrozoobenthos nachgewiesen. Die durchschnittliche Taxazahl der Fauna pro Quelle betrug 10 Taxa (Median) bei 310 faunistisch untersuchten Quellen. Zusätzlich zur aquatischen Quellfauna wurde eine Begleitfauna aus 25 nicht aquatisch eingestuft, zusätzlichen Taxa aufgenommen (nicht dargestellt). Die maximale Taxazahl aquatischer Taxa betrug 62 und wurde in Quelle Nr. 0152 nachgewiesen, die zu den neun intensiver untersuchten Quellen der Pfalz gehört. Der Median dieser neun Quellen lag bei 46 Taxa.

Nach FISCHER (1996a) und SCHMEDITJE & COLLING (1996) wurden quellasoziierte Arten in Form krenobionter und krenophiler Arten bzw. Taxa differenziert, die nur in Quellen, Quellausläufen und im oberen Quellbach vorkommen, wobei sich zu FISCHER (1996a) Änderungen ergaben, da nach SCHMEDITJE & COLLING (1996) neue Arten hinzugefügt oder deren Bewertung angepasst wurde, z. B. bei *Chaetopterygopsis maclachlani* und *Rhadicoleptus alpestris*. Zusätzlich wurden Arten hinzugefügt, die in beiden Listen fehlen, aber nach Meinung von Spezialisten quelltypisch sind, z. B. *Telmatoscopus pseudolongicornis*. Insgesamt ergaben sich 89 quellasoziierte, davon 24 krenobionte und 65 krenophile Taxa. Der Anteil der quellasoziierten Fauna an der Gesamtf fauna liegt somit bei 30,5 % der Taxa. Die mittlere Zahl der quellasoziierten Arten betrug vier Arten pro Quelle. Der Median der neun intensiver untersuchten Quellen lag dagegen bei 18 Quelltaxa, deren Anteil im Schnitt bei 37 %. Die maximale Anzahl quellasoziiertter Arten von 21 wurde in zwei dieser Quellen erreicht.

Es wurden in den untersuchten Quellen 19 Arten bzw. Taxa erstmalig in Rheinland-Pfalz nachgewiesen. Dies betrifft ausschließlich Dipteren und da vor allem die Familie der Psychodidae (13 Taxa), aber auch die Limoniidae (fünf Taxa) und die Simuliidae (ein Taxon). Diese Erstnachweise sind meist quellasoziiert (zehn Taxa), acht Taxa waren krenophil und zwei krenobiont.

In den Quellen fanden sich insgesamt 19 Rote-Liste-Arten, davon eine Art mit Rote-Liste-1-Status (vom Aussterben bedroht), sechs Arten mit RL 2 (stark gefährdet), sieben Arten mit RL 3 (gefährdet) und fünf Arten der Vorwarnliste. Es wurden Tiere aus allen Zonierungsgruppen nach FISCHER (1996a) nachgewiesen, so der Grundwasserfauna (z. B. *Niphargus sp.*), der typischen Quellfauna (z. B. *Bythinella dunkeri*), der Quellbachfauna (z. B. *Sericostoma personatum*), der Bachfauna (z. B. *Gammarus fossarum*), der Fauna hygropetrica (z. B. *Satchelliella mutua*), der liminarischen Grenzfauna (z. B. *Tipula maxima*), sowie der terrestrisch-hygrophilen Fauna (z. B. *Enoicyla pusilla*). Die in Klammern genannten Arten sind Beispiele aus naturnahen Quellen. Andererseits wurden auch Verschmutzungsanzeiger nachgewiesen, die nur in verschmutzten Quellen häufiger sind, z. B. *Tubificidae* und *Eristalinae*.

Die ökologische Einstufung von 244 nachgewiesenen Taxa nach SCHMEDITJE & COLLING (1996) ist im Anhang detailliert aufgeschlüsselt. Die restlichen 48 Taxa sind nicht in der rund 1500 Taxa umfassenden Liste enthalten. Dies zeigt, dass die Datenlage für quelltypische, aquatische Organismen noch unzureichend ist, so etwa in der Taxaliste nach SCHMEDITJE & COLLING (1996). Im Folgenden wird auf besondere Arten und Quellspezialisten eingegangen, wobei systematisch nach Tiergruppen vorgegangen wird. Es werden ökologische Ansprüche, besondere Arten sowie Erstnachweise für Rheinland-Pfalz erwähnt.

Unter den Turbellarien sind als quelltypische Arten vor allem *Crenobia alpina* (krenobiont) und *Polycelis felina* (krenophil, Abb. D4/1) zu nennen. Zu ihrer Verteilung wird in Kapitel D 4.2 näheres gesagt. Die erste Art ist ein kaltstenothermes, arktisch-alpines Eiszeitrelikt (nach LUDWIG 1989 Vorzugstemperatur 8 °C oder weniger) und kommt vor allem in kalkhaltigem Wasser vor (SCHMEDITJE & KOHMANN 1992). *P. felina* dominiert in ionenarmem Wasser und reicht weiter in Quellbäche hinab. Außerdem ist die Art – obwohl kaltstenotherm - nicht ganz so wärmeempfindlich wie *Crenobia alpina*. Die anderen in Quellen gefundenen Strudelwürmer bleiben Einzelnachweise oder treten nur in geringen Häufigkeiten und Stetigkeiten auf. Sie dominieren normalerweise in Bächen (*Dugesia gonocephala*) oder sind eurytop (*Dendrocoelum lacteum*). *Polycelis nigra* kam in stagnierendem Wasser, aber auch in einer Schwefelquelle vor.

Mollusken sind in den Quellen teilweise stärker vom Kalkgehalt abhängig und deswegen sehr unterschiedlich vertreten. Quelltypisch unter den limnischen Schnecken ist vor allem *Bythinella dunkeri* (Abb. D4/1) als krenobionte und *Galba truncatula* als krenophile Art. *Bythinella* ist als kaltstenothermes Glazi-

D Ergebnisse

alrelikt typisch für unversauerte (Kap. D 4.3.1) und naturnahe oder gering beeinträchtigte (Wald-)Quellen und kommt nur in West- bzw. Südwestdeutschland vor. Bereits weniger Meter nach dem Quellaustritt geht die Art zurück (JUNGBLUTH 1971), falls kein Grundwasserzstrom an der Gewässersohle vorhanden ist (vgl. Kap. D 4.3.3). Die anderen limnischen Schnecken sind entweder für Bäche (*Ancylus fluviatilis*) oder Stillgewässer bzw. langsam fließende Gewässer typisch (*Gyraulus albus*, *Lymnaea stagnalis*, *Planorbarius corneus*) und zeigen zum Teil eine gewisse Verschmutzung bzw. Saprobie an (*Radix*-Arten). Muscheln waren ausschließlich in Form der Gattung *Pisidium* präsent, vor allem die kaltstenotheime Quellart *Pisidium personatum* und als eurytope Süßwasserart *Pisidium casertanum*. Die anderen beiden nachgewiesenen Arten der Gattung bevorzugen Moor- oder kleine Stillgewässer (*P. milium*, *P. obtusale*).



Abb. D4/1: *Polycelis felina* (links) und *Bythinella dunkeri* (rechts)

Oligochaeten wurden nur wenige gefunden und konnten nur selten bis auf die Art bestimmt werden. Sie kommen eher sporadisch in Quellen vor, vor allem als Ubiquisten und Sedimentfresser in feinmaterial- und schlammreichen Quellen, z. B. *Eiseniella tetraedra*. Wenige Arten leben in der Vegetationszone. Die beiden *Tubifex*-Arten sind in größeren Häufigkeiten typisch für verschmutzte Fließgewässer, insbesondere *Tubifex tubifex*. Auch Egel wurden nur in Ausnahmefällen nachgewiesen, sie treten oft in mäßig verschmutzten Gewässern auf (*Erpobdella sp.*), *Glossiphonia complanata* ist ein Ubiquist.

Krebstiere besitzen vor allem in Form von *Gammarus fossarum* wichtige ökologische Funktionen als Zerkleinerer. Die auch in Quellen häufige, montane Art hat ihren Schwerpunkt im Epirhithral, ist also typisch für die obere Bachregion (SCHMEDTJE & COLLING 1996). Die Art ist versauerungsempfindlich. Der nicht so häufig gefundene *Gammarus pulex* kommt eher in langsamer fließendem und wärmerem Wasser vor und hat seinen Schwerpunkt im Hyporhithral (MEIJERING & PIEPER 1982). Die Wasserassel *Asellus aquaticus* zeigt dagegen eine mäßige Belastung an und kam seltener vor. Auch der Ubiquist *Proasellus coxalis* kam ab und zu in Quellen vor. Die Höhlenassel *Proasellus cavaticus* hingegen ist wie der Höhlenflohkrebs *Niphargus sp.* (Abb. D4/2) sowohl stygo- als auch krenobiont, war aber im Verhältnis zu *Niphargus* sehr selten. *Niphargus* schließt sich aufgrund einer Nischenüberschneidung und folgender Konkurrenz mit *Gammarus* häufig aus (vgl. Kap. D 4.3.1). Der seltene, dekapode Steinkrebs *Austropotamobius torrentium* kommt normalerweise in kiesigen, naturnahen Quellbächen vor (LUDWIG 1989), wurde aber in einer mit Quellen durchsetzten Kleingartenanlage gefunden. Weitere Krebstiere sind Ostracoden, die aufgrund der gewählten Methodik aber nur selten gefunden und nicht näher bestimmt wurden.

An Spinnentieren wurden nur wenige Wassermilben, alles Fließgewässer-Ubiquisten, gefunden. Die Wassermilben wurden dankenswerterweise von Herrn Dr. R. Gerecke bestimmt. Bemerkenswert sind Nachweise in Emergenzfallen, was am parasitären Verhalten der Milben liegt. Sie dürften mit ihren Wir-

ten in Form geschlüpfter Dipteren mitgenommen worden sein. Mit den hier benutzten Methoden konnten wegen zu großer Maschenweite des Siebes aquatisch vorhandene Quellmilben nur selten nachgewiesen werden. Als weiteres aquatisch gebundenes Spinnentier konnte in seltenen Fällen die Webspinne *Dolomedes fimbriatus* an Quellen beobachtet werden.

Eintagsfliegen kommen zwar ab und zu in Quellen vor, sind aber ansonsten typisch für Bäche und eher als Gäste in Quellen zu bezeichnen, wenn die Bedingungen demgemäß sind (FISCHER 1994). Es wurden häufig Bergbacharten und Baetiden gefunden. Erstere sind etwa *Rhithrogena*-Arten. Letztere sind Ubiquisten und dominieren normalerweise im Epirhithral. Sie wurden vor allem in offenen Quellen mit üppigem Bewuchs aquatischer Makrophyten kartiert. Ähnliches gilt für *Electrogena*-Arten. Daneben wurden auch ubiquitäre Taxa gefangen, die auch in unteren Fließgewässerregionen vorkommen (*Centroptilum luteolum*, *Chloeon dipterum*, *Ecdyonurus* sp., Leptophlebiidae).

Libellen finden sich nur wenige Arten in Quellen. Hier ist die krenophile und vom Aussterben bedrohte Art *Cordulegaster bidentatus* zu nennen, die im südlichen Pfälzerwald in einer halboffenen Quelle in Misch- bzw. Nadelwald vorkommt. Ihre Schwesterart *Cordulegaster boltoni* (Abb. D4/2) kommt ebenfalls in Quellrinnsalen bis ins Rhithral hinunter vor. *Pyrhosoma nymphula* ist eine Stillgewässerart.



Abb. D4/2: *Niphargus* sp. (links) und *Cordulegaster boltoni* (rechts)

Unter den Steinfliegen finden sich einige krenophile Elemente, so dass die meisten gefangenen Arten typisch für den Quellbachbereich sind. Krenophil sind vor allem *Diura bicaudata* und *Nemoura marginata*, etwas schwächer ausgeprägt *N. avicularis*, *Nemurella pictetii* und die seltene *Siphonoperla neglecta*. Die Gattung *Protonemura* kommt ebenfalls häufig quellnah vor. Steinfliegenarten haben eine relativ weite Spanne mit dem Schwerpunkt im Quellbach, so dass es keine rein krenobionte Steinfliegenart gibt. Die Gattung *Leuctra* wurde wegen unbestimmbarer, früher Stadien nicht näher aufgeschlüsselt.

An Netzflüglern wurde selten die Schlammfliege *Sialis fuliginosa* in verschmutzten Quellen sowie die Bachhaft *Osmylus fulvicephalus* als Uferbewohner von Fließgewässern gefunden.

Die nachgewiesenen Wanzen sind ebenfalls nicht quelltypisch. Sie sind eurytop oder sogar stillgewässertypisch, viele Arten kommen aber auch in Fließgewässern vor. Die meisten Arten leben auf der Wasseroberfläche, wo sie Anflug fressen, so z. B. *Microvelia* sp.

Die Gruppe der Wasserkäfer stellte sich in Quellen als weit artenreicher heraus als zunächst angenommen. Nachbestimmungen fraglicher Arten erfolgten meist durch Herrn Dr. Hebauer. An aquatischen Coleoptera wurden 44 Taxa festgestellt, drei davon sind krenobiont und elf krenophil. Krenobionte Arten waren *Agabus guttatus*, *Hydroporus longulus* und *H. ferrugineus*. Die letzten beiden Arten werden selten gefunden, sie sind kaltstenotherm und azidophil, *H. ferrugineus* zusätzlich semisubterrän. Der stenotope *Agabus guttatus* ist kaltstenotherm, lebt nach KOCH (1989b) vor allem in Waldquellen und ist relativ säuretolerant. Die anderen *Agabus*-Arten sind typisch für vegetationsreiche oder kalte Gräben bzw. Moore. Der krenophile *A. melanarius* ist ebenfalls kaltstenotherm azidophil und ein Vertreter von Waldmooren. Alle *Hydroporus*-Arten wurden als wenigstens krenophil eingestuft, hierzu zählen neben den beiden bereits genannten krenobionten Arten *H. discretus*, *H. melanarius*, *H. incognitus*, *H. planus* und *H. pubescens*. Sie sind entweder kaltstenotherm oder für Moorbiotope typisch, die letzten beiden Arten sind aber mehr oder weniger eurytop. Weiterhin als krenophil hervorzuheben ist *Anacaena globulus* (THIENEMANN 1925), obwohl die Art nach manchen Autoren eine größere Spanne des Vorkommens in Fließgewässern zu haben scheint. Die anderen Vertreter der Gattung sind eurytop. Krenophil ist auch *Elmis latreillei* (Abb. D4/3), ein typischer, kaltstenothermer Vertreter der Quellfauna, der im Lückensystem lebt, nach Ansicht mancher Autoren auch krenobiont (HEBAUER 1992). Ebenfalls krenophil sind die beiden kaltstenothermen *Hydraena*-Arten *H. nigrita* und *H. subimpressa*, der letzte ein seltener Wasserkäfer, der in Deutschland kaum zu finden ist und vermutlich aus Frankreich einstreut (HEBAUER, schriftl. Mitteilung). Er wurde in zwei Quellen gefunden und von unabhängigen Experten determiniert (R. Bellstedt und F. Hebauer). Die anderen *Hydraena*-Arten leben in Mooren oder der oberen Bach- oder Quellbachregion und sind oft mehr oder weniger eurytherm. Die restlichen nachgewiesenen Wasserkäfer sind bis auf die Gattung *Elodes* Arten von Stillgewässern oder eurytope Fließgewässerarten, zum Teil sind sie acidophil (Gattungen *Haliplus*, *Helophorus*, *Hydrobius fuscipes*, *Laccobius minutus*). Die Larven der Gattung *Elodes* fehlen fast nie in naturnahen Quellen, kommen aber auch in Bächen vor. *Limnius perrisi* ist eine typische Oberlaufart, die vom Hypokrenal bis zum Metarhithral vorkommt (HEBAUER 1980).



Abb. D4/3: *Elmis latreillei* (links) und *Crunoecia irrorata* (rechts)

Die Köcherfliegen stellen mit 75 Taxa die zweitgrößte Gruppe in den untersuchten Quellen. Unter ihnen befinden sich acht krenobionte und 23 krenophile Taxa. Die Nachbestimmungen erfolgten durch Herrn Peter Neu. Krenobiont und seltene Arten sind *Adicella filicornis*, *Diplectrona felix*, *Ernodes articularis* und *Rhyacophila laevis*, die letzte Art kommt nach P. Neu (schriftl. Mitteilung) selten auch in anderen Fließgewässerabschnitten vor. *E. articularis* besitzt als hygropetrische Art eine semiterrestrische Lebensweise (FISCHER et al. 1992), über die anderen Arten ist wenig bekannt. *Adicella filicornis* wurde in Rheinland-Pfalz bislang nur fünfmal nachgewiesen (P. NEU, schriftl. Mitteilung). Andere krenobionte Taxa, die häufiger gefangen wurden, sind vor allem *Beraea maura* und *Crunoecia irrorata* (Abb. D4/3),

aber auch *Ptilocolepus granulatus* und *Parachiona picicornis*. Die ersten beiden Arten können als Charakterarten von Quellen bezeichnet werden, die hygropetrische *B. maura* (Abb. D4/4) findet sich ähnlich ihrer krenophilen Schwesterart *B. pullata* vor allem in Falllaub. Hier siedelt auch *Crunoecia*, die in fast keiner naturnahen Quelle fehlt. Laut P. Neu (schriftl. Mitteilung) ist die Art quellasoziiert, kommt aber selten auch in anderen Fließgewässerabschnitten vor. Außerdem ist die hygropetrische Art relativ versauerungsverträglich. *Ptilocolepus granulatus* ist kaltstenotherm und benötigt einen hohen Sauerstoffgehalt, von einigen Autoren wird die Art als hygropetrisch bezeichnet (PITSCH & WEINZIERL 1992), was hier nicht festgestellt werden konnte. Vielmehr wurde die Art ausschließlich in Quellmoos der Gattung *Fontinalis* gefangen, was von anderen Autoren bestätigt wird (DITTMAR 1955 in BURMEISTER 1992). *Parachiona picicornis* kommt in Rieselzonen hygropetrisch vor und gräbt sich bei Trockenheit ins Substrat ein (MALICKY 1973). Besonders erwähnenswert sind weiterhin die seltenen krenophilen Arten *Rhadicoleptus alpestris* (Moorart) und *Chaetopterygopsis maclachlani* (in Moospolstern), für die bislang jeweils nur ein einziger (Imaginal-)nachweis in Rheinland-Pfalz vorlag. *Stenophylax vibex*, *Tinodes assimilis* und *Chaetopteryx major* kommen in Rheinland-Pfalz ebenfalls nur an wenigen Orten in naturnahen Quellen vor. Die restlichen krenophilen Arten sind vor allem typisch für schnellfließende Quellausläufe und kalte Quellbachbereiche mit hohem Sauerstoffgehalt, so *Drusus annulatus*, *Hydropsyche fulvipes*, *Lithax niger*, *Micropterna nycterobia* und *M. lateralis*, *Plectrocnemia geniculata*, *Potamophylax nigricornis*, *Rhyacophila philopotamoides*, *Wormaldia occipitalis* sowie die hygropetrischen Arten *Rhyacophila pubescens* und *Tinodes unicolor*. Die letzte Art besitzt nach SCHULTE & WEINZIERL (1990) eine Vorliebe für Kalk, was bestätigt werden konnte (Kap. D 4.3.1). Eine häufige krenophile Art ist außerdem *Sericostoma personatum*, welche zwar taxonomisch nicht sicher determiniert, aber aufgrund des Lebensraums recht eindeutig angesprochen werden konnte, da ihre Schwesterart praktisch nur im Rhithral vorkommt. Bei den nachgewiesenen Trichopteren der Gattung *Limnephilus* ist nur *L. auricula* krenophil, die anderen Arten der Gattung sind typisch für Quellbäche und Bäche, aber mit einer gewissen Häufigkeit in auch Quellen vertreten. Das eben Gesagte gilt auch für die meisten der restlichen Arten, so dass viele Arten zwar in Quellen vorkommen, aber nicht ausschließlich auf sie beschränkt sind (Oberlaufarten), v. a. *Agapetus fuscipes*, *Philopotamus ludificatus*, *P. montanus*, *Plectrocnemia conspersa*, *Allogamus auricollis*, *Odontocerum albicorne*, *Tinodes rostocki* und die vier *Potamophylax*-Arten. Der Rest ist bachtypisch, kommt in Mooren (*Grammotaulius nigropunctatus*) oder in Stillgewässern (*Glyptotaelius pellucidulus*) vor. Sehr häufig war der ubiquitäre Zerkleinerer *Chaetopteryx villosa*. *Enoicyla pusilla* kommt semiaquatatisch an Quell- und Bachrändern vor, ernährt sich von Falllaub und zeigt aufgrund von Kiemenreduktion eine besondere Anpassung an terrestrische Habitate (EISENBEIS & WICHARD 1985).

Die Dipteren stellen mit 79 Taxa die artenreichste Gruppe an den Quellen. Es wurden sieben krenobionte und 17 krenophile Taxa gefunden. Die „Dunkelziffer“ ist hier allerdings hoch, da etliche Dipteren noch kaum beschrieben und ökologisch kategorisiert sind (vgl. z. B. REUSCH 1994). Aus ersterem Grunde wurden häufig nur Gattungen angegeben. Es wurden fragliche Tiere von drei Familien zur Determination an Spezialisten weitergegeben: die Limoniidae an Dr. H. Reusch, die Psychodidae an Prof. Dr. R. Wagner und die Simuliidae an G. Seitz. Von diesen drei Gruppen wurden auch die meisten Taxa nachgewiesen. Wenige Arten lagen auch den Spezialisten bislang noch nicht vor (z. B. *Eutonia sp.*), so dass Individuen zu taxonomischen Zwecken und zur Präparation eingeschickt wurden. Aufgrund eines fehlenden Rote-Liste-Standes konnten keine Angaben zur Seltenheit gemacht werden, bei besser bearbeiteten Gruppen wie den Psychodidae sind aber auch seltene Arten darunter, z. B. *Feuerborniella obscura*. Bei den Dipteren existiert ähnlich wie bei anderen Tiergruppen eine Quellfauna, deren Vertreter sich aus den unterschiedlichsten Familien zusammensetzen. Bei den 13 Limoniidae kommt nur eine krenophile Art vor (*Molophilus sp.*), wobei in dieser Gruppe der Bearbeitungsstand äußerst dürftig ist. Die Art lebt semiaquatatisch in Quell- und Sumpfbereichen. Über die restlichen zwölf Taxa ist wenig bekannt. *Dicranota* lebt

in faulenden Laub, *Pseudolimmophila* semiterrestrisch in Erlenbrüchern, Bächen und Quellen, *Rhypholophus* kommt in Fallaubschichten sumpfiger Gräben und Erlenbrüchern vor, wobei die Gattung relativ häufig gefunden wurde, was auch für *Dicranota* gilt, die eine häufige Diptere von Quellen und Quellbächen ist. Dies gilt auch für die Gattung *Eleophila*, andere Limoniidae wurden nur sporadisch gefunden. Über diese Gattungen (*Ellipteroides*, *Eutonia*, *Neolimnomyia* s. str., *Phylidorea*-Grp., *Prionocera*, *Scleproprocta*) ist sehr wenig bekannt, die meisten wurden erst kürzlich beschrieben (Erstnachweise). Eindeutig krenobiont sind die beiden Gattungen der Familie Stratiomyidae (Waffenfliegen) *Beris* und *Oxycera*, die im Moosen und an Pflanzenresten hygropetratisch in klarem Quellwasser leben. Hygropetratisch ist auch die krenobionte und detritivore Dunkelmücke *Thaumalea* sp. (Abb. D4/5), die an glatten, überrieselten Felsen und Quellrinnalen vorkommt (WAGNER 1992). Ebenfalls krenobiont ist *Pedicia rivosa*, eine semiterrestrische, carnivore Pediciide, deren Larve in feuchter Laubstreu, Detritus und im Totholz naturnaher Quellen lebt und bis zu 7 cm lang werden kann. Bis zu 8 cm Länge erreicht die Larve von *Tipula maxima*, deren Lebensweise *Pedicia* ähnelt. Die Art kommt aber auch in anderen Feuchtbiotopen vor. Bei den Tipulidae ist *Dolichozepea albipes* als krenophile Spezies zu nennen. Eine sehr wichtige Gruppe mit zum Teil hoher Bindung an Quellen sind die Psychodidae (Schmetterlingsmücken), welche von Prof. Dr. R. Wagner nachbestimmt wurden, was auch Adulte aus den Emergenzfängen betrifft. Krenobiont hierunter ist *Tonnoiriella pulchra* (Abb. D4/4), die einzige Art dieser Gattung, die in Quellen zu erwarten ist (in Flussauen kommt noch *T. nigricornis* vor, WAGNER, schriftl. Mitteilung). Von den gefundenen 23 Psychodiden-Taxa sind 13 Taxa krenophil, nämlich *Clytocerus ocellaris*, *C. sp.*, *Ulomyia fuliginosa*, *U. undulata*, *U. sp.*, *Szaboiella hibernica*, *Telmatoscopus pseudolongicornis*, *Satchelliella mutua*, *S. stammeri*, *Jungiella* sp., *Peripsychoda* sp., *Pericoma-trifasciata*-Grp. sowie *Feuerborniella obscura*. Über die meisten Arten und Taxa ist wenig bis sehr wenig bekannt, zum Teil wurden sie erst kürzlich beschrieben (Erstnachweise). Das wenige, was in Erfahrung gebracht werden konnte, insbesondere über die ökologische Einstufung, beruht auf Angaben von Prof. Dr. Rüdiger Wagner (Schlitz). So wurde erst kürzlich in Luxemburg eine neue Art der *Pericoma-trifasciata*-Grp. gefunden (WAGNER, schriftl. Mitteilung). Psychodiden sind klein und im Freiland nur schwer zu finden, so dass es einiger Übung und ökologischer Habitatkenntnisse bedarf, um die Tiere zu finden. Sie sehen im Detail oft recht außergewöhnlich aus (Abb. D4/4). Sie sind meist hygropetratisch und leben entweder zwischen sich zersetzenden Fallaubstapeln oder in Moospolstern verhakt, wo sie sich von Pflanzenresten ernähren. Viele Arten kommen auch in Bruchwäldern vor, einige sind selten wie *F. obscura*. Andere Psychodidenlarven sind typisch für Bäche, häufig bryofluicol, wenige auch Ubiquisten. Eine weitere, nicht ganz so große Gruppe stellen die Simuliiden (Kriebelmücken), von welcher elf Taxa nachgewiesen wurden. Sie sind alle passive Filtrierer. Krenobiont ist nur *Simulium crenobium* (Erstnachweis) krenophil nur *S. cryophilum*. Die erste Art kommt collinmontan bis alpin vor und zeigt einen Hang zur Fauna hygropetrica (ZWICK 1993). Sie kam in Quellen des Hunsrücks über 500 m Höhe vor. *S. cryophilum* zeigt ein ähnliches Vorkommen wie *S. crenobium*, ist aber als krenophile Art nicht ganz so eng auf Quellen beschränkt. Die kaltstenotherme Art *S. costatum* könnte fast als krenophil eingestuft werden, wenn sie nicht bis ins Rhithral vorstoßen würde. Ähnliches gilt in abgeschwächter Form für *S. naturale*, *S. urbanum*, *Prosimulium tomosvaryi*, *S. trifasciatum* und *S. vernum*. *S. angustitarse* kommt auch in wärmeren Gewässern vor. Die Chironomiden blieben größtenteils unbestimmt, auch weil verhältnismäßig wenig Tiere gefunden wurden. Sie sind an Feinsubstrate gebunden. Häufig waren die Unterfamilien Orthoclaadiinae, Tanypodinae und Tanytarsini. An Ceratopogoniden wurde vor allem die Gattung *Bezzia* gefunden, die carnivor in Feindetritus und Ufernähe lebt. Die Gattungen zweier weiterer Familien *Ptychoptera* und *Dixa* kommen in oberen Bachbereichen am Fließgewässerrand vor, *Dixa* sp. an wasserbenetzten Substraten. Weitere unbestimmte Taxa gehörten zu den aquatischen Familien Dolichopodidae, Empididae, Eristalinae, Milesinae, Syrphidae und Tabanidae. Unbestimmt blieben Dipteregruppen, die vorwiegend terrestrisch leben und meist in die Emergenzfallen gingen.

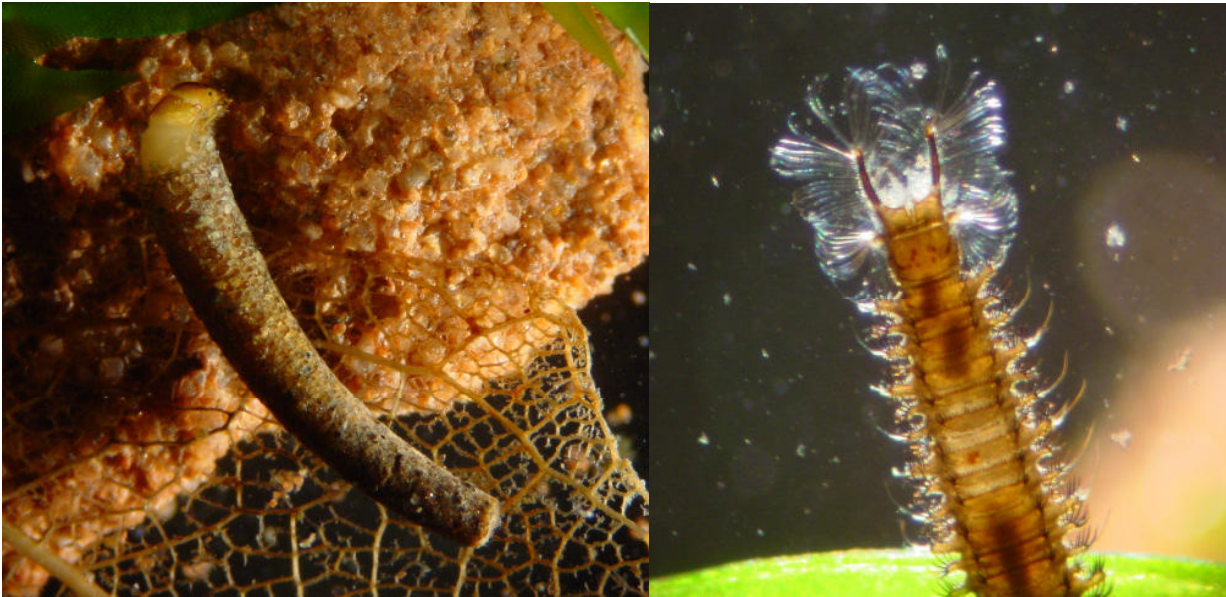


Abb. D4/4: *Beraea maura* (links) und *Tonnoiriella pulchra* (rechts)

Wirbeltiere wurden nur wenige in den Quellbereichen gefangen. Es handelte sich vorwiegend um Larven des Feuersalamanders *Salamandra salamandra*, der bei FISCHER (1996a) als krenobiont eingestuft wird (Abb. D4/5). Sie benötigen sauerstoffreiches, kühles und sauberes Wasser für ihre Entwicklung (NÖLLERT & NÖLLERT 1992). In Ausnahmefällen wurden Forellen (*Salmo trutta*) gesichtet, des weiteren kamen vereinzelt Erdkröten (*Bufo bufo*), verschiedene Frösche (*Rana sp.*) und der Bergmolch *Triturus alpestris* an Quellen vor. In einer großen Sickerquelle (Nasswiese) fand sich ein flüchtendes Exemplar der Ringelnatter *Natrix natrix*. Es sei noch einmal auf die ökologische Typisierung der nachgewiesenen Organismen im Anhang verwiesen, wo neben Angaben der biozönotischen Region die Habitat- und Strömungspräferenz sowie der Ernährungstyp tabellarisch dargestellt sind.



Abb. D4/5: *Thaumalea sp.* (links) und *Salamandra salamandra* (rechts)

Um einen Gesamtüberblick über die gefundenen Taxa zu geben, werden die häufigeren Taxa in einer Präsenz- bzw. Stetigkeitenliste zusammengefasst, wobei die nachgewiesenen Taxa erst bei einer Stetigkeit von mindestens 2,5 % angegeben sind (Tab. D4/2). Quellassoziierte Arten sind fett markiert, Krenobionten, die ausschließlich in Quellen vorkommen, zusätzlich unterstrichen. Die häufigsten Taxa mit einer Stetigkeit > 25 % waren *Polycelis felina*, *Gammarus fossarum*, *Nemoura sp.*, *Crunoecia irrorata*, *Orthocladinae*, *Leuctra sp.*, *Elodes sp.* und *Simulium-vernum-Grp.*

D Ergebnisse

In der Stetigkeitentabelle tauchen eine große Zahl krenobionter und krenophiler Taxa auf, sie werden in Kapitel D 4.5 in Bezug auf Leitarten ausgewertet. Dort wird außerdem eine Stetigkeitenliste ausschließlich für naturnahe Quellen gezeigt. Abbildung D4/6 zeigt die Verteilung der Taxa- und Quelltaxazahlen (krenobionte und krenophile) auf die Quellen, wobei linksschiefe Verteilungen zu erkennen sind.

Tab. D4/2: Stetigkeiten der Gesamttaxa in allen Quellen in %. Es sind ausschließlich Taxa mit einer Stetigkeit > 2,5 % angegeben

<u>Taxon</u>	<u>Stetigkeit</u>	<u>Taxon</u>	<u>Stetigkeit</u>
<i>Polycelis felina</i>	42,58	<i>Drusus annulatus</i>	6,45
<i>Gammarus fossarum</i>	41,94	<i>Plectrocnemia</i> sp.	6,45
<i>Nemoura</i> sp.	38,06	<i>Prodiamesa olivacea</i>	6,45
<u>Crunoecia irrorata</u>	34,84	<u>Agabus guttatus</u>	6,13
<i>Orthocladiinae</i> indet.	34,84	<i>Tipula maxima</i> -Grp.	6,13
<i>Leuctra</i> sp.	25,81	<i>Diptera</i> indet.	6,13
<i>Elodes</i> sp.	25,16	<i>Potamophylax nigricornis</i>	5,81
<i>Simulium vernum</i> -Grp.	25,16	<i>Radix peregra</i> / <i>ovata</i>	5,48
<u>Niphargus</u> sp.	23,23	<i>Nemouridae</i> indet.	5,48
<i>Nemurella pictetii</i>	23,23	<i>Agapetus</i> sp.	5,48
<i>Tanypodinae</i> indet.	23,23	<i>Limoniidae</i> indet.	5,48
<i>Oligochaeta</i> indet.	21,61	<u>Thaumalea</u> sp.	5,16
<i>Anacaena globulus</i>	21,61	<u>Crenobia alpina</u>	4,84
<i>Chaetopteryx villosa</i>	20,32	<i>Bezzia</i> sp.	4,84
<i>Sericostoma</i> sp.	19,35	<i>Ptychoptera</i> sp.	4,52
<i>Sericostoma</i> cf. <i>personatum</i>	18,71	<i>Tipula maxima</i>	4,52
<i>Pisidium</i> sp.	18,39	<i>Baetis rhodani</i>	4,19
<i>Plectrocnemia conspersa</i>	18,39	<i>Mikrovelia</i> sp.	4,19
<u>Bythinella dunkeri</u>	17,10	<u>Oxycera</u> sp.	4,19
<u>Pisidium personatum</u>	16,77	<i>Gammarus</i> sp.	3,87
<i>Protonemura</i> sp.	16,77	<i>Baetis</i> sp.	3,87
<i>Eleophila</i> sp.	16,13	<i>Chaetopterygini</i> / <i>Stenophylacini</i>	3,87
<i>Pisidium casertanum</i>	14,52	<i>Potamophylax cingulatus</i>	3,87
<i>Beraeidae</i> indet.	13,87	<i>Dolichopodidae</i> indet.	3,87
<i>Agabus</i> sp.	13,23	<i>Psychodidae</i> indet.	3,87
<i>Tanytarsini</i> indet.	13,23	<i>Nemoura</i> cf. <i>marginata</i>	3,55
<i>Dixa</i> sp.	12,26	<i>Coleoptera</i> indet.	3,55
<i>Limnephilidae</i> indet.	11,94	<i>Eiseniella tetraedra</i>	3,23
<i>Trichoptera</i> indet.	9,68	<i>Gammarus pulex</i>	3,23
<u>Salamandra salamandra</u>	9,68	<i>Nemoura</i> cf. <i>cinerea</i>	3,23
<i>Dicranota</i> sp.	9,35	<u>Beraea maura</u>	3,23
<i>Chironomidae</i> indet.	9,03	<i>Chaetopteryx major</i>	3,23
<i>Rhypholophus</i> sp.	9,03	<i>Chaetopteryx</i> sp.	3,23
<i>Tipulidae</i> indet.	9,03	<i>Micropterna sequax</i> / <i>lateralis</i>	3,23
<i>Gyraulus albus</i>	8,71	<i>Stenophylax permistus</i>	3,23
<i>Agapetus fuscipes</i>	8,71	<i>Ceratopogonidae</i> indet.	3,23
<i>Micropterna nycterobia</i>	8,06	<i>Satchelliella mutua</i>	3,23
<i>Galba truncatula</i>	7,74	<i>Ulomyia fuliginosa</i>	3,23
<i>Planorbidae</i> indet.	7,74	<i>Helophorus aquaticus</i>	2,90
<i>Dugesia gonocephala</i>	7,42	<i>Stenophylax</i> cf. <i>vibex</i>	2,90
<i>Plectrocnemia geniculata</i>	7,42	<i>Satchelliella</i> sp.	2,90
<i>Gastropoda</i> indet.	6,77		
<i>Pedicia</i> sp.	6,77		
<i>Ulomyia</i> sp.	6,77		

D Ergebnisse

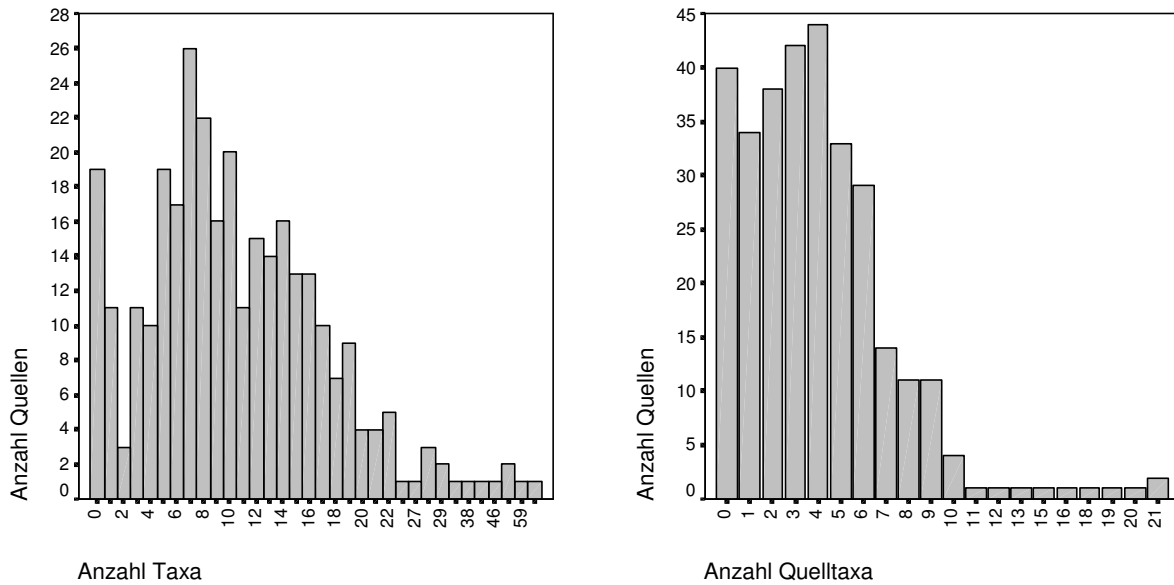


Abb. D4/6: Verteilung der Taxa- (links) und Quelltaxazahlen (krenobionte und krenophile) auf alle Quellen

D 4.2 Naturräumliche Verteilung der Fauna

D 4.2.1 Naturräumliche Übersicht

Die Arbeit von SCHINDLER & HAHN (2000) gibt einen Überblick über die häufigeren Taxa in 14 Naturräumen, wobei dort die Stetigkeiten der gefundenen Taxa pro Naturraum über 25 % und die einzelnen Quellen mit ihren Taxazahlen angegeben sind. Da in den meisten Naturräumen sehr ähnliche Ergebnisse ermittelt wurden, werden die Stetigkeitslisten hier nicht nochmals dargestellt. Stattdessen werden die Naturräume in Bezug auf ihre Artenverteilung zunächst kurz kommentiert.

Der Südliche Mittelrhein zeichnet sich durch eine hohe Abundanz von *Niphargus sp.* aus, was vermutlich mit dem klüftigen Gestein zusammenhängt (Schotter aus Tonschiefer). Die hohe Abundanz an *Gammarus fossarum* sowie von Mollusken (*Galba truncatula*, *Pisidium personatum*, *P. sp.*) zeigt unversauertes Wasser an. Quelltypisch sind *Niphargus sp.*, *Pisidium personatum*, *Crunoecia irrorata*, *Salamandra salamandra* und *Galba truncatula*. In geringerer Stetigkeit findet sich *Crenobia alpina*, *Sericostoma sp.* und *Pisidium casertanum*, die ersten beiden ebenfalls Quellorganismen. Am Nördlichen Mittelrhein ist *Gammarus fossarum* sehr häufig, ansonsten lag eine ähnliche Verteilung der Stetigkeit wie am Südlichen Mittelrhein vor. Einige Köcherfliegenlarven (*Beraeidae indet.*, *Plectrocnemia conspersa*) und Dipterenlarven (*Eleophila sp.*, *Rhypholophus sp.*) sowie *Sericostoma cf. personatum* als quelltypische Arten treten hinzu, während Mollusken in den Hintergrund treten. Die Ursachen hierfür liegen vermutlich im Umfeld der Quellen (Wald mit geringerem Feinmaterialanteil), weniger in der Geologie. Aufgrund ähnlicher Faunenanteile, die auch die statistische Analysen in SCHINDLER & HAHN (2000) bestätigen (Clusteranalyse, Multidimensionale Skalierung), wird das Mittelrheintal als ein faunistischer Quellraum zusammengefasst (gleiche Grundwasserlandschaft).

Im Schichtstufenland dominieren aufgrund des Kalkgehaltes Mollusken (*Pisidium personatum*, *Gyraulus albus*), *Gammarus fossarum*, *Nemoura sp.*, *Simulium-vernum-Grp.* und *Dugesia gonocephala* folgen. *Crenobia alpina* ist ebenfalls noch relativ häufig. Typisch sind aber auch Dipteren und Oligochaten. Häufige Quellarten sind neben den genannten Mollusken *Niphargus sp.* und *Micropterna nyterobia*.

Im Westerwald dominieren neben der Chironomidenfamilie Tanypodinae und Simuliidae Quellbacharten

wie *Plectrocnemia conspersa* oder *Gammarus fossarum*. Es sind aber auch quelltypische Arten wie *Nemurella pictetii* sowie *Anacaena globulus* darunter. Da im Untersuchungsgebiet ein hoher Waldanteil vorherrscht, finden sich viele quelltypisch besiedelte Quellen mit hohen Stetigkeiten der Quellarten *Bythinella dunkeri*, *Pisidium personatum*, *Crunoecia irrorata* und *Sericostoma personatum*. Im Hohen Westerwald wurden keine faunistischen Proben genommen, es dürften aber ähnliche Besiedlungsmuster vorhanden sein. Das Gleiche gilt auch für Teile der Eifel mit Basaltgestein.

Häufig im Nördlichen Hunsrück anzutreffen sind Quellbachbewohner wie *Gammarus fossarum*, *Polycelis felina*, *Protonemura sp.* und Chironomiden sowie Köcherfliegen, die häufig quelltypisch sind. Quellarten sind *Polycelis felina*, *Pisidium personatum*, *Niphargus sp.*, *Crunoecia irrorata*, *Sericostoma personatum* und *Anacaena globulus*. Der Anteil unspezialisierter Taxa ist relativ hoch, wobei oft nur Gruppen-Taxa angesprochen wurden. Der Südliche Hunsrück zeichnet sich zwar ebenfalls durch viele Quellbacharten und unspezialisierte Taxa aus, *Polycelis felina* (große Präsenz), *Anacaena globulus*, *Niphargus sp.* und *Nemurella pictetii* sind quellassoziert. Da hier der Anteil versauerter Quellen besonders hoch ist, fehlen säureempfindliche Arten wie *Gammarus fossarum* oder auch (quelltypische) Mollusken. Dagegen sind *Polycelis felina* sowie Vertreter der Steinfliegen (*Nemurella pictetii*, *Leuctra sp.*) oder auch *Plectrocnemia conspersa* relativ versauerungsunempfindlich, was auch für *Niphargus sp.* gilt. Die unterschiedliche Fauna im Nördlichen und Südlichen Hunsrück ist vor allem auf die Verteilung der beprobten Quellen zurückzuführen, da im nördlichen Hunsrück fast nur Quellen im Tonschiefer und im südlichen Teil fast nur Quellen im Quarzit kartiert wurden. Die beiden Grundwasserlandschaften sind also faunistisch differenziert zu betrachten.

In der Vulkaneifel liegen teilweise extreme Quellwasserbedingungen vor, da natürlicherweise viele Mineralquellen mit hohen Gehalten an Kohlensäure, Eisen oder Mangan vorkommen. Dies wird von vielen aquatischen Tieren nicht toleriert, da der Sauerstoffgehalt vermindert oder das Lückensystem durch Eisenerocker verstopft ist. Deswegen finden sich hier weniger Tiere, obwohl das Umfeld nicht selten naturnah ist (hoher Waldanteil). Als typische Quelltiere „normaler“ Quellen sind *Crunoecia irrorata* und *Niphargus sp.* zu nennen. Des Weiteren finden sich häufig Steinfliegen der Gattung *Protonemura*, der Bachflohkrebs *Gammarus fossarum* sowie Zuckmückenlarven der Familie Tanyptodinae. In der Kalkeifel sind die Metallgehalte geringer, dafür ist das Wasser kalkreicher, was eine große Präsenz kalkliebender Arten wie *Gammarus fossarum*, *Pisidium personatum*, *Pisidium sp.*, *Crenobia alpina* und *Bythinella dunkeri* mit sich bringt. Auch Quellbachbewohner sind häufig. Die Fauna der Kalkeifel setzt sich zusammen aus Wasserkäfern der Gattung *Eloides*, *Crunoecia irrorata*, *Crenobia alpina*, *Bythinella dunkeri*, *Pisidium personatum*, *Niphargus sp.* und *Sericostoma personatum*. Der hohe Anteil an Tümpelquellen dürfte die Häufigkeit des Wasserkäfers *Helophorus aquaticus* bedingen. Vulkan- und Kalkeifel zeigen also unterschiedliche Faunenteile. Die Osteifel wurde faunistisch nicht beprobt, dürfte aber ähnliche Verhältnisse wie Teile der Vulkaneifel mit Ausnahme der extremen Bedingungen in den Mineralquellen aufweisen.

In der Vorderpfalz wurden verschiedene Landschaften kartiert. Im Bienwald konnten aufgrund der besonderen Situation lediglich vier Quellen gefunden und beprobt werden. Es dominierten Mollusken, Gammariden, ferner einige Köcherfliegen- und Dipterenlarven. Als Quellbachspezialisten sind *Micropterna nycterobia*, *Plectrocnemia geniculata* und *Pisidium personatum* zu nennen, ansonsten ist der Ubiquistenanteil sehr hoch. Am Haardtrand sind nutzungsbedingt fast alle Quellen zerstört, so dass von Quellfauna kaum die Rede sein kann. Allerdings kommt der krenobionte Wasserkäfer *Agabus guttatus*, der anscheinend auch in gefassten Becken leben kann, mit großer Stetigkeit vor. Ansonsten setzt sich die aquatische Fauna vor allem aus Mollusken und Dipterenlarven zusammen. Die Fauna oligotropher Quellen und Quellbäche fehlt vollständig, so z. B. Plecopteren. Die östliche Vorderpfalz wurde kaum beprobt und dürfte wegen der intensiven Landnutzung ebenfalls keine naturnahen Quellen mit entsprechender Besiedlung mehr aufweisen.

D Ergebnisse

Im Nordpfälzer Bergland dominieren Dipterenlarven und Oligochaeten, es kommen relativ wenige krenophile Taxa mit höherer Präsenz vor, vor allem *Micropterna nycterobia*. Krenobionte Vertreter wie *Niphargus sp.* und *Crunoecia irrorata* besitzen eine sehr geringe Präsenz, ebenso *Gammarus fossarum*. Grund hierfür sind vor allem landwirtschaftlichen Nutzungen mit Fassungen, Verlegungen usw. Der Donnersberg besitzt als waldreicher Teil des Nordpfälzer Berglandes durch seinen hohen Anteil naturnaher Quellen eine hohe Stetigkeit krenobionter Taxa wie *Crunoecia irrorata*, *Sericostoma personatum*, *Niphargus sp.*, *Beraea maura* und *Pisidium personatum*. Der Anteil krenophiler Taxa war nicht ganz so hoch. Das leicht saure Wasser des Donnersbergs erklärt eventuell das Fehlen von *Bythinella dunkeri*. *Gammarus fossarum* ist jedoch noch häufig anzutreffen. Auch hier bedingt möglicherweise grobes Substrat die Häufigkeit von *Niphargus sp.*, wenn in sauren Quellen Gammariden in den Hintergrund treten. Die Besiedlung im Nordpfälzer Bergland unterscheidet sich vom Donnersberg, wobei die Ursachen weniger in der unterschiedlichen Grundwasserlandschaft liegen dürften als viel mehr in der unterschiedlichen Form der Landnutzung.

Der Westrich ist durch eine relativ intensive landwirtschaftliche Nutzung geprägt. In den bewaldeten Tälern dominiert jedoch Buntsandstein, was den höheren Anteil der Quellfauna erklärt, die sich hauptsächlich aus *Crunoecia irrorata*, *Niphargus sp.*, *Elodes sp.* und *Drusus annulatus* zusammensetzt. *Plectrocnemia geniculata*, *Sericostoma personatum* und die Dunkelmücke *Thaumalea sp.* haben ebenfalls Quellaffinität, kommen aber seltener vor. Der im Vergleich zum benachbarten Pfälzerwald höhere Kalkgehalt des Wassers schlägt sich vor allem in der großen Häufigkeit von *Gammarus fossarum* nieder.

Im pufferarmen Buntsandstein des Pfälzerwaldes ist *G. fossarum* deutlich seltener in Quellen anzutreffen als im Westrich. Es finden sich hohe Stetigkeiten an quellbach- und bachbewohnenden Arten z. B. *Polycelis felina*, *Nemurella pictetii*, *Anacaena globulus*, aber auch von einigen Ubiquisten wie *Chaetopteryx villosa*. Krenobionte Arten sind vor allem *Crunoecia irrorata* und *Bythinella dunkeri*, *Sericostoma personatum* ist ebenfalls häufig, ebenso Salamanderlarven und *Rana*-Arten. Die vielen sauren Quellen der Höhenlagen werden nur von wenigen Tieren wie Steinfliegen der Gattung *Leuctra* oder *Nemurella pictetii* bzw. von *Polycelis felina* besiedelt. In den Tallagen sind die Quellen noch unversauert, dort allerdings häufig gefasst. Wegen der hydrochemischen Bedingungen sind Mollusken im Pfälzerwald relativ selten.

Tabelle D4/3 zeigt Mittelwerte von Taxazahlen der einzelnen Naturräume in einer Übersicht. Hierbei wird der Median präferiert, bei normalverteilten Daten (Taxa von SCHINDLER & HAHN 2000 nach KS-Test mit $p = 0,020$, $n = 180$) ist zusätzlich der Mittelwert angegeben.

Tab. D4/3: Übersicht über Mittelwerte der Taxa- und Quelltaxazahlen (krenobionte, krenophile) aller Quellen der Naturräume (Hoher Westerwald, Osteifel, Rheinhessen nicht beprobt). Die Zahl in der Klammer gibt repräsentative Daten der Untersuchung von SCHINDLER & HAHN (2000) an

Naturraum	Anzahl Taxa			Anzahl Quelltaxa		
	Median	Mittelwert	Maximum	Median	Maximum	N
Südl. Mittelrhein	10	-	22	4	9	15
Nördl. Mittelrhein	12	-	20	3	9	15
Schichtstufenland	14	-	29	3	10	14
Westerwald	19 (16)	(13,7)	27 (22)	7 (7)	11 (11)	14 (10)
Nördl. Hunsrück	11	-	17	3	8	13
Südl. Hunsrück	8	-	20	3	8	21
Vulkaneifel	2	-	15	0	7	11
Kalkeifel	13	-	29	6	10	10
Bienwald	16	-	19	4	6	8
Haardtrand	11 (7)	(8,6)	21 (21)	2 (1)	10 (9)	18 (13)
Nordpf. Bergland	11	-	17	3	6	13
Donnersberg	14 (13)	(12)	49 (19)	5 (6)	19 (19)	13 (10)
Westrich	16 (14)	(13,6)	62 (26)	5 (5)	21 (21)	11 (8)
Pfälzerwald	8 (13)	(11,9)	59 (21)	3 (6)	21 (16)	134 (24)

Bei Betrachtung der Taxazahlen der einzelnen Naturräume (Tab. D4/3) liegen die niedrigsten Werte in der Vulkaneifel, am Haardtrand (Daten von SCHINDLER & HAHN 2000) und im Südlichen Hunsrück (Hochlagen). Wahrscheinliche Ursachen werden in Kapitel E genannt. Die höchsten mittleren Taxazahlen finden sich im Westerwald, Bienwald, Westrich, Schichtstufenland sowie in der Kalkeifel, im Pfälzerwald (SCHINDLER & HAHN 2000) und am Donnersberg. Die Untersuchung von SCHINDLER, GUTENSOHN & HAHN (2002) fokussierte auf gefasste Quellen, weshalb die Artenzahlen trotz der genaueren Untersuchung von drei zusätzlichen Quellen (hohes Maximum) im Pfälzerwald insgesamt niedriger ausfallen als bei SCHINDLER & HAHN (2000). Demgegenüber sind die Zahlen im Westerwald und vor allem in Westrich und am Donnersberg erhöht, was auf die genaueren regionalen Untersuchungen in Naturräumen der Pfalz bzw. im Westerwald zurückzuführen ist. Sind keine Klammern in Tab. D4/3 angegeben, entsprechen sich die Zahlen mit SCHINDLER & HAHN (2000), wegen einiger Nachbestimmungen ergaben sich im Detail geringfügige Änderungen im Nachkommabereich. Abbildung D4/7 gibt eine Übersicht über die Taxazahlen in den Naturräumen der repräsentativen Untersuchung von SCHINDLER & HAHN (2000), wo die Naturnähe der Besiedlung direkt ablesbar ist.

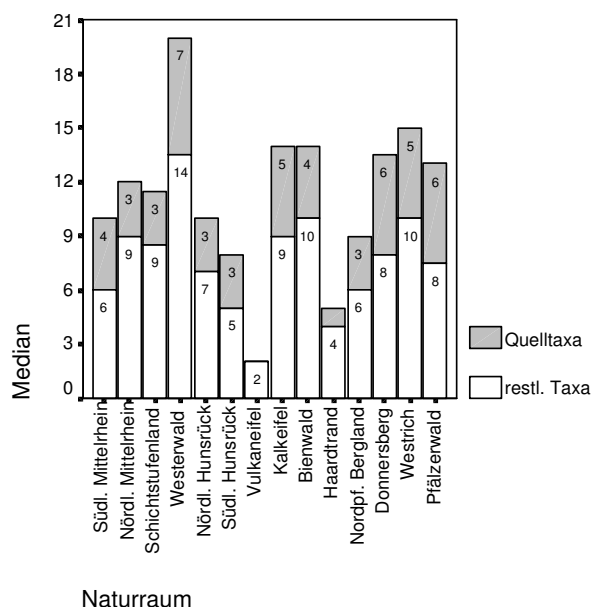


Abb. D4/7: Median der Taxa- und Quelltaxazahl (summiert) pro Naturraum der Untersuchung von SCHINDLER & HAHN (2000)

D 4.2.2 Verteilung ausgewählter Arten

Dieses Kapitel gibt einen Überblick über die Verteilung einiger Arten in den Naturräumen bzw. Grundwasserlandschaften von Rheinland-Pfalz. Es wurden vor allem typische und häufigere Quell- bzw. Quellbachtarten ausgewählt, für die bislang nur wenige Untersuchungen vorliegen. Bei den in den Graphiken dargestellten Werten handelt es sich um den Fehlerbalken der Mittelwerte der transformierten Individuenhäufigkeiten aus den Fauna-Abundanzen (vgl. Kap. C 6, Konfidenzintervall CI = 95 %) da diese den besten Überblick ergaben. Da der Median aufgrund beeinträchtigter Quellen häufig Null und somit wenig aussagekräftig war, wurden im Folgenden als Vergleichswerte Mittelwerte mit Fehlerbalken dargestellt.

Die häufigste quellassozierte Art war *Crunoecia irrorata*. Sie kommt fast flächendeckend in Rheinland-Pfalz vor, lediglich im Bienwald konnte sie nicht nachgewiesen werden (geringe Stichprobenzahl, Abb. D4/8). In tertiären Bruchschollen und quartären Magmatiten wurde die Art nicht gefunden (vgl. Kap. E).

D Ergebnisse

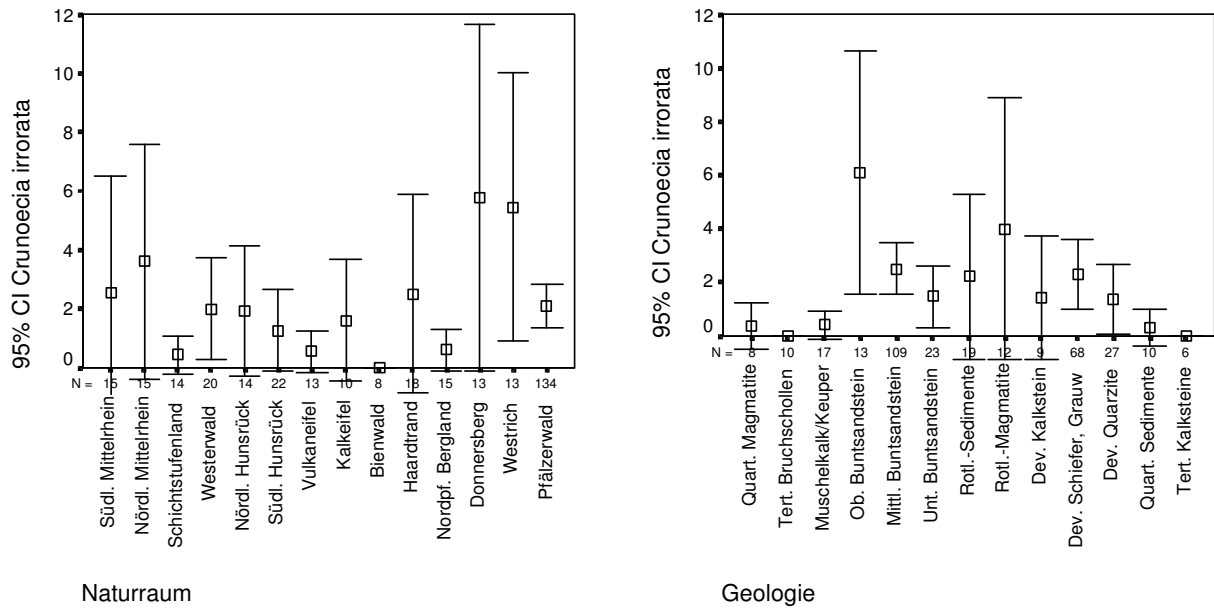


Abb. D4/8: Mittelwerte der Häufigkeit (transformierte Daten) aller Quellen von *Crunoecia irrorata* und Naturraum bzw. Geologie mit Fehlerbalken

Abbildung D4/9 zeigt, dass die beiden quellassozierten Strudelwürmer *Crenobia alpina* und *Polycelis felina* in Rheinland-Pfalz ein relativ getrenntes Vorkommen haben. Die krenobionte und seltenere *C. alpina* kommt nur im Nordteil des Landes vor, während sich *P. felina* vor allem auf den südlicheren Teil von Rheinland-Pfalz konzentriert. Beide Arten treten fast immer getrennt und in verschiedenen Quellen auf. Überschneidungen mit Vorkommen beider Arten finden sich nur in der Eifel und zwar besonders der Vulkaneifel und auch im nördlichen Hunsrück. *C. alpina* fand sich nur in devonischem Kalkstein, devonischem Schiefer, wenig in Muschelkalk/Keuper sowie in Quarzit. In Kapitel D 4.3 wird das Vorkommen einzelner Arten mit der Hydrochemie verglichen.

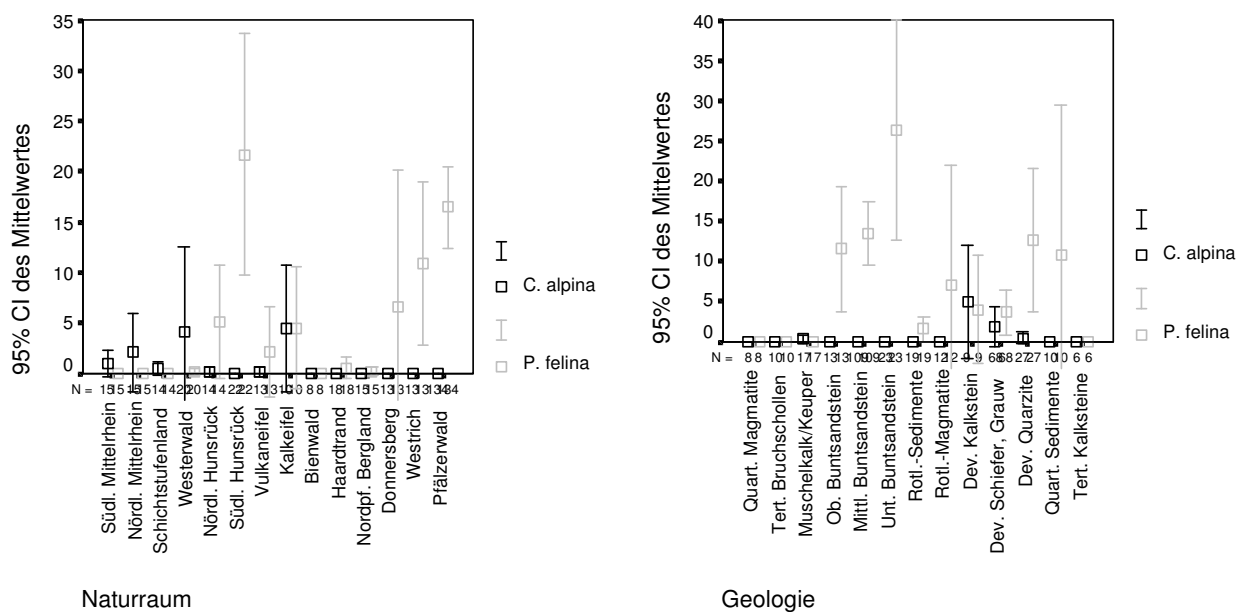


Abb. D4/9: Mittelwerte der Häufigkeit (transf. Daten) aller Quellen von *Crenobia alpina* u. *Polycelis felina* und Naturraum bzw. Geologie mit Fehlerbalken

Niphargus sp. ist vor allem im Hunsrück und am Donnersberg häufig, z. T. auch im Westerwald und im

D Ergebnisse

Nordpfälzer Bergland, kommt aber fast überall vor (Abb. D4/10). Er ist im Verhältnis zu anderen Grundwasserlandschaften besonders häufig in Rotliegend-Magmatiten und übertrifft dort in einzelnen Quellen sogar *G. fossarum*, was noch diskutiert wird (Kap. D 4.3). Der Bachflohkrebs *Gammarus fossarum* ist ebenfalls überall vorhanden und relativ häufig (Abb. D4/10). Geringe Abundanzen finden sich im südlichen Hunsrück und in der Vulkaneifel (hydrochemische Besonderheiten und Versauerung, vgl. Kap. D 4.3).

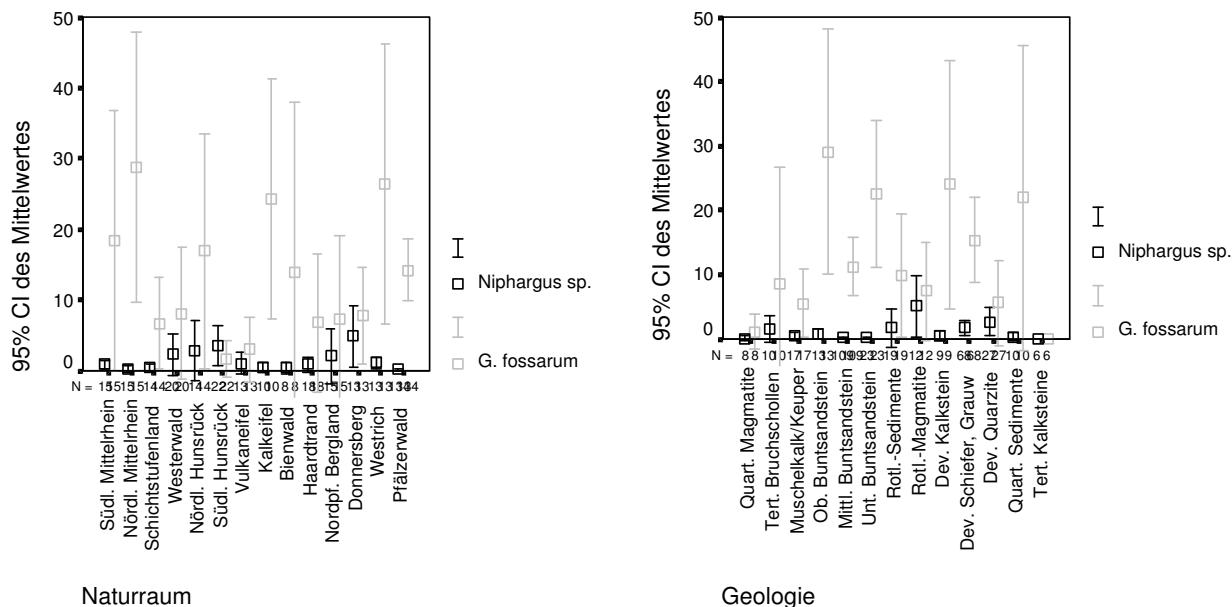


Abb. D4/10: Mittelwerte der Häufigkeit (transformierte Daten) aller Quellen von *Niphargus sp.* und *Gammarus fossarum* und Naturraum bzw. Geologie mit Fehlerbalken

Die Quellschnecke *Bythinella dunkeri* findet sich vor allem in waldreichen Naturräumen und in der Kalk-eifel (Abb. D4/11). Geologisch gesehen entspricht dies Buntsandstein, Rotliegend-Magmatit, Schiefer, quartären Sedimenten und die geringen Häufigkeiten der Abbildung devonischem Kalkstein u. Tanusquarzit.

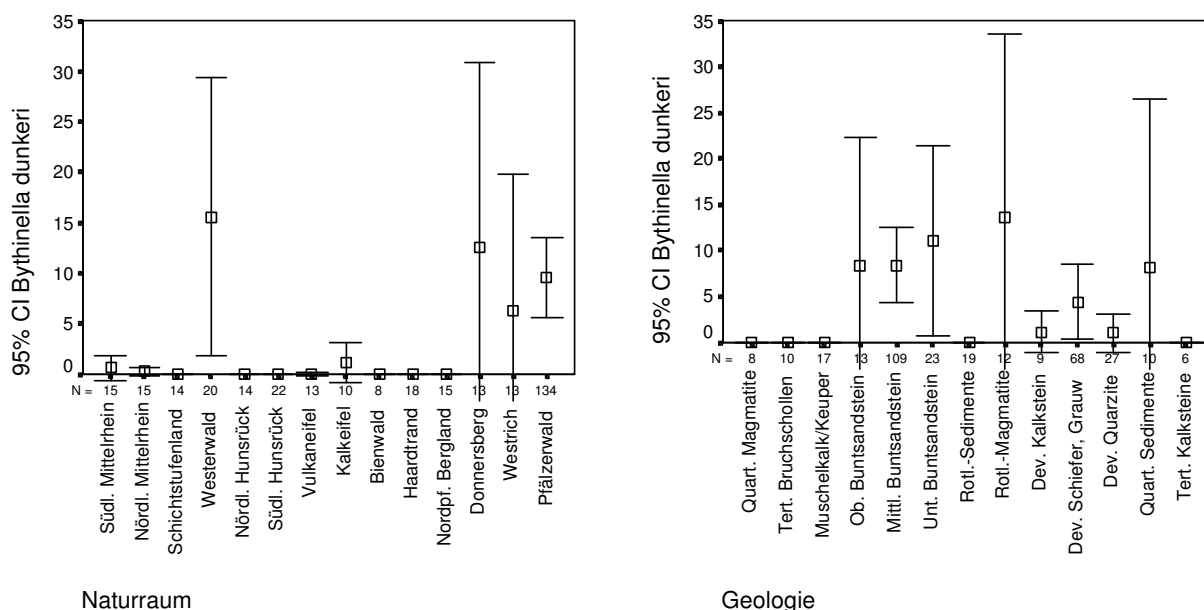


Abb. D4/11: Mittelwerte der Häufigkeit (transformierte Daten) aller Quellen von *Bythinella dunkeri* und Naturraum bzw. Geologie mit Fehlerbalken

D Ergebnisse

Die Quellerbsenmuschel *Pisidium personatum* dominiert dagegen in feinmaterial- und kalkreicheren Naturräumen (Abb. D4/12, vgl. Kap. E), kommt aber fast überall vor. Die Art hat auffällig große Häufigkeiten in Muschelkalk und Keuper sowie in tertiärem Kalkstein, ist aber auch in Schiefer nicht selten. Insgesamt zeigen sich zwischen den beiden Quellarten *Bythinella dunkeri* und *Pisidium personatum* unterschiedliche Vorkommen, die mit ihren speziellen Ansprüchen zusammenhängen (vgl. Kap. E).

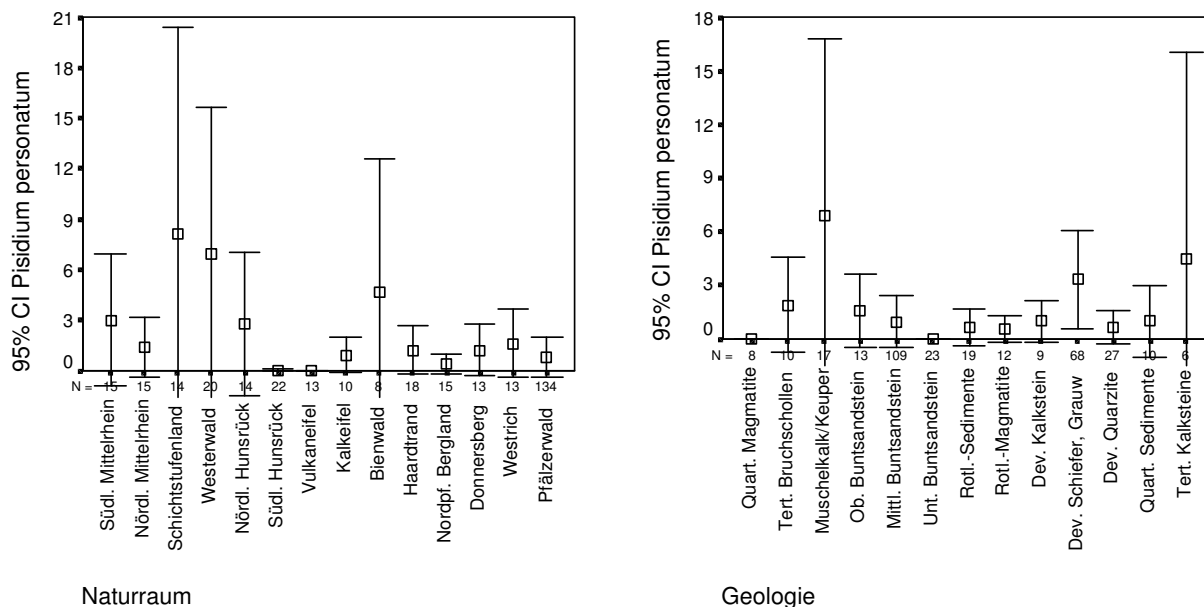


Abb. D4/12: Mittelwerte der Häufigkeit (transformierte Daten) aller Quellen von *Pisidium personatum* und Naturraum bzw. Geologie mit Fehlerbalken

Weniger stetige Quellarten werden hier nicht gezeigt, da zu wenig Stichproben vorhanden sind. Die krenobionten Arten *Salamandra salamandra*, *Agabus guttatus*, *Thaumalea sp.*, *Oxycera sp.*, *Beraea maura*, *Pedicia rivosa*, *Tonnoiriella pulchra* und *Ernodes articularis* häufen sich dabei in bestimmten Naturräumen und geologischen Formationen, insbesondere den gut untersuchten Naturräumen Donnersberg, Westrich und Pfälzerwald, sowie im Schichtstufenland, im Westerwald und im Mittelrheintal. *Beraea maura* fand sich am Donnersberg und im Westerwald, *Thaumalea sp.* vor allem im Westrich, *Ernodes articularis* und *Oxycera sp.* am Haardtrand, letztere auch im Schichtstufenland.

D 4.3 Auswirkung der erfassten Faktoren auf die Fauna

D 4.3.1 Fauna und Hydrochemie

Besonders interessant ist die Auswertung der Fauna in Verbindung mit der Hydrochemie. So lassen sich Taxahäufigkeiten gegen hydrochemische Parameter auftragen, um Präferenzen und limitierende Faktoren aufzuzeigen. Dabei wurden hydrochemische Parameter verwendet, die dem Probezeitpunkt der Fauna entsprechen. Die Hydrochemie wird zwar von der Struktur überlagert, wegen der größeren Stichprobenzahl wurden bei ausgewählten Taxa alle Quellen, bei allgemeinen Auswirkungen auf die Quellfauna aber nur ugefasste Quellen berücksichtigt. Im Folgenden werden einige Arten herausgegriffen, deren Verteilung bei bestimmten hydrochemischen Parametern gezeigt wird.

Zunächst wird auf Korrelationen ausgewählter Taxa mit den Parametern Wassertemperatur, Leitfähigkeit, pH-Wert, Sauerstoffsättigung und Carbonathärte eingegangen. Es ergaben sich keine Korrelationen mit vie-

D Ergebnisse

len seltenen quellassozierten Arten, aber auch mit häufigeren Arten wie *Niphargus sp.*, vielen Wasserkäfern (u. a. *Agabus guttatus*), *Beris sp.*, *Pedicia rivosa*, *Tonnoiriella pulchra* oder *Ernodes articularis*. Andere, vor allem häufigere (Quell-)Arten, korrelierten vor allem mit der Leitfähigkeit und dem pH-Wert, seltener mit der Sauerstoffsättigung oder der Carbonathärte. Ganz geringe Korrelationen mit der Wassertemperatur ergaben sich nur bei *Gammarus fossarum* (Spearman-Rangkorrelation: $r = 0,158$, $p = 0,006$, $n = 299$). Höchst signifikante Korrelationen ergaben sich bei der Leitfähigkeit mit *Crenobia alpina*, *Bythinella dunkeri* und *Oxycera sp.* ($p \leq 0,001$, $n = 289$) und schwächer mit *Salamandra salamandra*. Der pH-Wert korrelierte mit *Crenobia alpina*, *Pisidium personatum*, *Gammarus fossarum*, *Oxycera sp.*, *Simulium crenobium*, *Thaumalea sp.* und schwach mit *Sericostoma personatum*, der Sauerstoffgehalt mit *Crunoecia irrorata*, *Sericostoma personatum* und *Thaumalea sp.*. Korrelationen mit der Carbonathärte ergaben sich bei *Polycelis felina*, *Ana-ceana globulus*, *Crunoecia irrorata* und schwach mit *Bythinella dunkeri* und *Oxycera sp.* Genaue Angaben werden im Folgenden bei ausgewählten Taxa und höchst signifikanten Korrelationen gemacht. Da die Zusammenhänge oft nicht sehr stark waren, sollten die Daten nur als Hinweise interpretiert werden.

Bei *Bythinella dunkeri* ergab sich keine Korrelation mit dem pH-Wert, obwohl die Art unterhalb eines pH-Wertes von pH 5,5 nicht nachgewiesen wurde. Allerdings liegt ihr Schwerpunkt unter pH 7, die höchsten Abundanzen bei etwa pH 6,1. Andere Molluskenarten sind häufig bei höheren pH-Werten zu finden. So etwa *Galba truncatula*, die ihre größten Abundanzen bei pH 7,4 aufweist und unterhalb von pH 7 selten gefunden wurde. *Bythinella* wurde bei Wassertemperaturen zwischen 6,6 °C und etwa 14 °C gefunden, ein bevorzugter Temperaturbereich konnte nicht zugeordnet werden, wenngleich sich um 9 °C die Nachweise geringfügig zu verdichten scheinen. Außerdem wurde die Art nur unterhalb von 4,2 °dH und einer Leitfähigkeit unterhalb von 0,34 mS/cm nachgewiesen. Die Korrelation mit der Leitfähigkeit war negativ (Spearman: $r = -0,206$, $p = 0,000$, $n = 289$), die mit der Härte weniger deutlich. Das Vorkommen der Art bei niedrigen Leitfähigkeiten zeigt Abbildung D4/13 (links).

Pisidium personatum wurde zwischen 1 und 21 °dH nachgewiesen, der Zusammenhang mit der Carbonathärte war nur schwach, der mit dem pH-Wert (Spearman: $r = 0,253$, $p = 0,000$, $n = 289$, Abb. D4/13 rechts) und der Leitfähigkeit ($r = 0,289$, $p = 0,000$, $n = 301$) jedoch stärker. *Pisidium casertanum* kam in ähnlicher Verteilung bis etwa pH 5,1 vor, *P. personatum* war allerdings bei einem leicht saureren pH-Wert etwas häufiger.

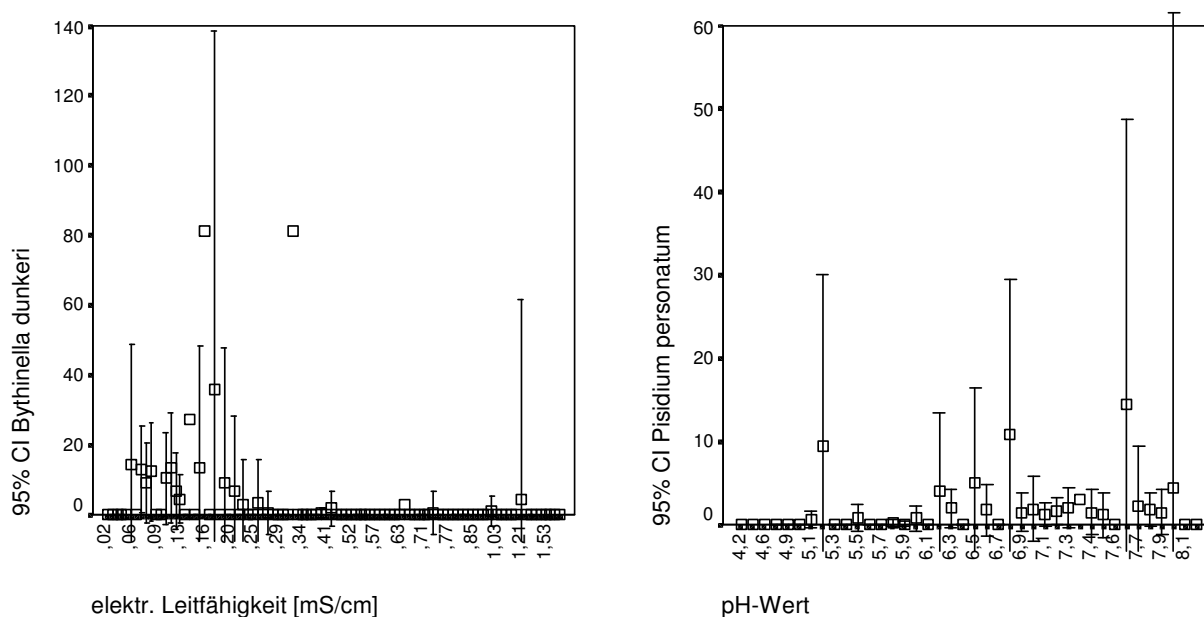


Abb. D4/13: Mittelwerte der Häufigkeit (transformierte Daten) aller Quellen von *Bythinella dunkeri* und pH-Wert vor Ort bzw. von *Pisidium personatum* und der Leitfähigkeit vor Ort mit Fehlerbalken

D Ergebnisse

Abbildung D4/14 zeigt die pH-Wert-Verteilung der Arten *Gammarus fossarum* und *Niphargus sp.* Der Bachflohkrebs *G. fossarum* ist ein typischer Bach- und Quellbachbewohner. Er toleriert pH-Werte bis pH 5,5, was sich mit anderen Befunden deckt (BRAUKMANN 1987). Der Höhlenflohkrebs *Niphargus sp.* ist ein Grundwasserbewohner, der in Quellen ausgeschwemmt wird bzw. tagesperiodische Wanderungen vom Grundwasser in die Quellen und umgekehrt durchführt. Hier kann er überleben, wenn der Konkurrenzdruck durch *G. fossarum* nicht allzu groß ist (WILLIAMS 1991). *Niphargus* kommt bis pH 4,7 vor, toleriert also im Gegensatz zu *G. fossarum* Versauerung. In oberen pH-Bereichen ab pH 7,4 geht *Niphargus sp.* deutlich in der Abundanz zurück, während *G. fossarum* unverändert häufig ist bis etwa zum Maximum der gefundenen Quell-pH-Werte um pH 7,9. Die Korrelation mit dem pH-Wert ist dementsprechend bei *G. fossarum* signifikant (Spearman: $r = 0,319$, $p = 0,000$, $n = 301$). *Niphargus* zeigt dagegen, wie zu erwarten, keine pH-Korrelation.

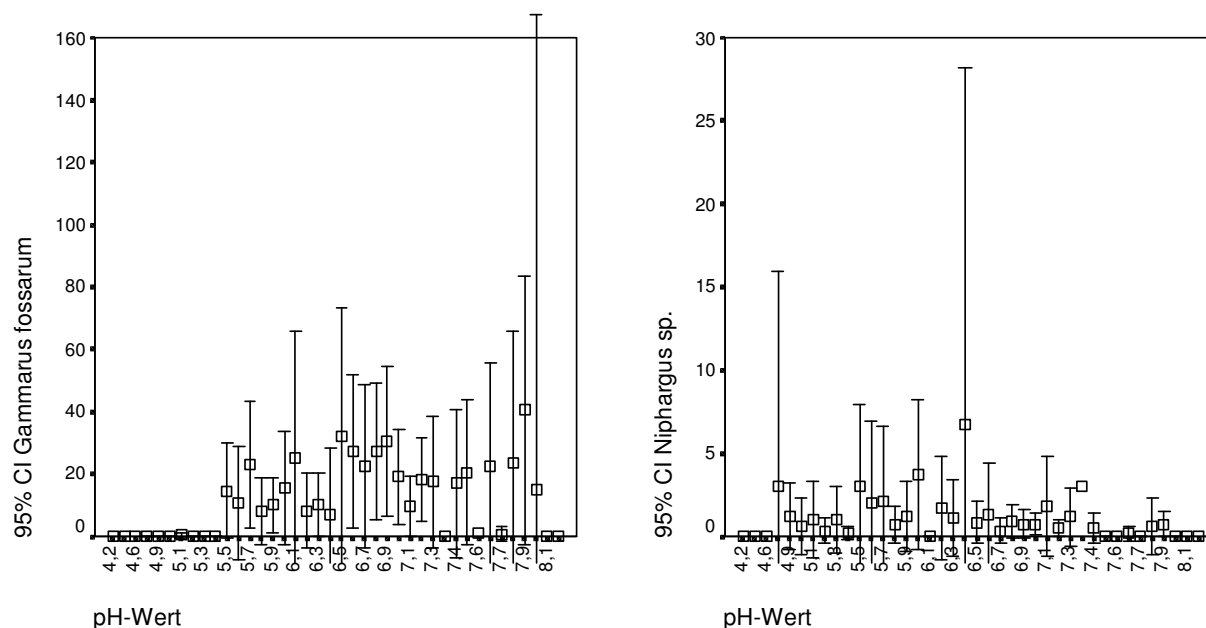


Abb. D4/14: Mittelwerte der Häufigkeit (transformierte Daten) aller Quellen von *Gammarus fossarum* und *Niphargus sp.* und pH-Wert vor Ort mit Fehlerbalken

Betrachtet man das Vorkommen der beiden Turbellarienarten *Crenobia alpina* und *Polycelis felina* im Hinblick auf die Leitfähigkeit und den pH-Wert, zeigen sich signifikante Korrelationen. Kommt *C. alpina* bei höheren Leitfähigkeiten ($r = 0,193$, $p = 0,001$, $n = 289$) und pH-Werten ($r = 0,222$, $p = 0,000$, $n = 301$) vor, so ergaben sich bei *P. felina* negative Korrelationen ($r = -0,492$, $p = 0,000$, $n = 289$ bzw. $r = -0,330$, $p = 0,000$, $n = 301$). *P. felina* kam bis pH 4,7, *C. alpina* erst ab pH 6,2 vor, was eine disjunkte Einnischung bestätigt. Auch bei der Summe der Erdalkalien findet sich eine komplementäre Einnischung in die Hydrochemie. *C. alpina* kommt erst ab einer Summe der Erdalkalien von mehr als 4,4 mg/l vor, *P. felina* dagegen mit größerer Häufigkeit erst unterhalb davon, wobei beide Arten mit dem Parameter korrelieren, *P. felina* allerdings stärker und negativ. Das Gleiche gilt für die Carbonathärte (Abb. D4/15). Dies bestätigt, dass *C. alpina*, die häufiger im Nordteil des Landes anzutreffen war, ionenreicheres Wasser bevorzugt, während *P. felina* im Süden eher in ionenarmem Wasser lebt (pufferarmes Gestein). Allerdings sollen beide Arten noch bei einer gewissen Versauerung vorkommen (SCHÖLL 1989, WESTERMANN, LfW, mündl. Mitt.). Abbildung D4/16 demonstriert anhand *Polycelis felina* die typische Einnischung einer häufigen Quellbachart in die Hydrochemie anhand der Parameter pH-Wert und Leitfähigkeit vor Ort.

Die Quell-Köcherfliege *Crunoecia irrorata* zeigte positive Korrelationen mit der Sauerstoffsättigung (Spearman: $r = 0,183$, $p = 0,002$, $n = 296$) sowie negative mit der Carbonathärte ($r = -0,240$, $p = 0,001$, $n = 191$). Mit dem pH-Wert ergab sich keine Korrelation, d. h. dass die Art in allen pH-Bereichen gefunden wur-

D Ergebnisse

de. Sie kam bis zu einem pH-Wert von 4,9 vor. Die Art ist also (auch) an saure, kalkarme Quellgewässer angepasst und braucht einen höheren Sauerstoffgehalt.

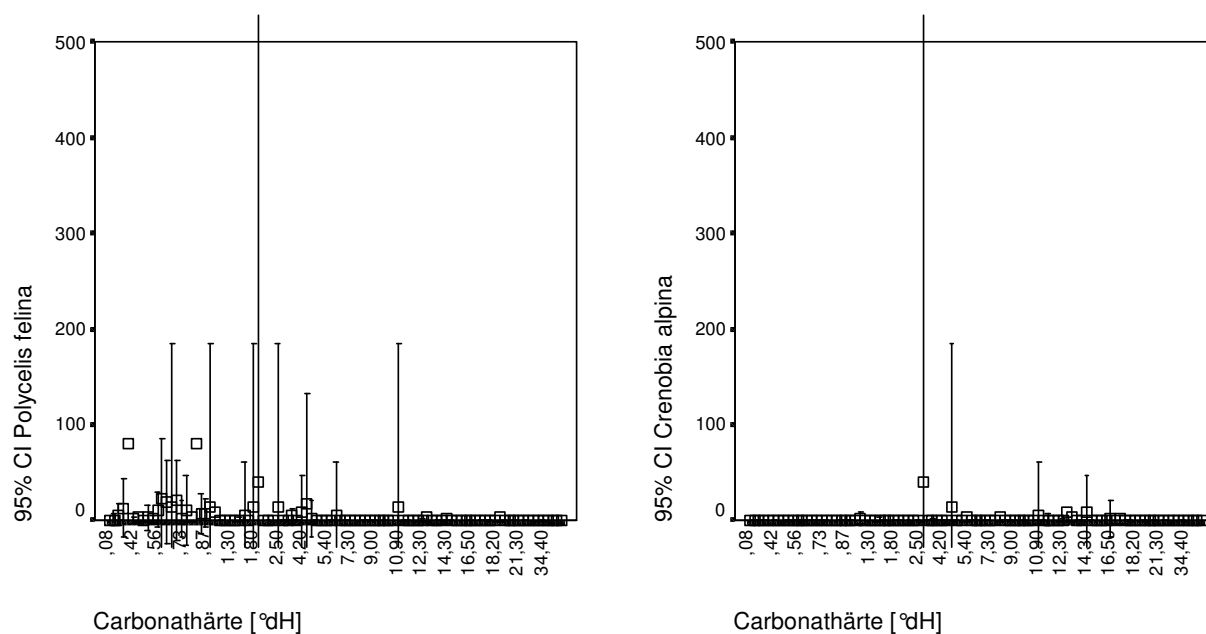


Abb. D4/15: Mittelwerte der Häufigkeit (transformierte Daten) aller Quellen von *Polycelis felina* und *Crenobia alpina* und Carbonathärte mit Fehlerbalken

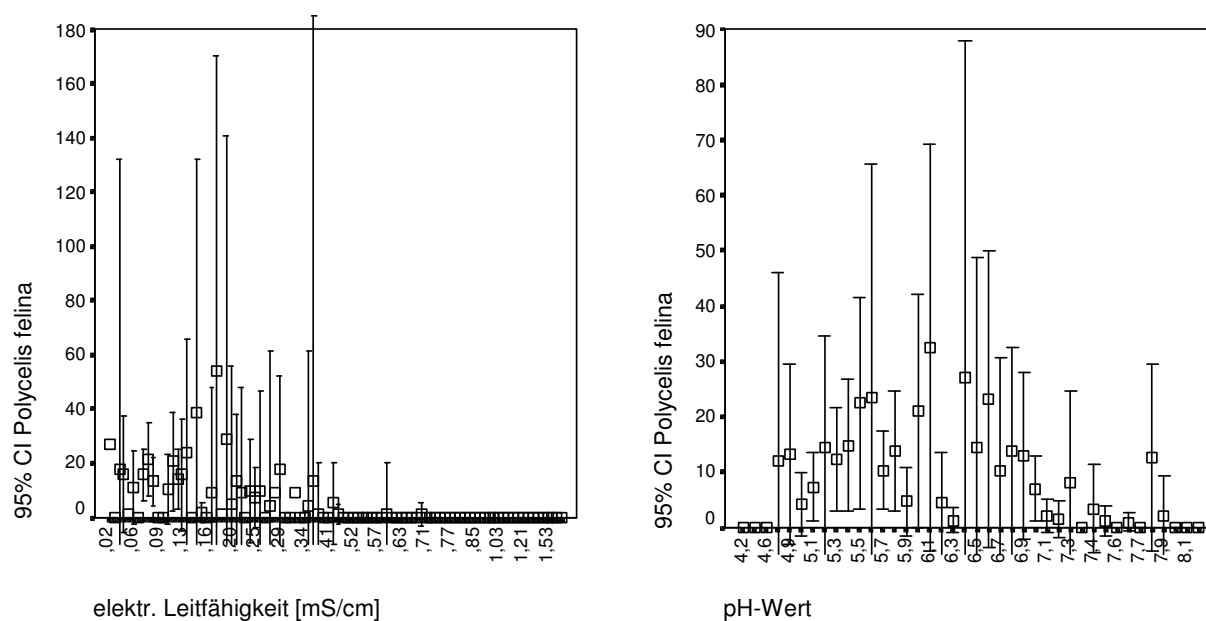


Abb. D4/16: Mittelwerte der Häufigkeit (transformierte Daten) aller Quellen von *Polycelis felina* und pH-Wert bzw. Leitfähigkeit vor Ort mit Fehlerbalken

Weitere Korrelationen ergaben sich zwischen der typischen Quellbachart *Sericostoma personatum* und der Sauerstoffsättigung (Abb. D4/17, links), sowie zwischen der Leitfähigkeit und dem Feuersalamander (vgl. Kap. E). Positive Korrelationen ergaben sich ebenfalls bei den quelltypischen Dipteren *Oxycera sp.* (Leitfähigkeit und pH-Wert) sowie *Thaumalea sp.* (pH-Wert und Sauerstoffsättigung), wobei hier nur wenige Daten vorlagen. Dass auch höhere Aluminiumkonzentrationen von einigen Quellorganismen toleriert werden, zeigt die Quellbachart *Nemurella pictetii* (Abb. D4/17, rechts). Sie kommt bei Aluminiumgehalten bis zu 1000 µg/l vor, und dies noch mit größeren Häufigkeiten (vgl. Kap. E).

D Ergebnisse

Mit den erhobenen Daten können neben Korrelationsanalysen für häufigere Arten Beziehungen zwischen hydrochemischen Parametern und dem Vorkommen seltener, krenobionter und krenophiler Arten hergestellt werden, welche zwar nicht statistisch untermauert werden können, jedoch im Einzelfall wertvolle Hinweise auf die Autökologie dieser Arten geben. Ein Beispiel ist die Köcherfliege *Tinodes unicolor*, welche nur bei höheren Kalkgehalten gefunden wurde. Weitergehende Analysen werden hier nicht durchgeführt, da sie eher für Spezialisten der jeweiligen Tiergruppen interessant sind.

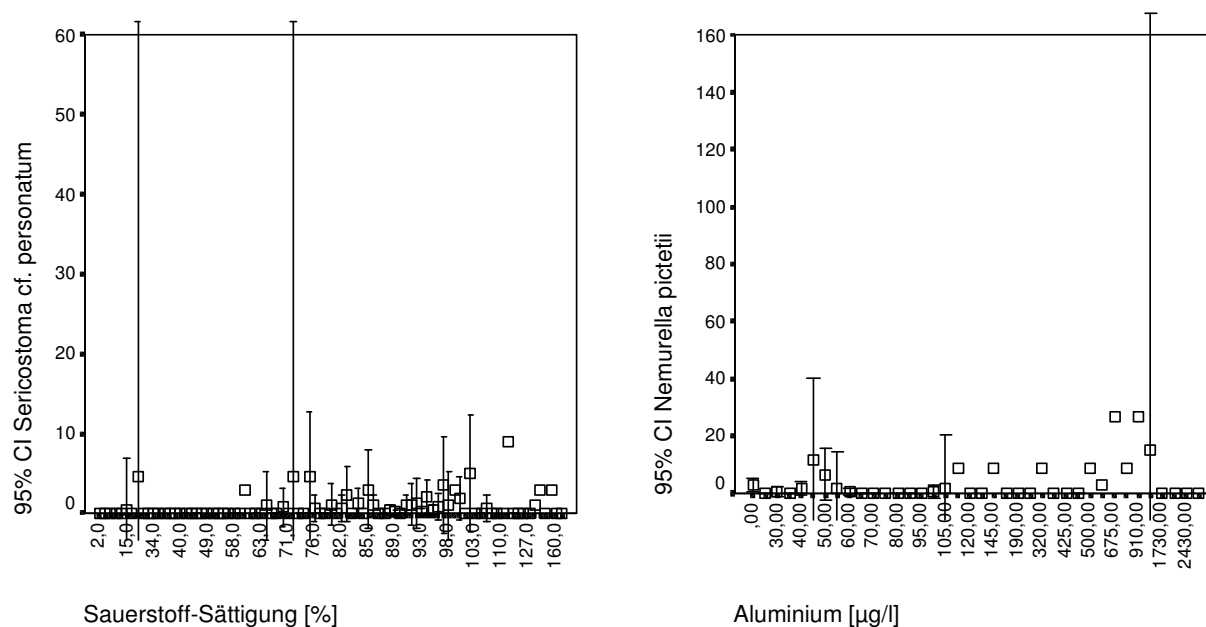


Abb. D4/17: Mittelwerte der Häufigkeit (transformierte Daten) aller Quellen von *Sericostoma cf. personatum* und *Nemurella pictetii* und Sauerstoffsättigung bzw. Aluminiumgehalt mit Fehlerbalken

Im Folgenden wird stattdessen auf hydrochemische Parameter und deren allgemeine Auswirkungen auf die Quellfauna eingegangen. Es werden Parameter dargestellt, für die eine Korrelation mit der Taxazahl oder der Zahl quellassoziierter Taxa gefunden wurde. Für den Vergleich der Taxazahlen mit hydrochemischen Parametern wurden nur die ungefassten Quellen herangezogen, da die Hydrochemie in der Regel durch die Strukturparameter überlagert wird. Es ergaben sich zwar lediglich schwache Zusammenhänge (niedriger R-Wert), diese waren aber teilweise höchst signifikant. Die Kurvenanpassung der gezeigten Regressionsgeraden erfolgte linear und soll nur der Orientierung dienen.

Wichtig für die Quelllebensgemeinschaften ist ein Mindestmaß gelösten Sauerstoffs. Am deutlichsten wird dies, wenn man die Taxazahl gegen die Sauerstoffsättigung aufträgt (Abb. D4/18 links). Allerdings schwanken die Werte recht stark, bedingt durch überlagernde Faktoren wie z. B. Versauerung. Statistisch gesehen konnte aber keine Korrelation zwischen der Taxazahl und der Sauerstoffsättigung nachgewiesen werden.

Von großer Bedeutung für die Besiedlung von Quellen sind versauerungsrelevante Parameter wie pH-Wert, Aluminium- oder Manganengehalt. Das Streudiagramm des pH-Wertes und der Taxazahl (Abb. D4/18, rechts) zeigt, dass die Taxazahl bei einem niedrigeren pH-Wert absinkt, insbesondere ab einem Wert unter pH 5, aber auch über pH 8 (schwächer ausgeprägt). Allerdings sind die Stichproben v.a. in den Bereichen über pH 8 zu klein, um nähere Aussagen machen zu können. Es ergab sich insgesamt aber eine positive Korrelation ($r = 0,207$, $p = 0,000$, $n = 301$). Versauerungskorreliert sind auch Parameter wie Mangan und Aluminium. Bei höheren Aluminiumgehalten sinkt die Taxazahl ab (Abb. D4/19 rechts, $r = -0,191$, $p = 0,007$, $n = 196$). Ab etwa $1000 \mu\text{g/l}$ Aluminium ist dies besonders auffällig. Auch der Zusammenhang zwischen (hohem) Manganengehalt und (niedrigen) Taxazahlen ist schwach, aber höchst signifikant ($r = -0,253$, $p = 0,000$, $n =$

D Ergebnisse

196, Abb. D4/19 links). Mangan ist entweder geogen oder wird ebenfalls bei Versauerung frei. Im Allgemeinen finden sich bei zunehmender Versauerung immer weniger Taxa. In versauerten Quellen fallen säureempfindliche Taxa aus wie *Bythinella dunkeri*, *Pisidium sp.*, *Gammarus fossarum*, *Agapetus fuscipes*. Es dominieren dann versauerungsresistente Taxa wie *Polycelis felina*, *Niphargus sp.*, *Nemurella pictetii*, *Leuctra sp.*, *Plectrocnemia con-spersa*, *Simulium vernum-Grp.*, *Tanypodinae*, *Orthocladinae* und *Agabus sp.*

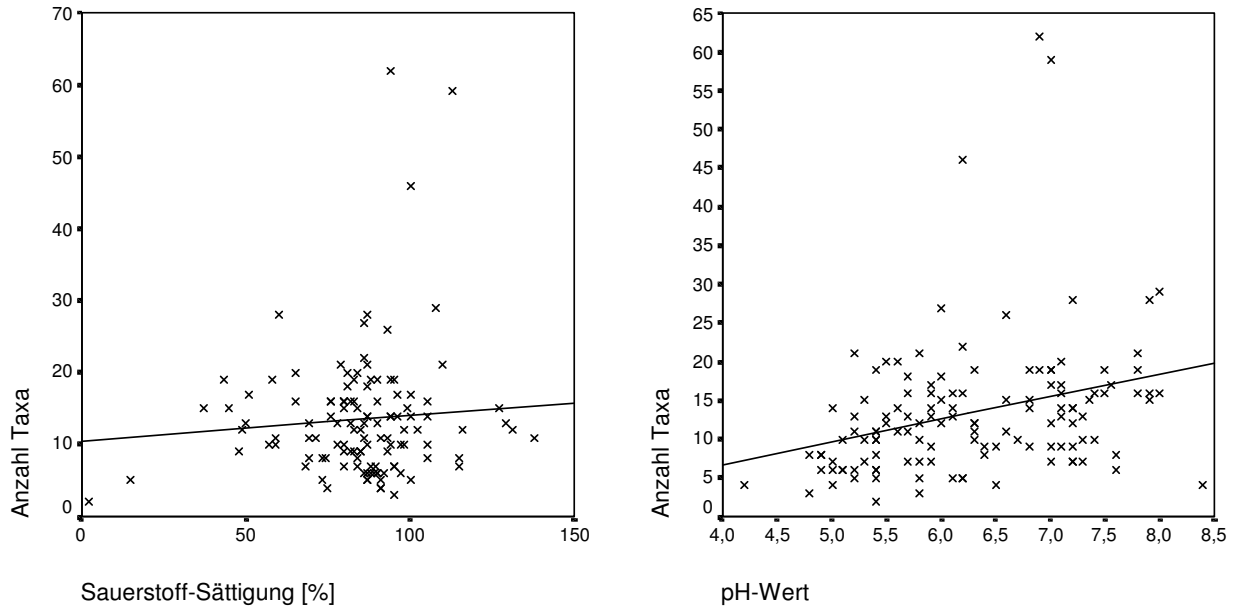


Abb. D4/18: Streudiagramm der Taxazahl und Sauerstoffsättigung bzw. pH-Wert (ungefasste Quellen)

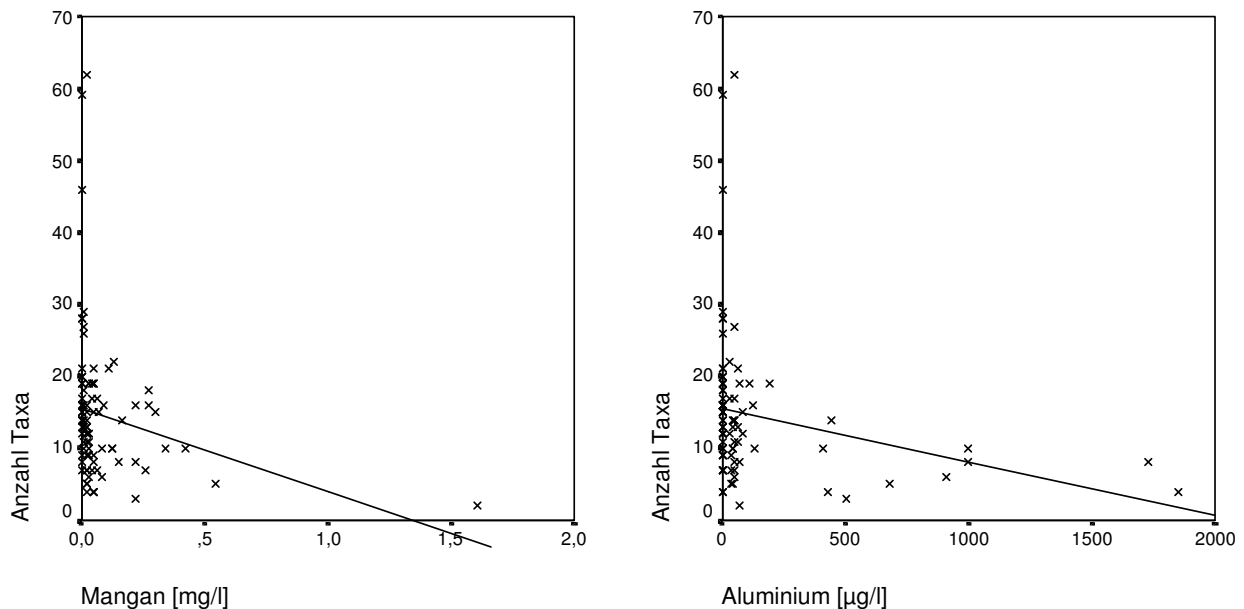


Abb. D4/19: Streudiagramm der Taxazahl und Mangan- bzw. Aluminiumgehalt (ungefasste Quellen)

Bei hohen Eisengehalten zeigen die Taxazahlen einen ähnlichen Verlauf. Eisen wird (zunächst) nicht bei Versauerung frei, sondern fällt vielmehr bei geogenem Vorhandensein gelösten Fe^{2+} , reduzierenden Bodenverhältnisse und nachfolgender Sauerstoffanreicherung aus. Hohe Gehalte im Quellwasser sind in der Regel geologisch bedingt, so in der Vulkaneifel und am Nördlichen Mittelrhein. Da viele Tiere wegen des ausfallenden Ockers hohe Eisengehalte nicht tolerieren, da sich etwa deren Kiemen zusetzen, geht die Taxazahl bei

D Ergebnisse

etwa 1 mg/l Eisen drastisch zurück. Zurück bleiben nur noch Spezialisten, die besondere Anpassungen entwickelt haben, häufig kommen nur noch Luftatmer wie z. B. Wasserkäfer vor. Der Taxarückgang bei Eisen konnte allerdings statistisch nicht bestätigt werden, wahrscheinlich da zu wenige Werte vorlagen.

Mit den Daten von SCHINDLER & HAHN (2000) wurde die Versauerung im Hunsrück anhand von fünf ausgewählten Quellen und Quellbächen näher untersucht. Neben der Taxazahl und den Abundanzsummen wurden die Säureklassen der Probestellen nach LAWA (BRAUKMANN 1993) ermittelt. Es zeigte sich, dass alle Quellen und Quellbäche einige hundert Meter nach dem Austritt die Säureklasse 4 besaßen und als permanent sauer bis stark sauer zu bezeichnen sind. Hierbei ergab sich, dass bei den säurerelevanten hydrochemischen Parametern der pH-Wert am besten mit den berechneten faunistischen Indices korrelierte, so dass in der vorliegenden Arbeit meist der pH-Wert dargestellt und diskutiert wird. Die pH-Werte lagen meist zwischen pH 4,1 bis 5,9, wobei die untersuchten Quellbäche im Hunsrück im Gegensatz zum Pfälzerwald ebenso sauer sind wie die Quellen selbst. Im Pfälzerwald erwies sich das faunistische Verfahren nach LAWA in Quellen als ungenau (FIEDLER-WEIDMANN & HAHN 1996). Im Vergleich der beiden Naturräume Südlicher Hunsrück und Pfälzerwald zeigte sich, dass die Anteile versauerter Quellen < pH 5,5 im Pfälzerwald höher, die Quellanteile mit einem pH-Wert unter pH 5,0 jedoch etwas geringer waren als im Hunsrück. Ein statistischer Zusammenhang der Taxazahlen mit den faunistischen Säureklassen war mit den vorliegenden Ergebnissen im Hunsrück nicht zu ermitteln (zu geringe Stichprobe). Im Pfälzerwald wurden schwache bis mittlere Korrelationen der Indizes mit den Taxazahlen gefunden (vgl. SCHINDLER & HAHN 2000).

Abbildung D4/20 zeigt die die mittlere Zahl Taxa bzw. Quelltaxa (Median), aufgetragen gegen die Ergebnisse des Quellstrukturverfahrens und auf die beiden pH-Klassen der Quellen. Es wird deutlich, dass unversauerte Quellen in praktisch allen Bewertungsklassen eine höhere Artenzahl aufwiesen, bei höheren Schädigungsklassen verkleinert allerdings die Struktur die Auswirkung des pH-Wertes, so dass bereits die Auswirkung der Strukturbewertungsklassen auf die Quelltaxazahl deutlich wird (vgl. nächstes Kapitel D 4.3.2, Abb. D4/31). Stark geschädigte und gleichzeitig versauerte Quellen waren nicht vorhanden (vgl. Kap. E).

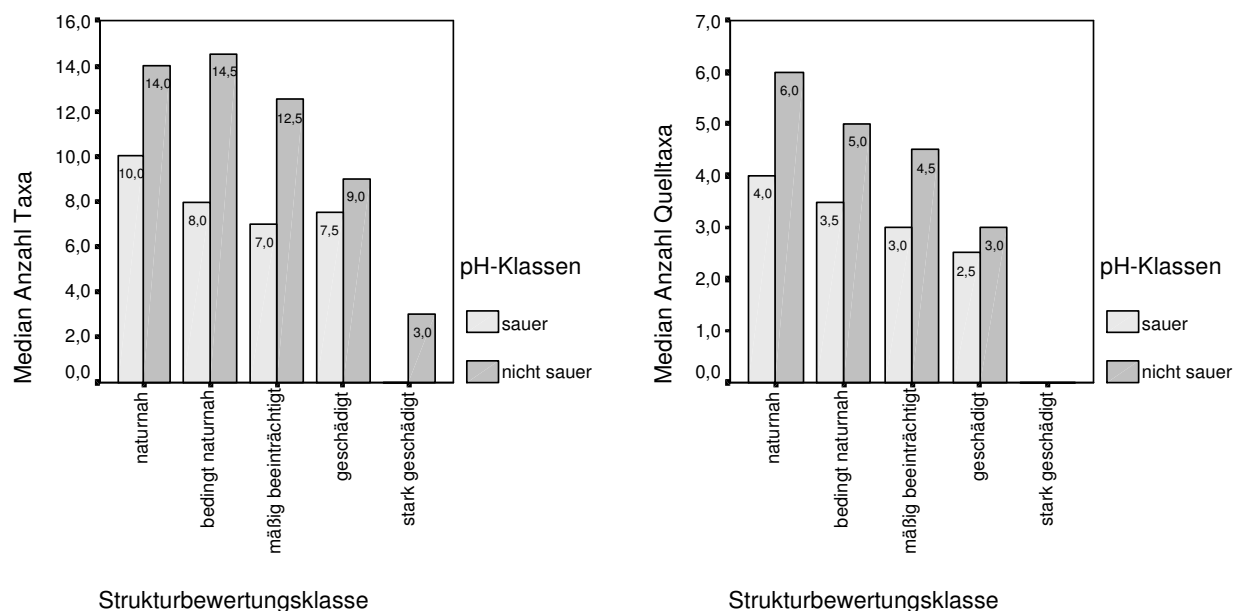


Abb. D4/20: Median der Taxa- und Quelltaxazahl und Strukturbewertungs- sowie pH-Klassen aller Quellen

Zwischen den beiden Versauerungsklassen konnten signifikante Unterschiede nur bei den Taxazahlen (U-Test: $p = 0,008$, $n = 310$), nicht aber bei den Quelltaxa nachgewiesen werden. Um abbildungsschärfere Ergebnisse zu erhalten, wurden drei Klassen gebildet, da die versauerte Klasse zu wenig Taxa enthielt. Die drei

Klassen wurden eingeteilt, indem zwischen pH 5,5 und pH 6,5 eine neue Klasse schwach saurer Silikatquellen gebildet wurde. Nun sieht die mittlere Verteilung der Quelltaxa folgendermaßen aus: in der sauersten Klasse liegt der Anteil der Quellfauna bei 41 %, in der schwach sauren Klasse bei 39 % und in der mehr oder weniger neutralen Klasse bei 34 %. Folglich werden die höchsten Quelltaxazahlen in sauren und schwach sauren Quellen erreicht.

D 4.3.2 Fauna und Struktur

In diesem Kapitel wird insbesondere auf Zusammenhänge zwischen bestimmten Strukturmerkmalen und deren Auswirkung auf die Taxa- und Quelltaxazahl eingegangen. Letztere werden favorisiert, da sie am ehesten einen Überblick über die faunistische Lebensgemeinschaft erlauben, so dass Auswirkungen von Veränderungen auf die aquatische (Quell-)Zoozönose erkennbar werden. Weiterhin werden auch bewusst einige Quellarten herausgegriffen, um deren Abhängigkeit von Strukturmerkmalen zu zeigen.

Eine Verbindung des Abflusses mit der Taxazahl ist wahrscheinlich, da sich erst ab einem Mindestabfluss eine reichhaltige Quellfauna entwickeln kann. Darauf weisen die vorliegenden Daten hin (Abb. D4/21), allerdings ergab sich kein statistischer Zusammenhang mit den Taxazahlen (ungefasste Quellen). Stattdessen ergaben sich Hinweise, dass die Hanglage und der Geländeneigung mit den Taxazahlen zusammenhängt, da diese mit der Schüttung verknüpft sind (vgl. Kap. E). So ergaben sich signifikante Korrelationen mit schwachem Zusammenhang bei allen Quellen. So ergab sich die größte Anzahl Taxa bei starker Geländeneigung und Mittelhangquellen (Median 13), die auch die größte mittlere Quelltaxazahl (Median 5) aufwiesen, gefolgt von Hangfußquellen (11 Taxa, 4 Quelltaxa), Quellen in Tallage (10 Taxa, 4 Quelltaxa) und Oberhangquellen (6 Taxa, 3 Quelltaxa).

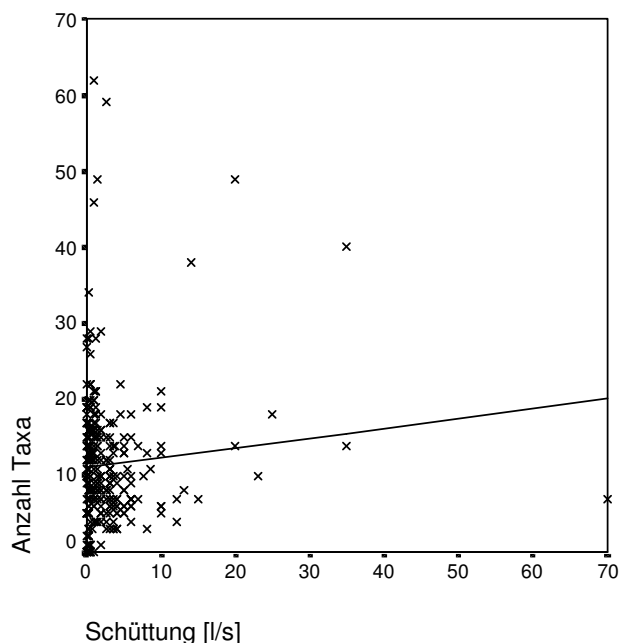


Abb. D4/21: Streudiagramm von Taxa- bzw. Quelltaxazahl und Schüttung aller Quellen

Bei der Größe der Quelle bzw. des Quellbereichs ergaben sich höchst signifikante Korrelationen, die Zusammenhänge sind hier bereits etwas stärker ausgeprägt. Am ehesten ist dies bei der Anzahl der Quelltaxa der Fall (Abb. D4/22, $r = 0,434$ bzw. $0,435$, $p = 0,000$, $n = 298$). Besonders deutlich war dieser Anstieg der mittleren Quelltaxazahl bis etwa 10 m^2 . Auch die Vernetzung einer Quelle ist mit der Taxazahl korreliert. Vernetzte Quellen besitzen vor allem höhere Taxazahlen als unvernetzte ($r = 0,204$, $p = 0,000$, $n = 301$).

D Ergebnisse

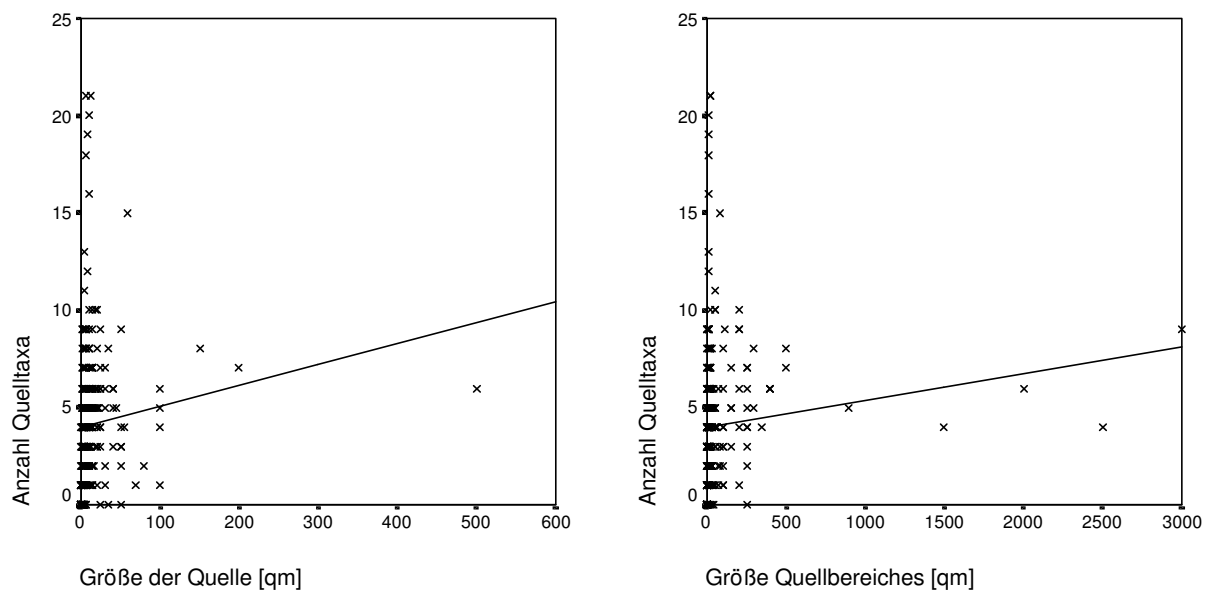


Abb. D4/22: Streudiagramm der Anzahl Quelltaxa u. Größe der Quelle bzw. des Quellbereichs aller Quellen

Ein sehr wichtiger Strukturparameter ist das Kartiermerkmal Fassung. Ist eine Quelle gefasst, so sind durch den Eingriff weniger Taxa zu erwarten. Dies hängt insbesondere vom Alter und vom Zustand der Fassung ab, da eine „Selbstrenaturierung“ durch den längeren Verfall der Fassung stattfindet. Es konnte nachgewiesen werden, dass die Anwesenheit einer Fassung negativ mit der Taxa- und Quelltaxazahl korreliert (Spearman: $r = -0,282$ bzw. $0,325$, $p = 0,000$, $n = 310$). Es ergab sich ein Median der Taxazahl von 12 bei ungefassten und 8 bei gefassten Quellen, entsprechend 4,5 Quelltaxa bei ungefassten und 3 bei gefassten Quellen. Auch die Art der Fassung korrelierte mit der Quelltaxazahl ($r = -0,200$, $p = 0,000$, $n = 310$). Abbildung D4/23 zeigt die Ergebnisse für die Fassungen des jeweiligen Verbaugrades und Alters. Neue Fassungen wiesen die geringste Besiedlung auf, alte und verfallene Fassungen waren dagegen deutlich stärker besiedelt.

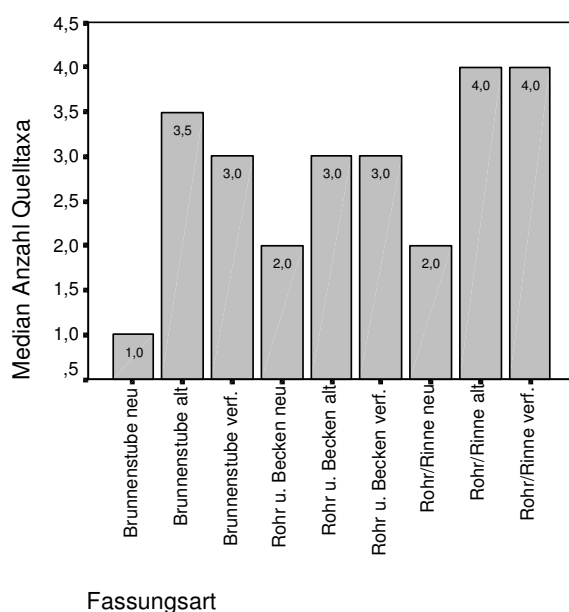


Abb. D4/23: Anzahl Quelltaxa (Median) und Art der Fassung aller Quellen (verf. = verfallen)

Weitere wichtige Schadstrukturparameter in Bezug zur Taxazahl sind die Verlegung und die Verrohrung der Quelle (Spearman: jeweils $p = 0,000$, $n = 306$ bzw. 308). Allerdings waren die Zusammenhänge schwach (r

D Ergebnisse

= 0,228 bzw. 0,313). Stark verrohrte Quellen besaßen eine mittlere Taxazahl (Median) von 5, mittel verrohrte eine Taxazahl von 9 und gering verrohrte von 11,5 Taxa. Verbau war zwar ebenso signifikant negativ mit der Taxazahl korreliert wie die Fassung, wies aber einen schwächeren Zusammenhang auf ($r = -0,231$). Aufstau und künstliche Abstürze ergaben keine Korrelationen mit den Taxazahlen, ebenso Ablagerungen und Einleitungen, dagegen korrelierte die Zahl der Infrastruktureinrichtungen mit der Abnahme der Taxa- bzw. Quelltaxazahl (Spearman: $r = -0,263$ bzw. $0,277$, jeweils $p = 0,000$, $n = 304$).

Mit der Fassung zusammenhängend und für die Lebensgemeinschaften einer Quelle ebenfalls sehr wichtig ist die Anzahl der Substrattypen. Sie ist höchst signifikant positiv mit der Taxa- bzw. Quelltaxazahl korreliert und weist im Verhältnis zu bisher genannten Strukturen einen stärkeren Zusammenhang auf ($r = 0,476$ bzw. $0,463$, $p = 0,000$, $n = 303$, Abb. D4/24). Je höher die Zahl der Substrattypen, desto höher war die Zahl nachgewiesenen Taxa. Quellen mit zehn Substrattypen wiesen die höchste mittlere Taxazahl (Median 15) bzw. Quelltaxazahl (Median 7) auf.

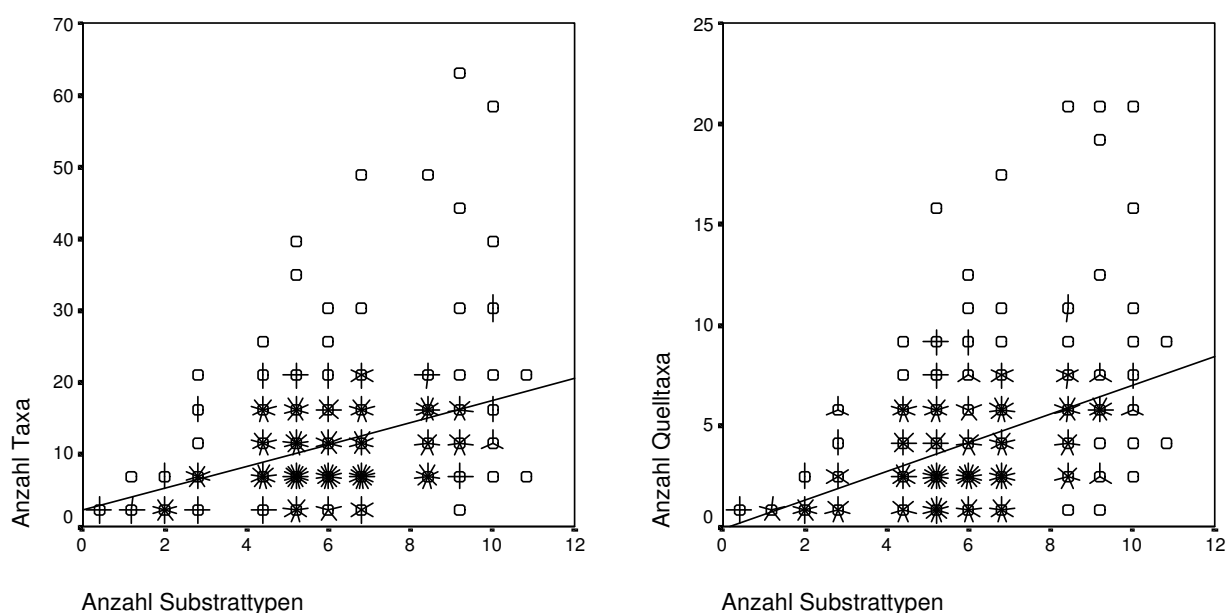


Abb. D4/24: Streudiagramm d. Taxa- bzw. Quelltaxazahl und Anzahl Substrattypen aller Quellen (die Darstellung $n =$ Sonnenblumen macht übereinanderliegende Werte sichtbar)

Auch Trittschäden sind ein Faktor, dessen Auswirkungen an Quellen bisher kaum untersucht wurde. Es ist davon auszugehen, dass durch Bodenverwundungen - abhängig von ihrer Intensität - die Habitatvielfalt zerstört wird (ZOLLHÖFER 1997), weswegen drei Intensitätsstufen von Trittschäden kartiert wurden. Allerdings konnte kein Zusammenhang von Vertritt mit den Artenzahlen gefunden werden. Trotzdem wurde bei starkem Vertritt eine negative Auswirkung auf die Artenzahl registriert (Median 7,5 Taxa, 2 Quelltaxa). Mäßig und gering vertretene Quellen wiesen eine mtlere Taxazahl (Median) von 10,5 bzw. 12 Taxa auf, entsprechend jeweils 4 Quelltaxa.

Auch die Anzahl der Strömungszustände korreliert positiv vor allem mit der Quelltaxazahl ($r = 0,262$, $p = 0,000$, $n = 303$, Abb. D4/25 links). Ähnlich, aber mit einem größeren Zusammenhang, war dies auch bei der Wasser-Land-Verzahnung ($r = 0,370$, $p = 0,000$, $n = 303$). Hier zeigten sich geringe Quelltaxazahlen bei einer geringen Verzahnung (Median 2), während sie bei hoher und mittlerer Verzahnung höher lagen (Median 4 bzw. 5). Die Beschattung an allen Quellen zeigt ebenfalls einen positiven Zusammenhang mit der Quelltaxazahl ($r = 0,228$, $p = 0,000$, $n = 303$, Abb. D4/25 rechts). Hierauf geht Kapitel E näher ein.

D Ergebnisse

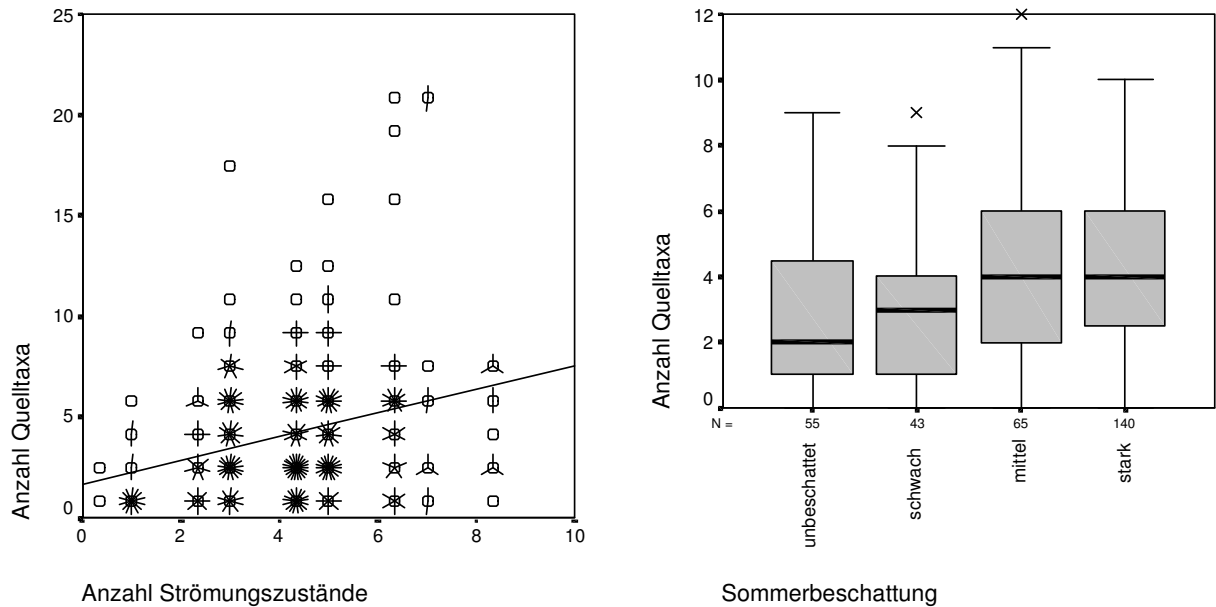


Abb. D4/25: Streudiagramm der Quelltaxazahl und Anzahl der Strömungszustände bzw. Beschattung (Boxplot ohne Ausreißer) aller Quellen

Viele diese Parameter hängen mit der Naturnähe der Quelle zusammen, so auch die besonderen Strukturen (Rieselfluren, Wasserfälle, Inseln, Laufverzweigungen, Kaskaden usw.). Diese Merkmale kennzeichnen insbesondere naturnahe Quellen, vor allem, wenn mehrere dieser Strukturen vorliegen. Auch die Anzahl der besonderen Strukturen wurde gegen die Taxazahl getestet, wobei eine höchst signifikante positive Korrelation und der stärkste Zusammenhang von allen Strukturparametern mit den Taxa- und Quelltaxazahlen nachgewiesen wurde ($r = 0,479$ bzw. $0,506$, $p = 0,000$, $n = 303$). Abbildung D4/26 veranschaulicht den Zusammenhang, wobei die höchsten Artenzahlen bei sechs besonderen Strukturen vorkamen.

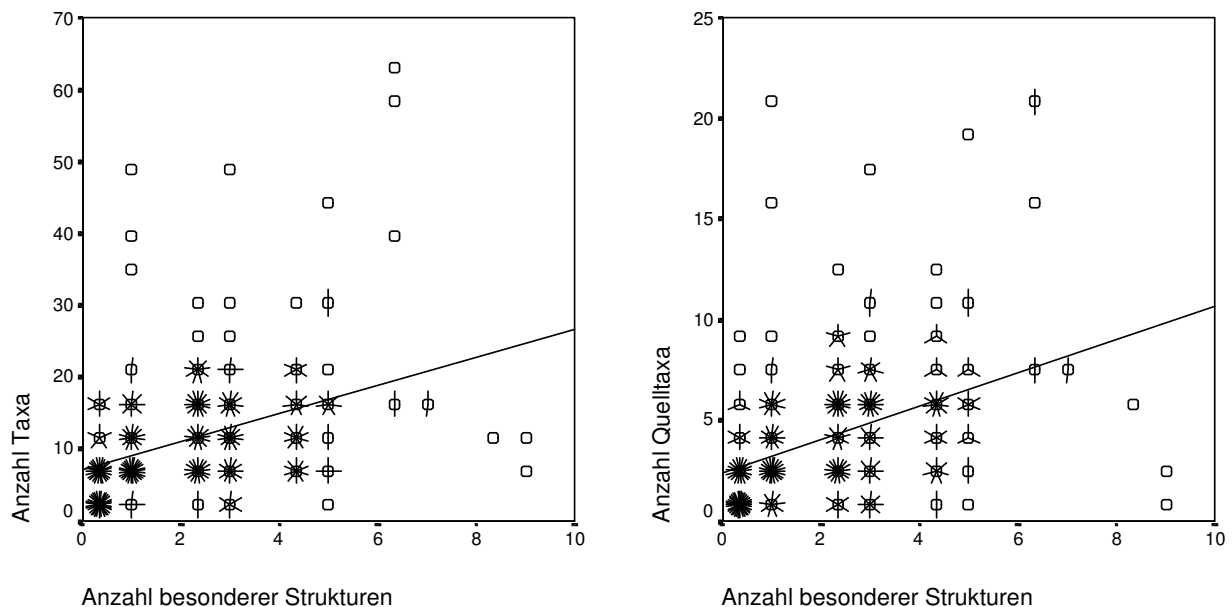


Abb. D4/26: Streudiagramm der Taxa- bzw. Quelltaxazahl und Anzahl besonderer Strukturen aller Quellen

Des Weiteren zeigte sich, dass eine starke positive Korrelation zwischen dem Umfeld und der Taxa- sowie Quelltaxazahl besteht ($r = -0,352$ bzw. $0,396$, $p = 0,000$, $n = 310$), was auf verschiedene Beeinträchtigungen und Schädigungen von Quellen landwirtschaftlicher Regionen, Siedlungen und Nadelwäldern zurückzuführen

D Ergebnisse

ren ist (Abb. D4/27). In Acker- und Siedlungsbereichen war die Zahlen am niedrigsten. Am höchsten waren die Taxazahlen in Laub- und Mischwald sowie in extensivem Grünland, bei der Quellartenzahl lagen sie ähnlich, der Median war allerdings in Mischwald am größten. Diese nicht uninteressanten Ergebnisse und mögliche Begründungen werden in Kapitel E diskutiert.

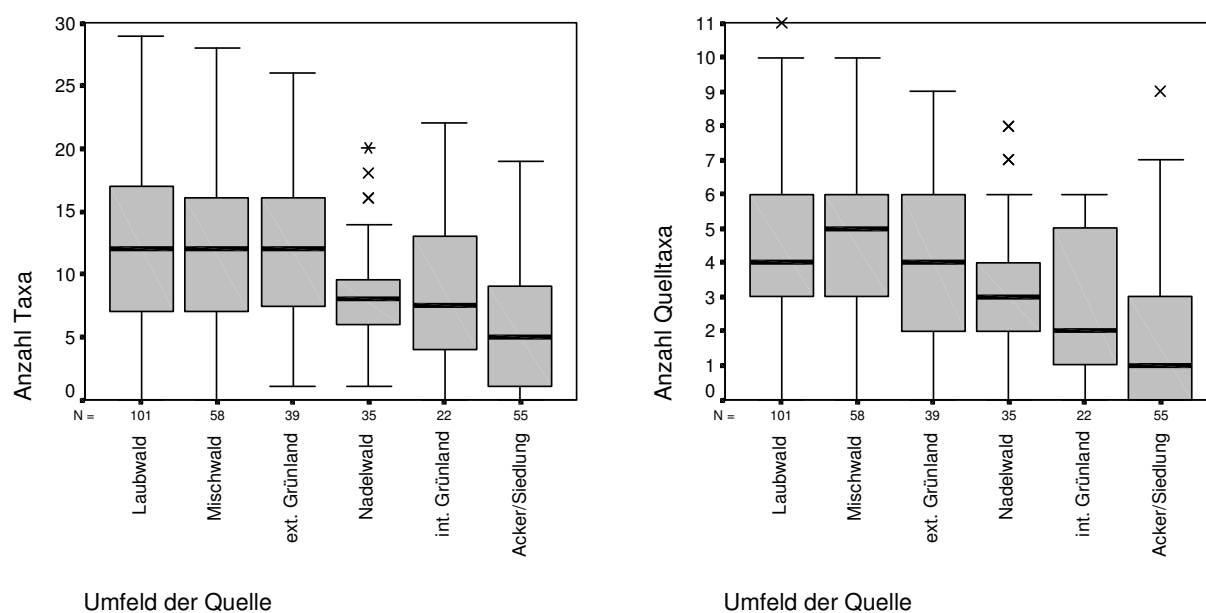


Abb. D4/27: Taxa- bzw. Quelltaxazahl und Umfeld aller Quellen (Boxplots ohne Ausreißer)

Im Folgenden wird anhand weniger Beispielarten die Bedeutung der Strukturfaktoren dargestellt. Die auf naturnahe Verhältnisse angewiesenen Köcherfliege *Crunoecia irrorata* lebt in Fallaub oder teilweise zersetztem Detritus. Sie ist in Offenland kaum zu finden, in Waldquellen jedoch recht häufig (Abb. D4/28 links). Im Gegensatz dazu kommt die Quellerbsenmuschel *Pisidium personatum* zwar auch in Waldquellen vor, hat ihr Maximum jedoch in extensivem Grünland (Abb. D4/28 rechts).

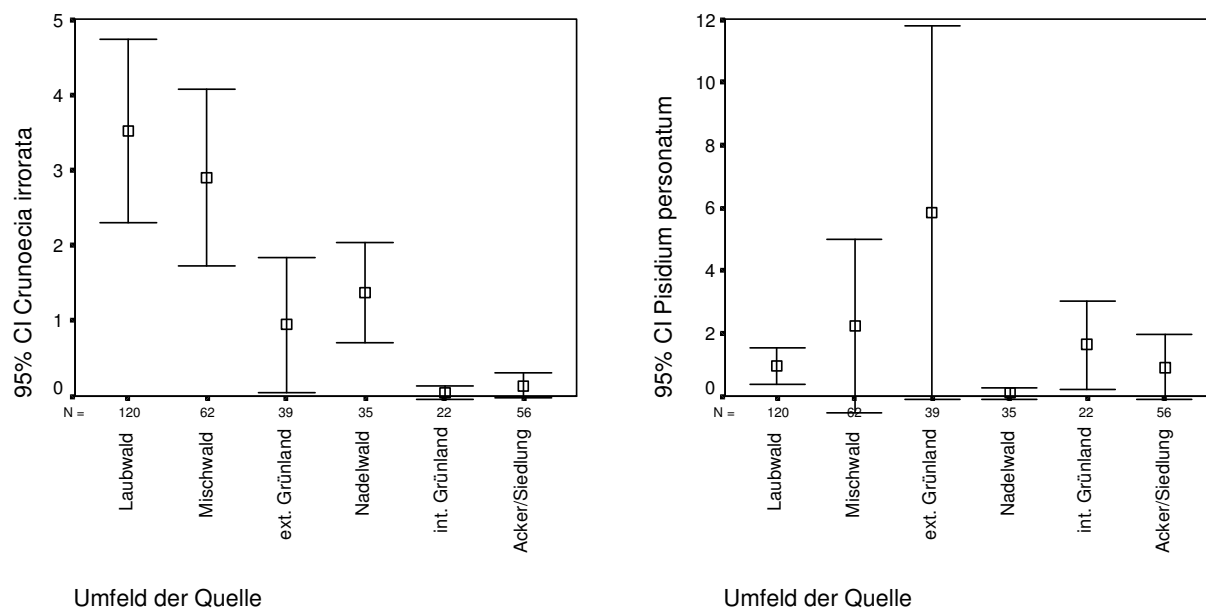


Abb. D4/28: Mittelwerte der Häufigkeit (transformierte Daten) aller Quellen von *Crunoecia irrorata* bzw. *Pisidium personatum* und Umfeld aller Quellen mit Fehlerbalken

D Ergebnisse

Zwischen diesen beiden Extremen liegt das Vorkommen der meisten Taxa, wobei auch einige Tiere an halb-offenen Quellen ihre größte Häufigkeit haben. Ebenfalls in extensivem Grünland häufig sind weitere, auch quelltypische Molluskenarten (z. B. *Bythinella dunkeri*) sowie die Strudelwürmer *Crenobia alpina* und z. T. *Polycelis felina*, des Weiteren *Gammarus fossarum*, *Nemoura sp.*, fast alle Eintagsfliegen, Köcherfliegen wie *Agapetus fuscipes*, *Potamophylax nigricornis* und die Psychidide *Tonnoiriella pulchra*. Typisch für waldreiche Gebiete ist *Niphargus sp.*, *Leuctra sp.*, *Nemoura sp.*, Köcherfliegen wie *Beraea maura*, *Ernodes articulalis*, *Microptera nyterobia*, *Plectrocnemia geniculata*, *Sericostoma personatum*, *Tinodes assimilis* und die Dipteren *Clytocyclus ocellaris*, *Pedicia rivosa* und *Thaumalea sp.* Sehr wenige Arten haben ihre größten Abundanz in Nadelwald, intensivem Grünland oder in Acker und Siedlungsbereichen.

Weiterhin korrelierten als typische Quellarten *Bythinella dunkeri* mit der Anzahl besonderer Strukturen, ebenso *Crenobia alpina*, *Niphargus sp.*, *Beraea maura*, *Crunoecia irrorata*, *Sericostoma personatum*, *Tonnoiriella pulchra* sowie *Salamandra salamandra*. Mit der Anzahl der Substrattypen korrelierte *Polycelis felina*, *Niphargus sp.*, *Beraea maura*, *Plectrocnemia geniculata*, *Sericostoma personatum*, *Pedicia rivosa*, *Salamandra salamandra* sowie *Crunoecia irrorata*. Die letzte Art ist in Abbildung D4/29 als typischer Quellorganismus dargestellt, der in naturnäheren Quellen vorkommt. Die Abbildung zeigt das durchschnittliche Vorkommen von *C. irrorata* bei Quellen unterschiedlicher Substrathäufigkeit und Häufigkeit besonderer Strukturen. Es ist ein Anstieg der mittleren Häufigkeit ab etwa fünf Substraten zu erkennen, gefolgt von einem Plateau und einem weiteren Anstieg bei höherer Substratzahl ab etwa neun Substraten. Ähnlich sieht es bei den besonderen Strukturen aus, allerdings ist ein Abfall bei den höchsten Anzahlen zu beobachten.

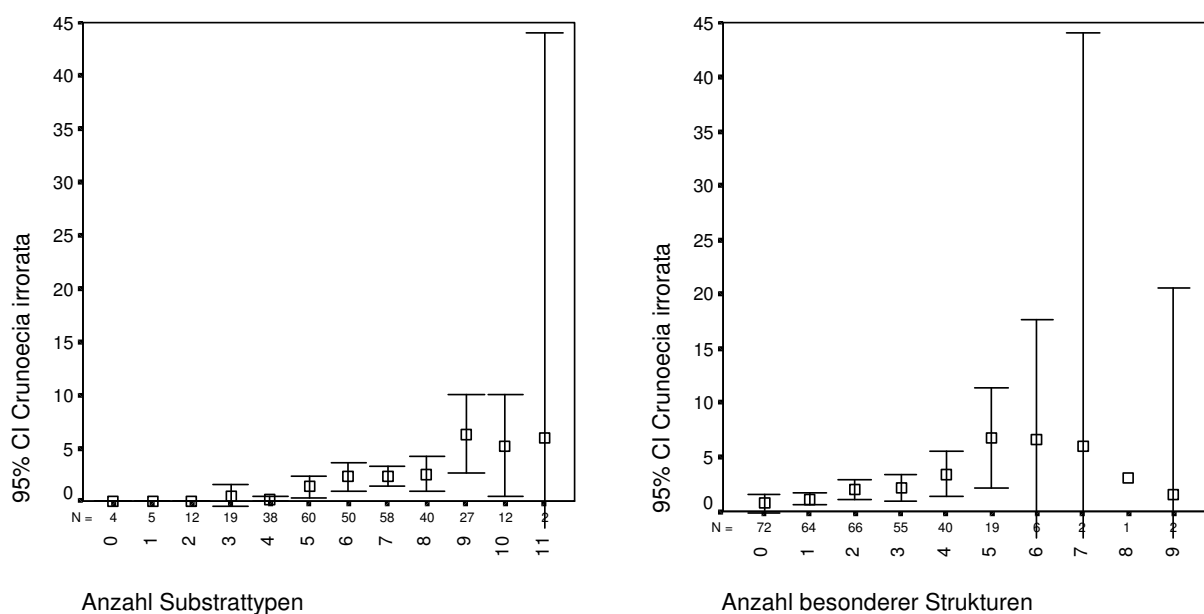


Abb. D4/29: Mittelwerte der Häufigkeit (transformierte Daten) aller Quellen von *Crunoecia irrorata* und Anzahl der Substrattypen bzw. Anzahl besonderer Strukturen aller Quellen mit Fehlerbalken

Interessant für die Bewertung ist der Zusammenhang zwischen dem subjektiven Gesamteindruck des Bearbeiters von der Quelle und den Taxazahlen. Auch hier konnte ein höchst signifikanter Zusammenhang für die Taxa und Quelltaxa gezeigt werden ($r = -0,483$ bzw. $0,545$, $p = 0,000$, $n = 310$). Die höchsten Taxa- und Quelltaxazahlen fanden sich bei nach dem Gesamteindruck naturnahen und bedingt naturnahen Quellen, wobei sie mit zunehmendem Schädigungsgrad exponentiell abnahmen. Das Bild bei den Quelltaxazahlen war fast identisch. Die Schädigungsklasse mit den stark geschädigten Quellen unterscheidet sich sehr deutlich von den anderen Klassen, geschädigte Quellen der Klasse vier besaßen dagegen noch eine höhere Taxazahl. Die Abbildungen sind fast identisch mit den Ergebnissen für das Quellstrukturbewertungsverfahren,

weshalb auf sie verzichtet wurde. Der Zusammenhang zwischen den berechneten Werten des Strukturverfahrens und der Taxa- bzw. Quelltaxazahl ist zunächst in Abbildung D4/30 dargestellt.

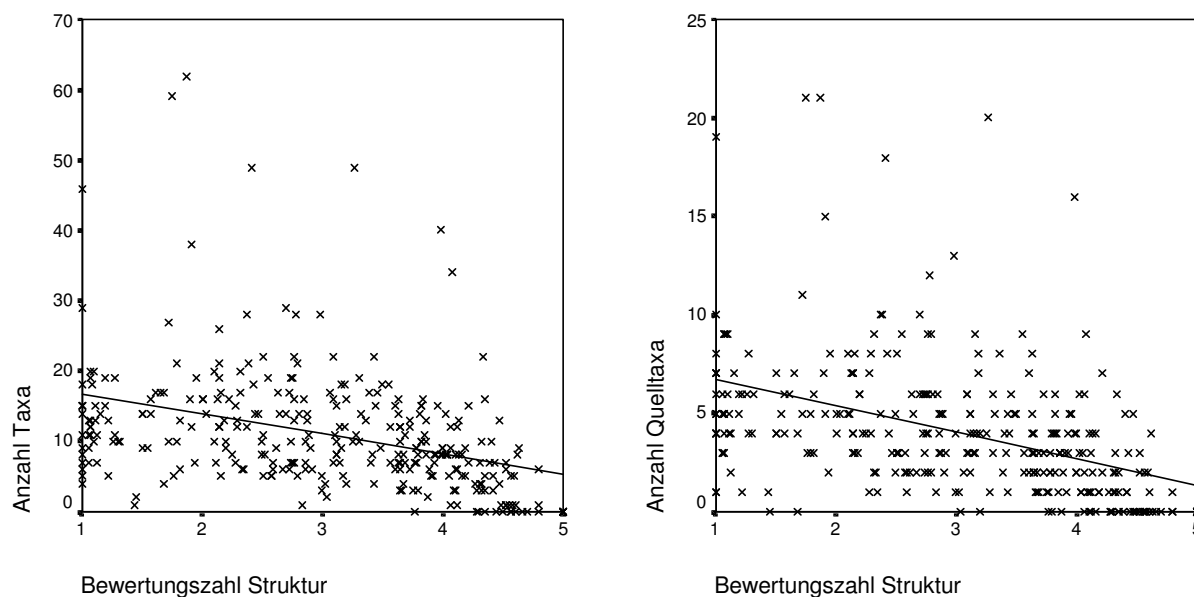


Abb. D4/30: Streudiagramm der Taxa-/Quelltaxazahl und der Strukturbewertungszahl aller Quellen

Es wurde ein höchst signifikanter Zusammenhang der berechneten Bewertungszahl mit den Taxa und Quelltaxa gefunden ($r = -0,488$ bzw. $0,555$, $p = 0,000$, $n = 310$). Dies entspricht den besten Zusammenhängen an Strukturparametern dieser Arbeit. Dementsprechend arbeitet das Verfahren in Bezug auf Quelllebensgemeinschaften korrekt (vgl. Kap. E). Abbildung D4/31 zeigt die Besiedlung in Bezug auf die Bewertungsklassen. Es ist eine exponentielle Abnahme mit zunehmend schlechteren Bewertungsklassen erkennbar, wobei die Abbildung sehr stark der des Gesamteindrucks ähnelt, welche nicht dargestellt ist. Die besten beiden Klassen sind hierbei nicht auftrennbar. Die Schädigungsklasse mit den stark geschädigten Quellen hebt sich deutlich von den anderen Klassen ab, da hier die Besiedlungszahlen im Schnitt viel geringer waren.

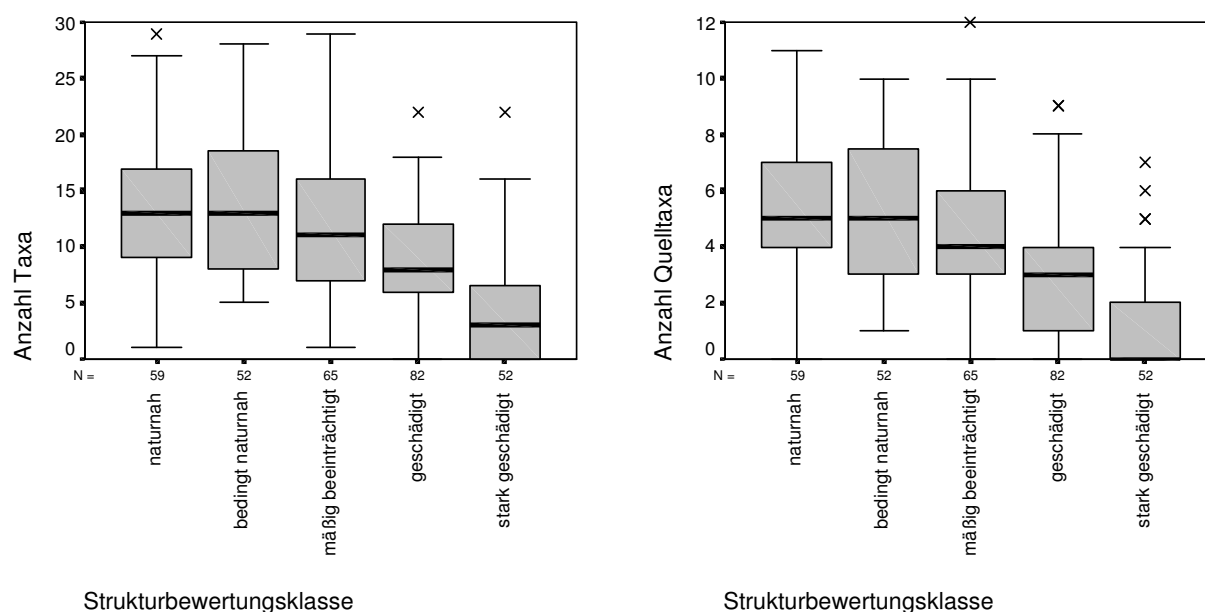


Abb. D4/31: Taxa- und Quelltaxazahl (Boxplot ohne Ausreißer) und Strukturbewertungsklasse aller Quellen

D Ergebnisse

Betrachtet man nur die ungefassten Quellen, lassen sich zahlreiche der hier dargestellten Zusammenhänge nicht mehr nachweisen. Dies unterstreicht die Bedeutung der Fassung für die Lebensgemeinschaften. Dies gilt für alle Parameter mit Ausnahme der Anzahl Substrattypen bei den Quelltaxa ($r = 0,279$, $p = 0,001$, $n = 128$) sowie für die Anzahl besonderer Strukturen ($r = 0,244$, $p = 0,006$, $n = 128$), die auch bei ungefassten Quellen korrelieren. Wegen dieser und möglicherweise weiterer Verknüpfungen der Parameter untereinander wurde eine Varianzanalyse durchgeführt (einfach mehrfaktoriell). Sie berücksichtigt sowohl die additive Wirkung der Faktoren als auch deren Interaktionseffekt. Dabei wurde die Ausprägung verschiedener Faktoren auf die Taxazahl getestet, um Hauptfaktoren abzuleiten. Am bedeutsamsten für die Taxazahl waren insbesondere die Faktoren Anzahl der Substrate und besonderer Strukturen sowie die Anzahl Infrastruktureinrichtungen und das Umfeld der Quelle, bedeutsam für die Quellzönose waren zusätzlich die Faktoren Schüttung, Fassung und die Wasser-Land-Verzahnung (Tab. D4/4 und D4/5, vgl. Kap. E).

Tab. D4/4: Ergebnis der Varianzanalyse ausgewählter Parameter für die Taxazahl aller Quellen

Parameter	F	Signifikanz	n
Größe der Quelle [qm]	2,000	,002	297
Größe Quellbereiches [qm]	1,751	,009	297
Schüttung [l/s]	2,075	,001	284
Fassung der Quelle	2,001	,001	309
Wasserentnahme	2,458	,000	305
Anzahl Infrastrukturen	3,150	,000	303
Anzahl Substrattypen	4,704	,000	302
Anzahl Strömungszustände	2,303	,000	302
Wasser-Land-Verzahnung	2,200	,000	302
Anzahl besonderer Strukturen	3,727	,000	302
Umfeld der Quelle	2,992	,000	309
Bewertungszahl Struktur	4,310	,000	309

Tab. D4/5: Ergebnis der Varianzanalyse ausgewählter Parameter für die Quelltaxazahl aller Quellen

	F	Signifikanz	n
Schüttung [l/s]	3,450	,000	284
Fassung der Quelle	3,279	,000	309
Wasserentnahme	1,999	,009	305
Verlegung	2,459	,001	307
Verbau der Quelle	2,467	,001	302
Verrohrung	2,312	,013	103
Anzahl Infrastrukturen	3,648	,000	303
Anzahl Substrattypen	6,744	,000	302
Anzahl Strömungszustände	2,485	,001	302
Wasser-Land-Verzahnung	3,693	,000	302
Anzahl besonderer Strukturen	5,896	,000	302
Umfeld der Quelle	4,162	,000	309
Bewertungszahl Struktur	7,621	,000	309

Die Ergebnisse bestätigen weitgehend die bisherigen Analysen und ergänzen sie. Die Varianzanalyse zeigt - stärker als zuvor die Korrelationsanalyse - die Bedeutung der Schüttung. Die Varianzanalyse zeigt auch, dass es sich bei den bestimmenden Faktoren um sehr komplexe Verhältnisse handelt, so dass einzelne Faktoren schlecht herausgegriffen werden können. Auch überlagern andere Faktoren wie der pH-Wert oder weitere gewässerchemische Faktoren bei ungefassten Quellen die Strukturparameter. Der insgesamt wichtigste Parameter, der die Taxazahlen am deutlichsten widerspiegelt, ist die Bewertung durch das Quellstrukturverfahren als errechnete Bewertungszahl mit den stärksten Zusammenhängen bei den Quelltaxa, dicht gefolgt von der Bewertungsklasse des Verfahrens für die Taxa bzw. dem Gesamteindruck für die Quelltaxa. Dies zeigt, dass die Bewertung durch das Quellstrukturbewertungsverfahren mittels der einzelnen Bogenparameter offensichtlich die wesentlichen Parameter korrekt erfasst, gewichtet und bewertet und einen hohen Stellenwert bei der Beurteilung für Quelllebensgemeinschaften hat.

D 4.3.3 Untersuchung ausgewählter Quellen der Pfalz

Hier handelt es sich um jeweils drei Quellen der Naturräume Donnersberg, Westrich und Pfälzerwald, zusammen also neun Quellen. Ziel der Untersuchung war, durch mehrmalige faunistische Beprobungen ein größeres Arteninventar zu erhalten und für verschiedene Schädigungsgrade darzustellen. Die Quellen wurden dem Naturraum entsprechend so gewählt, dass jeweils drei Quellen drei Strukturschädigungskategorien entsprachen, zudem sollten sie möglichst unversauert sein. Die ganzjährig schüttenden Quellen liegen zwischen 255 und 390 Höhenmetern, entsprachen der typischen Geologie des Naturraums (Rotliegend-Magmatite, mittlerer bzw. oberer Buntsandstein) und sind Rheokrenen, Limnokrenen oder gefasste Quellen. Die neun Quellen sind im Anhang textlich beschrieben. Die nach dem Strukturverfahren und dem faunistischen Bewertungsverfahren bewerteten Quellen sind in Abbildung D4/32 dargestellt.

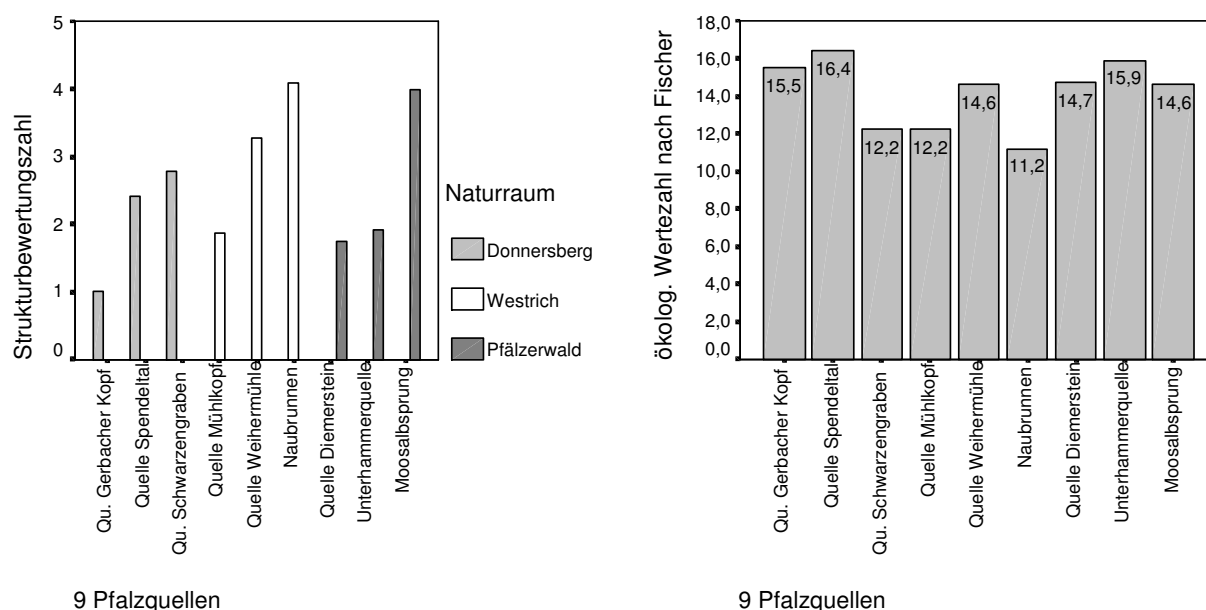


Abb. D4/32: Naturraum und Strukturbewertungszahl der Pfalzquellen bzw. faunistische Bewertung nach FISCHER (1996a)

Die drei nach der Strukturbewertung am besten bewerteten Quellen sind aufgrund besonders, naturraumtypischer Quellstrukturen als besonders wertvoll zu bezeichnen, sie weisen etwa besonders großflächig ausgebildeten Rieselfluren auf, wo die krenobionte Dunkelmücke *Thaumalea sp.* in Massen vorkam. Solche Quellen wiesen die höchsten Besiedlungszahlen aller Quellen auf. Sie betragen 62 Taxa und 21 Quelltaxa bei der aufgrund kleinerer Schädigungen geringfügig schlechter bewerteten Quelle am Mühlkopf (Westrich), 59 Taxa und 21 Quelltaxa bei der Quelle Diemerstein (Pfälzerwald) und 46 Taxa und 19 Quelltaxa bei der Quelle am Gerbacher Kopf (Donnersberg). Kleinere Schädigungen wirkten sich also nicht auf die Artenzahlen aus, es ist sogar so, dass die naturnäheste Quelle etwas geringere Zahlen aufwies als die beiden anderen, naturnah bzw. bedingt naturnah bewerteten Quellen. Der Naubrunnen war zwar selbst nur gering besiedelt, die meisten Arten fanden sich aber unterhalb nach der Fassung nach ca. 45 m am naturnahen Ablauf (Wald).

Erwähnenswert ist das Fehlen von *Gammarus fossarum* in der einzigen versauerten Quelle Nr. 0178. *Cru-noecia irrorata* kam in allen neun Quellen vor und spiegelte mit ihrer Häufigkeit sehr gut die strukturelle Naturnähe der Quellen wider. *Ptilocolepus granulatus* fand sich in allen Pfälzerwaldquellen in Quellmoos und kam in den anderen Quellen nicht vor. Weiterhin bemerkenswert ist der Fund von *Hydraena subimpres-sa* in Quelle Nr. 0147, von *Hydroporus longulus* und *Chaetopterygopsis maclachlani* in Quelle Nr. 0178, von *Adicella filicornis* in Quelle Nr. 2304, von *Stenophylax vibex* und von *Tinodes assimilis* und *T. unicolor*

in Quelle Nr. 0152. Außerdem ist der Fund der in Rheinland-Pfalz zum ersten Mal nachgewiesenen Psycho-
diden *Szaboiella hibernica* in den beiden naturnahen Quellen Nr. 0152 und 2304 bzw. von *Telmatoscopus*
pseudolongicornis in der letzten Quelle *Telmatoscopus pseudolongicornis* bemerkenswert. In naturnäheren
Quellen des Donnersbergs kam *Tonnoiriella pulchra* vor (Quelle Nr. 0147 und 0142). Abbildung D4/33
zeigt die Besiedlung der neun Quellen der Pfalz, die mit der Naturnähe in Abbildung D4/32 verglichen wer-
den kann. Signifikante Korrelationen zwischen der Struktur und den Taxazahlen ergaben sich hierbei nicht.
Interessanterweise ergeben sich aber gerade deswegen einige Schlussfolgerungen, insbesondere welches die
Interpretation bestimmter Beeinträchtigungen und deren ökologische Folgen betrifft, was in Kapitel E aus-
führlich diskutiert wird. Hier sei nur erwähnt, dass insbesondere Quelle Nr. 0142 und 0160 trotz ihrer Schäd-
igungen recht naturnah besiedelt sind. Die Fauna der drei naturnahen Quellen wird für die jeweilige
Grundwasserlandschaft als Referenzzönose vorgeschlagen.

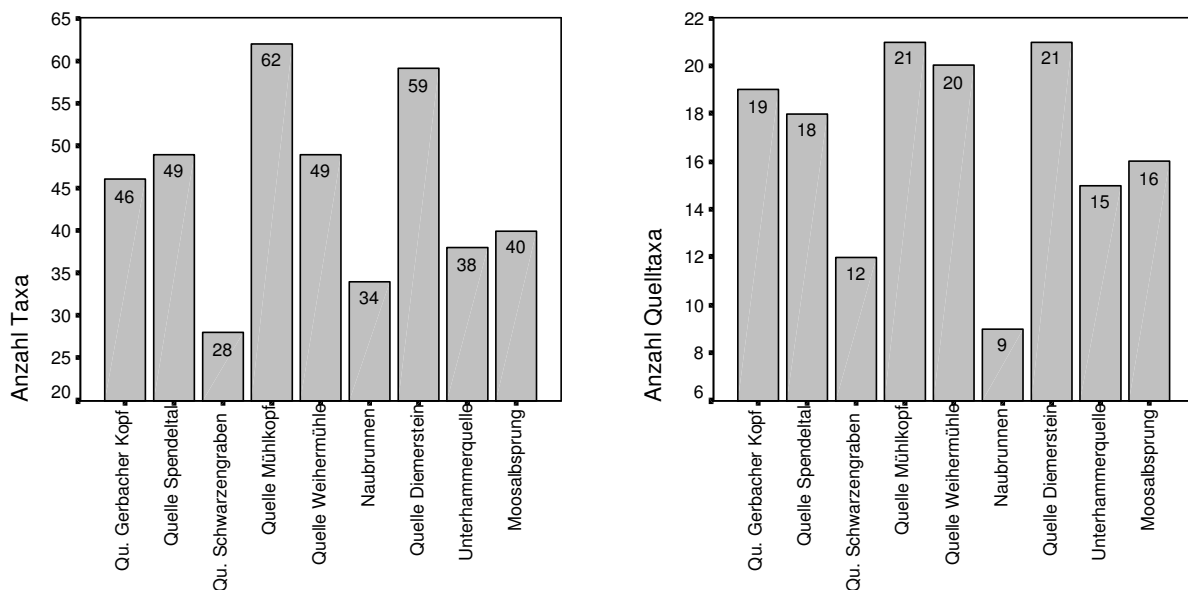


Abb. D4/33: Anzahl Taxa bzw. Quelltaxa der neun besser untersuchten Quellen der Pfalz

Neben der Naturnähe wurde darauf geachtet, wie sich die quelltypische Besiedlung im Abstand zum Quell-
austritt ändert, wobei festgestellt wurde, dass die Besiedlung quellassoziierter Arten mit dem Abstand vom
Quellaustritt abnahm, besonders bei krenobionten Taxa. Dies wurde beispielhaft für die Quellschnecke
Bythinella dunkeri an Quelle Nr. 2304 überprüft. Hier kam *B. dunkeri* nur an einem Nebensickerquellaustritt
vor und zwar bei mittlerer Häufigkeit für nur etwa fünf Fließmeter. Danach nahm die Art stark ab, so dass
nach 5 m nur noch wenige Einzelexemplare gefunden wurden. Bereits nach 10-15 Fließmetern wurde die Art
nicht mehr nachgewiesen. Ähnliches wurde auch in anderen Quellen festgestellt, vor allem in Sickerquellen.
In stärker schüttenden Sturzquellen tritt *B. dunkeri* weiter gestreckt auf, d. h. sie wurde teilweise bis über 50
m Länge in geringen Häufigkeiten bzw. in Einzelexemplaren nachgewiesen. In Quelle Nr. 1010 wurde die
Art sogar bis weit über 100 m Fließlänge bei mittlerer Häufigkeitsklasse nachgewiesen. Die Schüttung der
Quelle war mit 3,5 l/s zwar stärker, aber nicht sonderlich herausragend, so dass sie das Vorkommen von
Bythinella auf einer solch langen Strecke nicht erklärt. Auf die Ursachen geht Kapitel E näher ein.

D 4.4 Faunistische Verfahren und Referenzquellen

Einzelne Umweltfaktoren wirken in Quellen als komplexes Faktorengefüge zusammen, so dass in vorliegen-
der Arbeit zu ihrer Bestimmung und dem Vergleich der Lebensgemeinschaften multivariate statistische Mo-
delle herangezogen werden. Um die Eigenschaften naturnaher Quelllebensgemeinschaften herauszuarbeiten,

wurden zudem faunistische Indices angewendet und getestet, mit deren Hilfe es möglich ist, naturnah besiedelte von beeinträchtigten Quellen zu differenzieren. Dies war mit dem Strukturbewertungsverfahren nur eingeschränkt möglich, da geochemisch überprägte oder versauerte Quellen über die Struktur nicht differenzierbar sind. Si betrifft etwa gerade die Versauerung häufig naturnah strukturierte Quellen in kaum zugänglichen Hochlagen pufferarmer Mittelgebirge. Die faunistische Bewertung intergriert jedoch über alle wichtigen Faktoren und filtert naturnah besiedelte aus einer Menge von Quellen verschiedener Hemerobiegrade heraus. Trotzdem können naturnah besiedelte Quellen strukturelle Schädigungen aufweisen, was natürlich besonders interessant ist (s. ff., vgl. Kap. E).

Für Quellen existieren bisher kaum faunistische Bewertungsverfahren. Das Verfahren von FISCHER (1996a) stellt hierbei einen ersten Bewertungsvorschlag dar. FISCHER (1996a) hat Arten des Makrozoobenthos nach ökologischen Wertzahlen (ÖWZ) in sechs Stufen eingeteilt. Die Stufen reichen von krenobiont (16) über krenophil (8), krenophil-rhithrobiont (4), rhithrobiont bzw. hygrophil (2), eurytop (1) bis zu saprophil (0,5). Die Liste der eingeordneten Taxa ist im Anhang einzusehen. Mit diesem Verfahren ist eine faunistische Einstufung von Quellen in fünf Wertklassen möglich, die von quelltypisch (I) über bedingt quelltypisch (II), quellverträglich (III), quellfremd (IV) bis zu sehr quellfremd (V) reichen (vgl. Kap. C 7). Für eine Einzelbewertung müssen wenigstens fünf indizierte Taxa der ÖWZ-Liste nachgewiesen werden. Nach dieser Methode wurden alle Quellen bewertet. Insgesamt wurden von 310 faunistisch beprobten 255 Quellen bewertet, der Rest wies eine zu geringe Zahl indizierter Taxa auf. Das Ergebnis zeigt Abbildung D4/34 (links). Es dominierten Quellen mittleren Hemerobiegrades mit quellverträglicher Besiedlung, gefolgt von bedingt quelltypisch besiedelten Quellen. Bei der landesweit repräsentativen Untersuchung von SCHINDLER & HAHN (2000) ergaben sich ähnliche Verhältnisse, wobei relativ gesehen weniger quelltypische als mehr quellfremd und sehr quellfremd besiedelte Quellen vorhanden waren (Abb. D4/34, rechts, dunkelgrau).

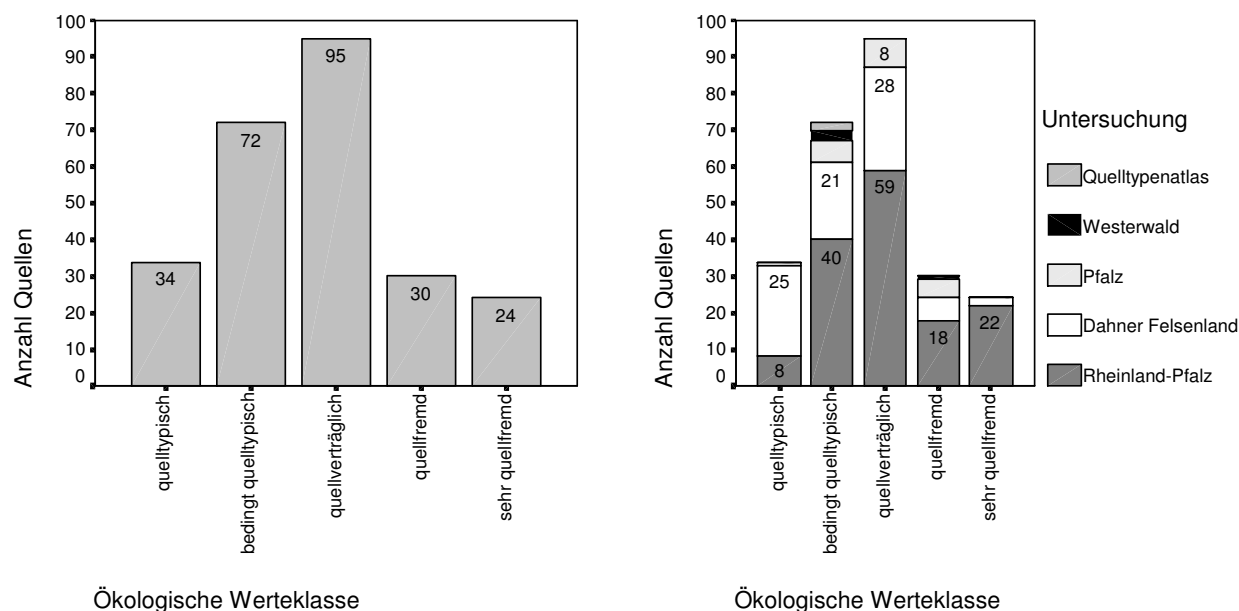


Abb. D4/34: Ökologische Wertklassen nach FISCHER (1996) aller Quellen und Aufteilung auf die einzelnen Untersuchungen. Die Rheinland-Pfalz-Untersuchung ist repräsentativ (dunkelgrau)

Abbildung D4/35 zeigt die ökologischen Wertklassen nach FISCHER (1996a) aller Quellen in Verbindung mit den Taxa- bzw. Quelltaxazahlen. Hierbei waren die höchsten Taxazahlen (Median) bei quellverträglich besiedelten Quellen vorhanden, während die höchsten Quelltaxazahlen bei bedingt quelltypisch besiedelten Quellen vorlagen. Diese sehr interessanten Ergebnisse werden in Kapitel E näher diskutiert.

D Ergebnisse

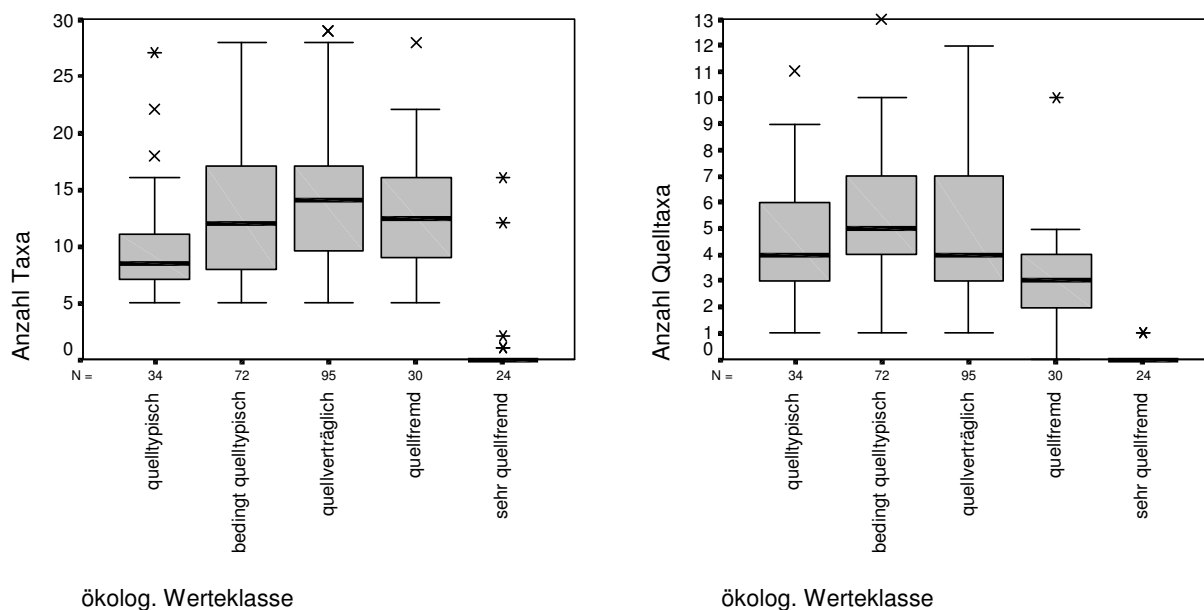


Abb. D4/35: Ökologische Werteklassen nach FISCHER (1996a) aller Quellen und Taxa- bzw. Quelltaxazahl (Boxplot ohne Ausreißer)

Abbildung D4/36 ist mit Abbildung D2/3 vergleichbar und zeigt im Vergleich zum Strukturverfahren andere Ergebnisse. Es fällt auf, dass vor allem die stärkste Schädigungsklasse nicht sehr häufig ist, was eingeschränkt auch für die queffremde Klasse gilt. Stattdessen liegen die meisten Quellen im mittleren Bereich (gelb und grün). Naturnahe Quellen sind im Vergleich zum Quellstrukturverfahren ebenfalls seltener. Abbildung D4/36 (rechts) entspricht Abbildung D2/2 (rechts) und zeigt grundsätzlich ähnliche Verhältnisse (umgedrehte Darstellung im Vergleich zu Abb. D2/2). So sind die drei besten Quellräume wieder Westerwald, Nordpfälzer Bergland und Pfälzerwald. Sich ergebende Verschiebungen werden in Kapitel E diskutiert.

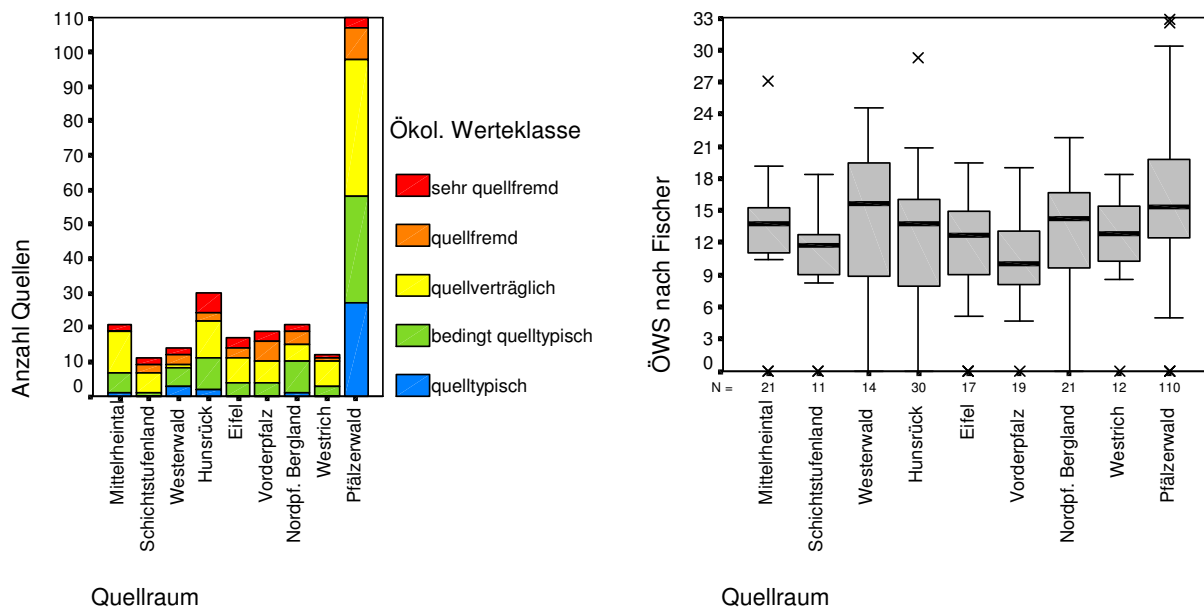


Abb. D4/36: Ökologische Werteklassen nach FISCHER (1996a) und Quellraum aller Quellen (links) bzw. ökologische Wertesummen der Quellen von SCHINDLER & HAHN (2000, Boxplot, rechts)

Im Zusammenhang mit der Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie werden zur Zeit faunistische Indices für das Makrozoobenthos entwickelt, die sich auf biozönotische Fließgewässerregionen beziehen (BISS et al.

D Ergebnisse

2002). Nach diesen Vorgaben der EU kristallisieren sich für das Makrozoobenthos zwei Verfahren heraus, die auch in Quellen anwendbar wären. Das erste entspricht dem Rhithron-Typie-Index nach BRAUKMANN und kann entsprechend als Krenon-Typie-Index (KTI) bezeichnet werden, das zweite ist der Benthos-Index (BISS et al. 2002). Sie sind noch nicht entwickelt und wie das Verfahren von FISCHER zonenspezifisch, d. h. sie arbeiten mittels autökologischer Angaben in Form von Ökologie-Werten (ECO-Werte), die den ökologischen Wertzahlen von FISCHER (1996a) entsprechen. Die beiden Indizes basieren auf Daten aus SCHMEDTJE & COLLING (1996), wonach Zonierungspunkte der Fließgewässerregion für das betreffende Taxon vergeben werden. Die beiden Indices und deren Berechnung sind in Kapitel C 7 sowie in BISS et al. (2002) erläutert.

Es war geplant, die beiden Verfahren zu testen, wobei sich einige Schwierigkeiten ergaben. So ist ein Krenon-Typie-Index (KTI) bisher noch nicht berechnet worden, so dass sich bei einigen Arten Probleme bei der Einstufung in die Fließgewässerregion Krenal ergaben. Es fehlen in erster Linie Daten für eine erhebliche Reihe nachgewiesener Taxa, die teilweise quelltypisch sind, z. B. ECO-Werte. So sind 48 Taxa in der Liste von SCHMEDTJE & COLLING (1996) nicht enthalten, also rund ein Sechstel der nachgewiesenen Fauna. Dies betrifft häufig Quelltaxa und ist besonders problematisch, wenn bei geringen Taxazahlen pro Quelle nur wenig indizierte Taxa vorhanden sind. Aus diesen Gründen wurden die beiden Indices nur in veränderter Form berechnet. Die Berechnung des KTI wurde zwar mit der entsprechenden Formel durchgeführt (vgl. Kap. C 7), allerdings mit den vollständigeren ÖWZ-Werten aus der ergänzten FISCHER-Liste (vgl. Anhang) und einer eigenen Wertklasseneinteilung (vgl. Kap. C 7). Das Gleiche gilt für den Benthos-Index, bei dem die Wertklassen identisch mit BISS et al. (2002) waren, sie liegen zwischen den Werten 0 und 5, da sich die ökologischen Wertzahlen herauskürzen. Die Berechnung nach selbst festgelegten ECO-Werten scheiterte aufgrund mangelnder Daten und des zu großen Aufwandes für alle nachgewiesenen 292 Taxa. Die Ergebnisse der berechneten zusätzlichen beiden Verfahren sind in Abbildung D4/37 dargestellt, wobei der Benthos-Index wenig brauchbar erscheint (vgl. Kap. E). Alle drei Verfahren wurden verglichen, wobei das Verfahren nach FISCHER (1996a) am geeignetsten erschien (vgl. Anhang, Kap. E) und deshalb favorisiert dargestellt ist.

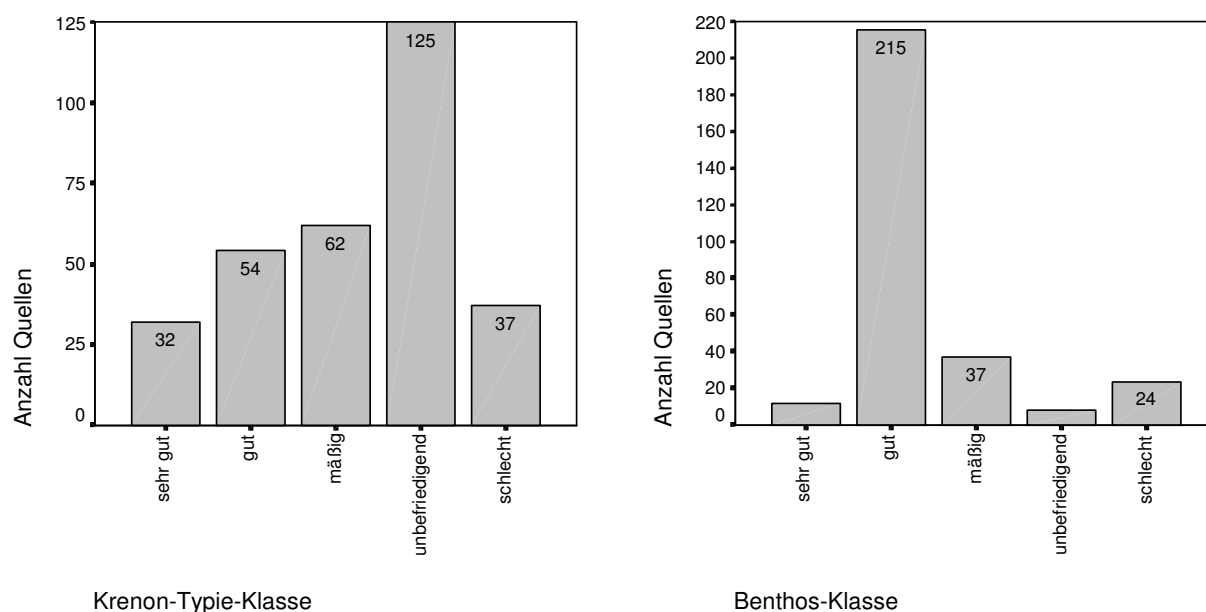


Abb. D4/37: Berechneter Krenon-Typie-Index und Benthos-Index aller Quellen, veränderte Berechnung nach BISS et al. (2002)

Beim Vergleich des faunistischen Bewertungsverfahrens nach FISCHER mit anderen Parametern ergaben sich höchst signifikante Korrelationen, aber nur schwache Zusammenhänge der ökologischen Wertklassen mit

D Ergebnisse

Fassung und Verbau (nicht dargestellt). Immer noch relativ schwache Zusammenhänge ergaben sich mit der Anzahl der Substrate ($r = -0,263$, $p = 0,000$, $n = 248$), der besonderen Strukturen ($r = -0,214$, $p = 0,001$, $n = 248$) und dem Umfeld der Quelle ($R = 0,250$, $p = 0,000$, $n = 255$). Höchst signifikante Korrelationen und etwas stärkere Zusammenhänge ergaben sich mit der Strukturbewertungszahl des Verfahrens ($r = 0,357$, $p = 0,000$, $n = 255$) und dessen Bewertungsklassen ($r = 0,350$, $p = 0,000$, $n = 255$), außerdem mit dem Gesamteindruck ($r = 0,384$, $p = 0,000$, $n = 255$) sowie als stärkstem Zusammenhang mit der Anzahl Quelltaxa ($r = -0,421$, $p = 0,000$, $n = 255$). Abbildung D4/38 und D4/39 zeigen Streudiagramme der ermittelten ökologischen Wertesummen nach FISCHER und der genannten Parameter, die mit diesen Werten korreliert sind. Die Varianzanalyse zeigt ähnliche Ergebnisse wie beim Strukturbewertungsverfahren (Tab. D4/6). Hier fällt besonders die Schüttung auf, aber auch andere Parameter, die sonst zurückgetreten sind, z. B. Einleitungen.

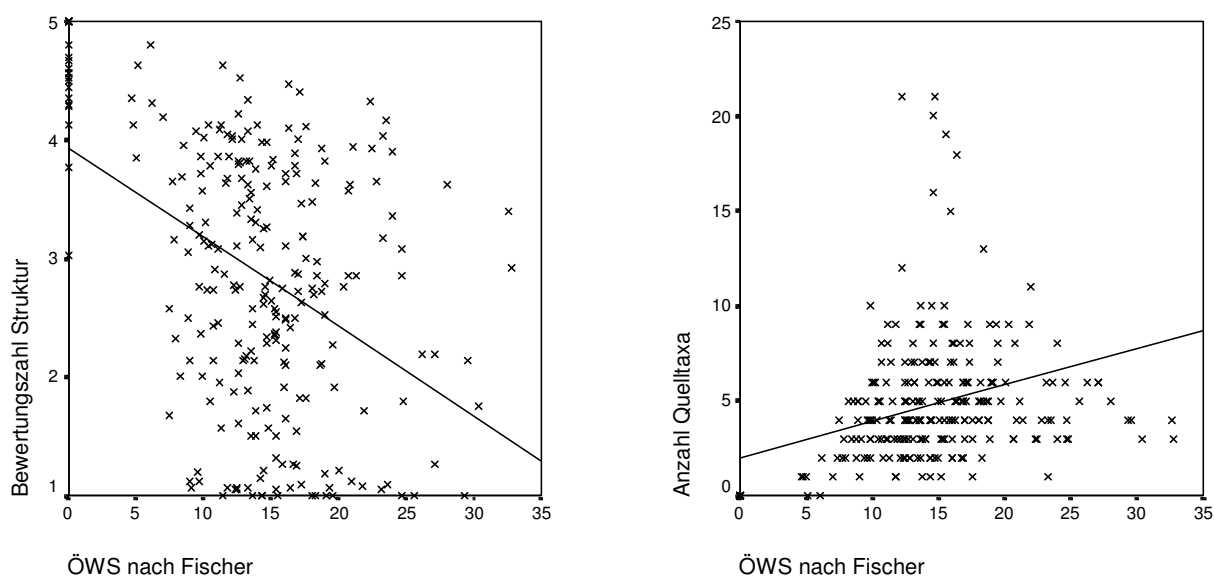


Abb. E4/38: Streudiagramm der ökolog. Wertesummen u. Strukturbewertungszahl bzw. Quelltaxa aller Qu.

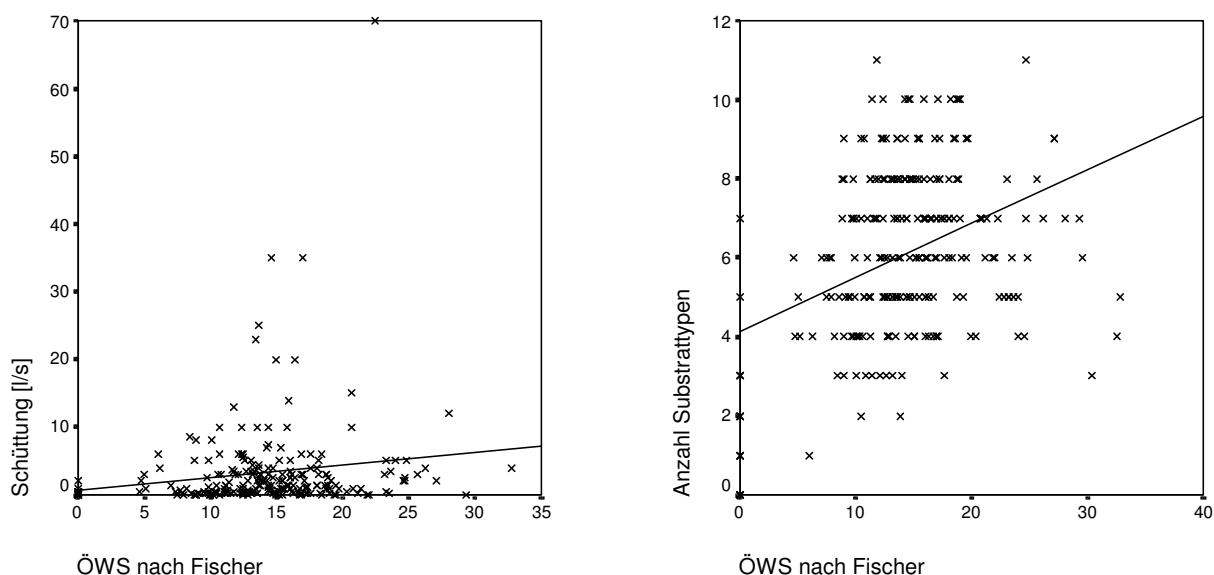
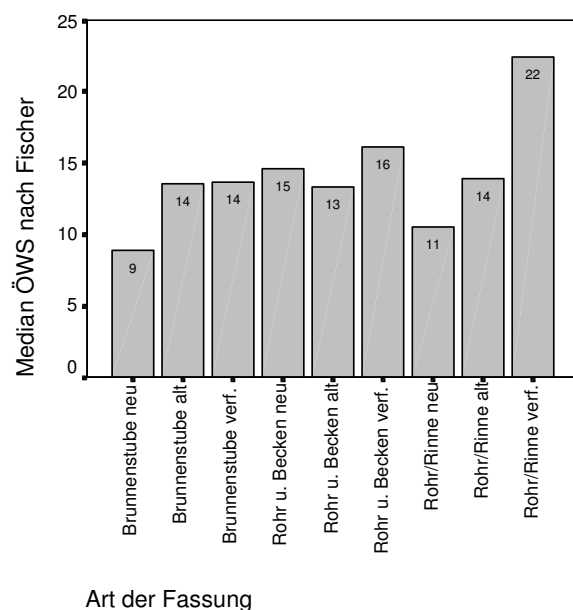


Abb. D4/39: Streudiagramm der ökolog. Wertesummen u. Schüttung bzw. Anzahl d. Substrattypen aller Qu.

Abbildung D4/40, die die faunistische Bewertung und die Fassungsarten darstellt, ist mit Abbildung D4/23 vergleichbar, mit der sie sich weitgehend entspricht, wobei die faunistische Bewertung die Unterschiede von Rohrfassungen besonders deutlich hervortreten lässt.

Tab. D4/6: Varianzanalyse der nach FISCHER (1996a) ermittelten Zahl ökologischer Wertesummen

	F	Signifikanz	n
Schüttung [l/s]	2,274	,000	232
Einleitungen	1,929	,000	248
Anzahl Substrattypen	1,532	,010	247
Gesamteindruck	1,711	,001	254
Bewertungszahl Struktur	1,741	,001	254
Bewertungsklasse Struktur	1,730	,001	254
Anzahl Taxa	1,964	,000	254
Anzahl Quelltaxa	2,378	,000	254
Umfeld der Quelle	1,599	,005	254

**Abb. D4/40:** Ökologische Wertesummen (Median) nach FISCHER (1996a) und Fassungsarten aller gefassten Quellen (verf.: verfallen)

Die mit den faunistischen Verfahren herausgefilterten, naturnah besiedelten Quellen bilden die Basis für die weiteren Analysen. Summiert man die Quellen der beiden besten Bewertungsklassen nach FISCHER, können 106 Quellen bzw. 41,6 % der 255 faunistisch bewerteten Quellen als in einem „ökologisch guten“ Zustand bezeichnet werden. Dies sind fast 10 % mehr als mit der Strukturbewertung ermittelt wurde. Hierunter sind allerdings nicht wenige gefasste Quellen, so dass die strukturelle Naturnähe dieser Quellen nicht immer gegeben ist. Die besser untersuchten Quellen der Pfalz schneiden im Verhältnis relativ schlecht ab, selbst nach dem Strukturverfahren als naturnah eingestufte und quelltaxareiche Quellen fallen oft nur in die zweit- oder drittbeste faunistische Klasse (vgl. Kap. E). Um nur strukturell naturnahe und quelltypisch besiedelte Quellen für die weiteren Analysen zuzulassen, aber trotzdem ausreichend Quellen zur Verfügung zu haben, wurde die Schnittmenge aus den Quellen der Klasse 1 und 2 des Strukturbewertungsverfahrens und der besten beiden Klassen des FISCHER-Verfahrens ausgewählt. Es handelte sich hierbei um 53 Quellen. Hinzugenommen wurden noch drei naturnahe Quellen (Nr. 0004, 0039 und 2304, vgl. Kap. E), deren Bewertung knapp an der Grenze zur zweitbesten faunistischen Bewertungsklasse lag. Sie stellen Besonderheiten für ihren Naturraum dar, zwei von ihnen sind naturnahe Kalksinterquellen. Auf diese Weise ergaben sich 56 (bedingt) naturnahe und (bedingt) quelltypisch besiedelte Quellen als faunistische und strukturelle Referenzquellen in ökologisch gutem und sehr gutem Zustand. Ausgewählte Referenzquellen sind im Anhang aufgelistet. Um Ähnlichkeiten bzw. Unterschiede der einzelnen Quellen besser erkennen zu können, wurden multimetrische Verfahren herangezogen (Clusteranalyse, multidimensionale Skalierung). So wurde mit den naturnahen Referenzquellen die strukturelle Quelltypologie getestet. Eine Clusteranalyse der **Strukturdaten** zeigt Abbildung D4/41. Die Quelldaten sind im Anhang zu finden (über Quellnummer QNr. Identifizierbar).

D Ergebnisse

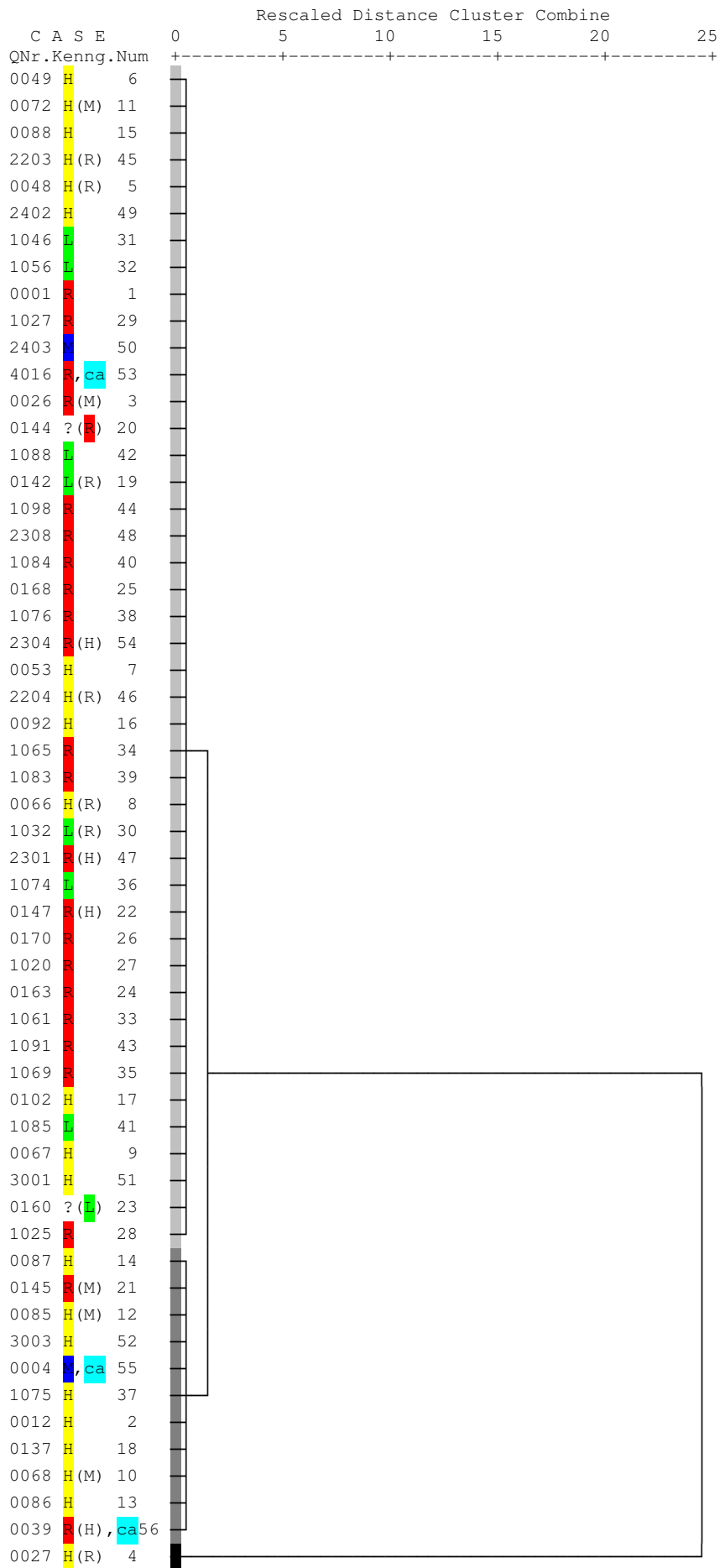


Abb. D4/41: Clusteranalyse der Strukturdaten (Ward-Methode, 56 Referenzquellen) mit Quelltypkennung

D Ergebnisse

Die Clusteranalyse stellt in einem Dendrogramm diejenigen Quellen zusammen, die in ihren Parametern am ähnlichsten sind. Die Quelltypen sind über Kennung und Farbe ersichtlich, welche aus Abbildung D2/17 übernommen wurden. Es sind drei Gruppen erkennbar, eine Gruppe (schwarz) mit einer verockerten Sickerquelle, eine größere Gruppe (dunkelgrau) mit vielen Sickerquellen und einer Wanderquelle sowie eine sehr große Gruppe (hellgrau) mit vielen Sturz-, allen Tümpel- und einigen Sickerquellen. Die letzte Gruppe besteht aus vielen Quellen des Pfälzerwaldes. Die Trennung ist nicht eindeutig, es kann nur von Häufungen bestimmter Quelltypen in den wenigen Gruppen gesprochen werden (vgl. Kap. E). Eine multidimensionale Skalierung (MDS) der Strukturdaten ergab ebenfalls keine deutliche Trennung der Gruppen (Abb. D4/42). Die MDS deckt als unspezifische Vergleichsmethode Zusammenhänge zwischen den Parametern auf, indem sie die Parameter in dimensionslose Abstandsmaße übersetzt, so dass die Quellen eine graphische Position zueinander einnehmen und dabei um so näher zueinander stehen, je ähnlicher ihre Eigenschaften sind.

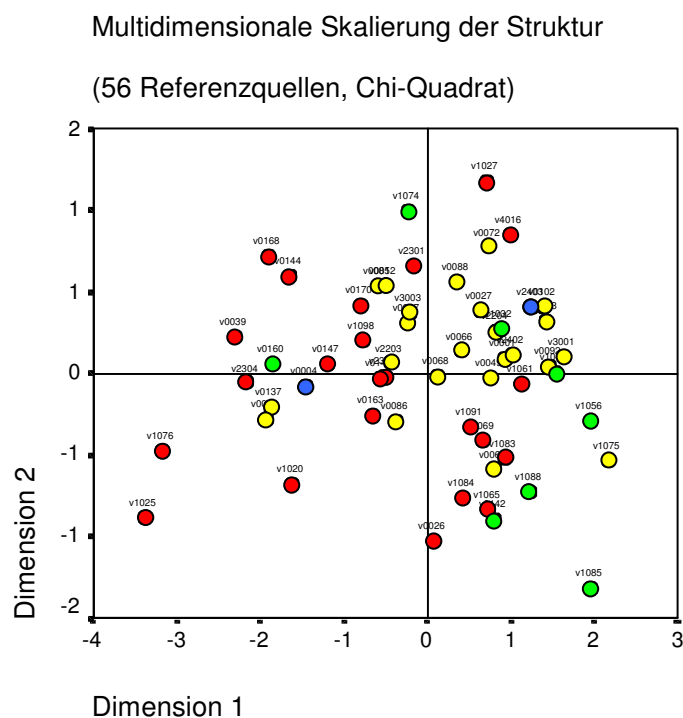


Abb. D4/42: Multidimensionale Skalierung der Strukturdaten (Quellnummern, Stress: 0,1206; RSQ: 0,9466)

Weiterhin wurde die Hydrochemie und die Fauna multimetrisch ausgewertet, letztere in Verbindung mit dem Quelltyp und Naturräumen bzw. Grundwasserlandschaften. Eine Clusteranalyse der **Hydrochemie** zeigt Abbildung D4/43. Das Dendrogramm zeigt deutlich mehr Gruppen als bei der Struktur. Hinter den Gruppen stehen insbesondere chemische Parameter wie der pH-Wert, die Wasserhärte und die Leitfähigkeit, eventuell auch die Sauerstoffsättigung. So besteht die oberste und zweitoberste Gruppe (pink) aus sauren bzw. mäßig sauren Silikatquellen, es folgt eine Gruppe aus zwei Mineralquellen der Eifel (braun), dann zwei Gruppen mit schwach sauren Silikatquellen (blaugrün), eine Quelle des Haardrandes (violett) und eine aus drei Kleingruppen bestehende Gruppe aus sechs Karbonatquellen (hellblau). Die beiden Mineralquellen der Eifel in der dritten Gruppe (braun) haben eine spezielle Hydrochemie (viel Kalzium mit hartem Wasser bzw. hohem Zinkgehalt), beide Quellen besitzen dabei eine niedrige Sauerstoffsättigung unter 50 %. Die unteren Gruppen (hellblau) bestehen mehr oder weniger aus Karbonatquellen, so einer Quelle des Haardrandes und sechs Quellen, die sich auf drei Kleingruppen aufteilen. Hierbei bilden zwei Kalksinterquellen aus verschiedenen Regionen (Mittelrheintal, Schichtstufenland) eine Untergruppe, eine kalkreiche Quelle des Mittelrheintals steht dicht daneben. Letztlich bilden drei Quellen des Nördlichen Hunsrücks mit einer Quelle des Nordpfälzer Berglandes eine Gruppe, die relativ sauer ist, gleichzeitig aber mittlere Mineraliengehalte sowie

D Ergebnisse

einen höheren Nitratgehalt und etwas erhöhte Nickel- und Zinkgehalte aufwiesen. Diese Quellen stehen in ihrer Hydrochemie zwischen Karbonat- und Silikatquellen.

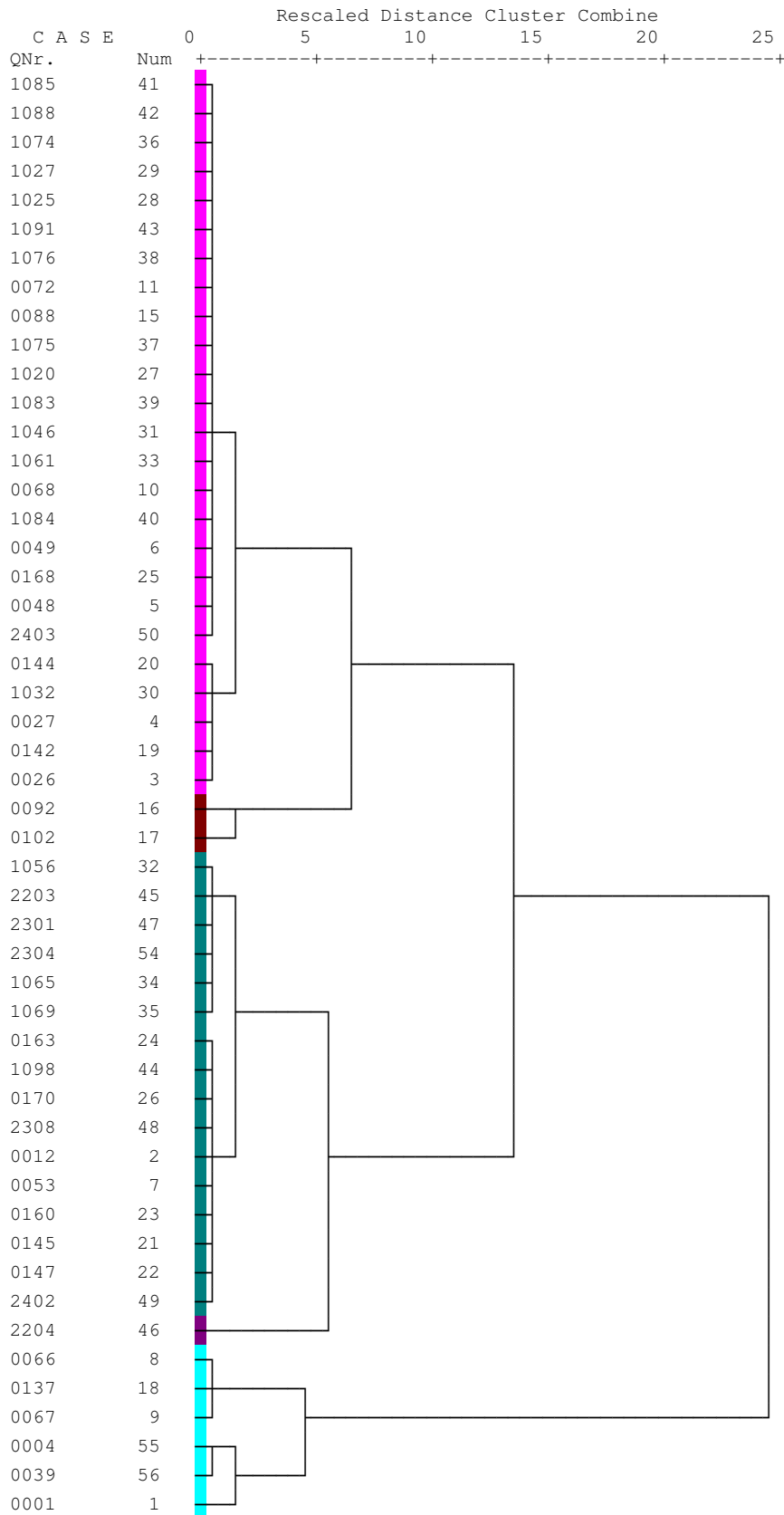


Abb. D4/43: Clusteranalyse der chemischen Vor-Ort-Parameter (Ward-Methode) mit Quellnummern, s. Text

Eine multidimensionale Skalierung der gleichen Daten wurde für alle Quellen aufgrund unzureichender Da-

tenlage nicht erstellt, da nur die Vor-Ort-Parameter benutzt werden konnten (vgl. Kap. E). Stattdessen wird eine MDS der aggregierten hydrochemischen Daten von SCHINDLER & HAHN (2000) gezeigt (Abb. E4/44). Die Abkürzungen der Naturräume lauten: Südlicher (sm) und Nördlicher Mittelrhein (nm), Schichtstufenland (sl), Westerwald (ww), Vulkaneifel (ve), Kalkeifel (ke), Nördlicher (nh) und Südlicher Hunsrück (sh), Bienwald (bw), Haardtrand (hr), Donnersberg (db), Westrich (we) und Pfälzerwald (pw).

Multidimensionale Skalierung der Naturräume

(Daten von SCHINDLER & HAHN 2000)

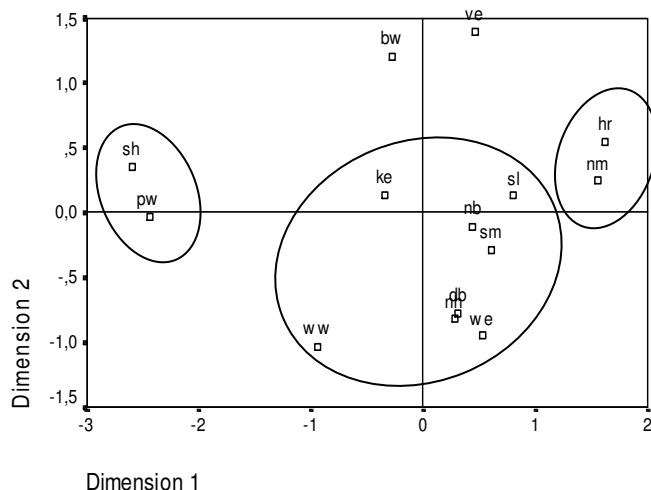


Abb. D4/44: Multidimensionale Skalierung der aggregierten, hydrochemischen Daten nach SCHINDLER & HAHN (2000), Naturräume abgekürzt, Stress = 0,0834; RSQ = 0,9700)

In Abbildung D4/44 fallen räumliche Gruppierungen von Naturräumen zu großen und kleinen Gruppen auf, wenige Naturräume stehen isoliert. Sehr deutlich ist die Gruppe mit dem Südlichen Hunsrück und dem Pfälzerwald. Sie liegt graphisch weit links, während sich im rechten Bereich eine Hauptgruppe um den Nördlichen Hunsrück und den Südlichen Mittelrhein versammelt. Etwas abseits liegen Bienwald und Vulkaneifel. Die Anordnung der Naturräume war für die Leitartenabgrenzung von Interesse. Interessant sind Korrelationen verschiedener hydrochemischer Parameter mit den beiden Dimensionen von Abbildung D4/44, wobei in SCHINDLER & HAHN (2000) Korrelationen vor allem für Dimension 1 genannt sind, vor allem mit dem pH-Wert vor Ort und mit Mangan, aber auch mit der Leitfähigkeit, dem Nitratgehalt, Chlorid und negative für Aluminium. In der Darstellung nimmt also nach links hin der pH-Wert, die Leitfähigkeit und der Nitratgehalt ab, Aluminium dagegen zu. Korrelationen zu Dimension 2 waren nicht eindeutig.

Die Clusteranalyse der **Fauna** der 56 Referenzquellen zeigt Abbildung D4/45, die MDS Abbildung D4/46. Die Clusteranalyse gibt die bessere Übersicht und zeigt eine Aufspaltung in einige große und viele kleinere Gruppen, wobei die Gruppen nur schwer zu trennen sind. Die oberste Gruppe besteht aus stärker sauren Sturz- und Sickerquellen (oft Hunsrück und Pfälzerwald) mit versauerungsresistenten Arten. Die nächste und größte Gruppe besteht aus schwach sauren Silikatquellen, oft Sturzquellen des Pfälzerwaldes. Die ersten beiden Gruppen (pink) bestehen somit aus relativ sauren, z. T. periodischen Silikatquellen, die durch das Fehlen von *Gammarus fossarum* und durch stetiges Auftreten von *Polycelis felina* und Plecopteren gekennzeichnet sind. Die anderen Gruppen, die sich teilweise sehr stark aufspalten, bestehen aus unversauerten (Tümpel-)Quellen verschiedener Naturräume mit stetem Vorkommen von *G. fossarum*, oft mit Kalksinterquellen. Bei den unübersichtlichen Kleingruppen rückt die MDS die Karbonat- und Kalksinterquellen klarer zusammen (Abb. D4/46, Kreis links oben). Die unteren, stark aufgespaltenen Kleingruppen setzen sich aus unversauerten Tümpel- und Sturzquellen des Pfälzerwaldes zusammen (Hangfuß, hohe Schüttung). Es sind aber auch zwei Sickerquellen aus dem Westerwald sowie zwei Quellen des Donnersberges darunter.

D Ergebnisse

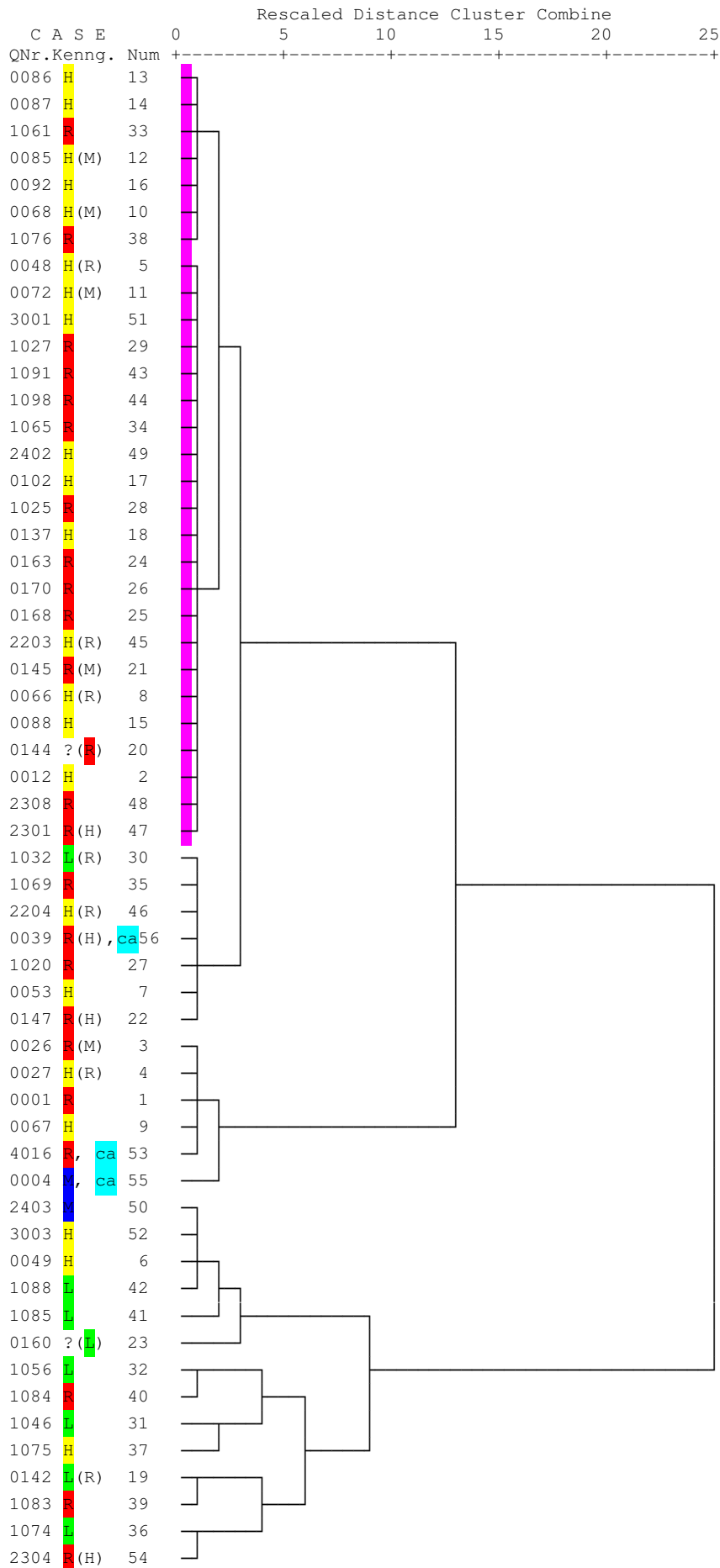


Abb. D4/45: Clusteranalyse der faunistischen Daten (Ward-Methode) mit Quellnr. und Quelltypkennung

D Ergebnisse

Multidimensionale Skalierung der Fauna (56 Referenzquellen, Chi-Quadrat)

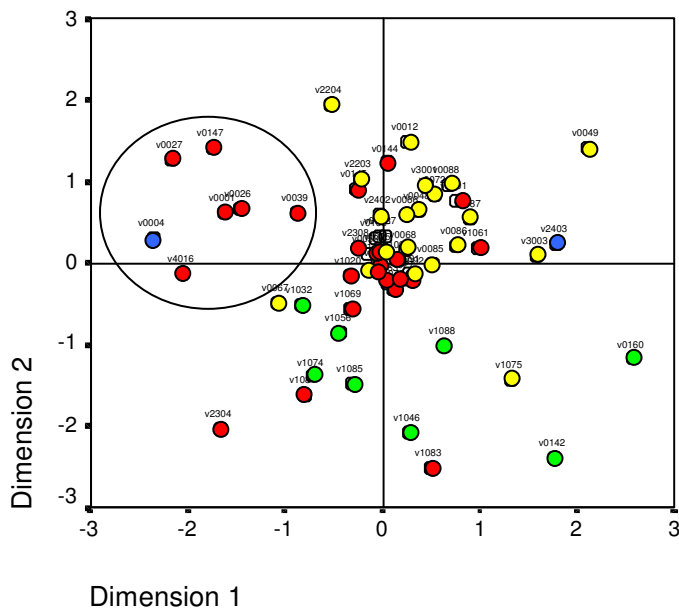


Abb. D4/46: Multidimensionale Skalierung der Fauna (Quellnummern, Stress = 0,2365; RSQ = 0,7807)

Die MDS der faunistischen Daten von SCHINDLER & HAHN (2000) zeigen, dass die Fauna sowohl die Geologie als auch die Hydrochemie gut widerspiegelt. Wie bei der Hydrochemie (Abb. D4/44) liegen bei der Fauna pufferarme, versauerungsgefährdete Naturräume wie Pfälzerwald und Südlicher Hunsrück dicht beisammen, saure Quellbäche des Hunsrück etwas abseits (Abb. D4/47). Isoliert stehen Haardtrand und Bienwald und nicht ganz so weit entfernt die Vulkaneifel. Gruppiert liegen als Hauptgruppe Nördlicher Hunsrück, Westerwald, Kalkeifel und Westrich als kalkreiche Naturräume daneben. Der Südliche Mittelrhein ist ebenfalls in der Gruppe, ebenso Nordpfälzer Bergland und Donnersberg, beide mit ähnlicher Geologie. Der Nördliche Mittelrhein steht bei der Fauna im Gegensatz zur Hydrochemie sehr nahe bei der Hauptgruppe, der er auch noch zugerechnet werden kann.

Multidimensionale Skalierung der Naturräume (Daten von SCHINDLER & HAHN 2000)

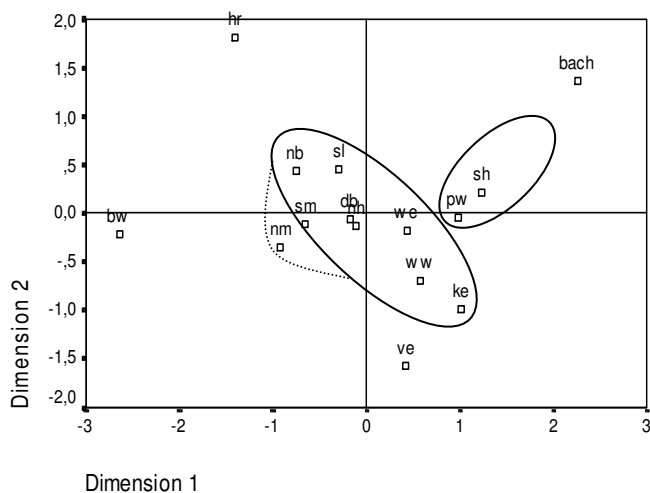


Abb. D4/47: Multidimensionale Skalierung der aggregierten, faunistischen Daten nach SCHINDLER & HAHN (2000, Stress = 0,1545; RSQ = 0,9008, Naturräume abgekürzt, Hunsrückquellbäche = bach)

D Ergebnisse

Um herauszufinden, ob faunistische Quelltypen differenzierbar sind, wurden die Basisquelltypen mit den Naturräumen bzw. den Grundwasserlandschaften gekoppelt und faunistisch ausgewertet. Die Ergebnisse zeigen die beiden multidimensionalen Skalierungen in Abbildung D4/48 und D4/49. Hierbei gelten die oben genannten Abkürzungen der Naturräume (erste 2 Buchstaben) und die Abkürzungen für die Basisquelltypen (dritter Buchstabe) aus Abbildung D2/17. Falls der dritte Buchstabe ein „g“ ist, ist die betreffende Gruppe der Quellen gefasst. Bei den Grundwasserlandschaften sind abgekürzt (erste 2 Buchstaben): Rotliegend-Mag-

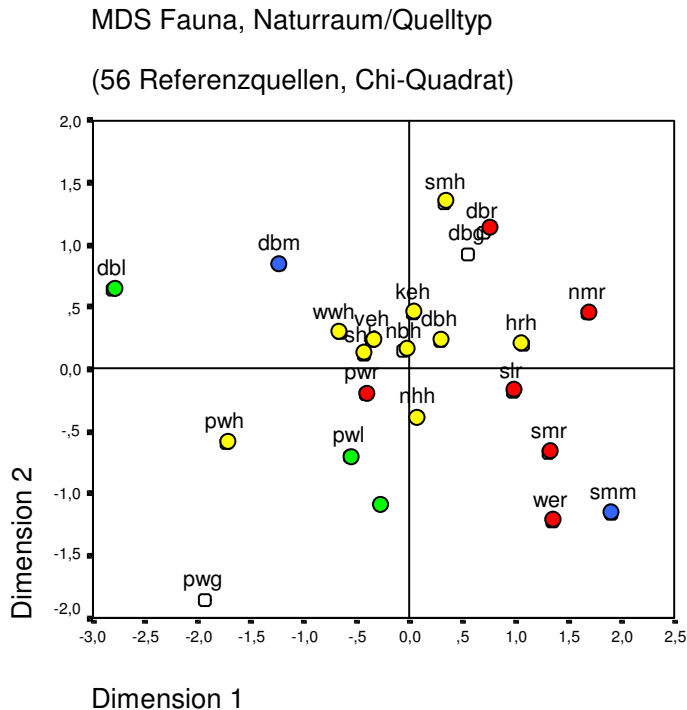


Abb. D4/48: Multidimensionale Skalierung der Fauna und der Basisquelltypen, gekoppelt mit Naturräumen (Quellnummern, Stress = 0,1936; RSQ = 0,8413)

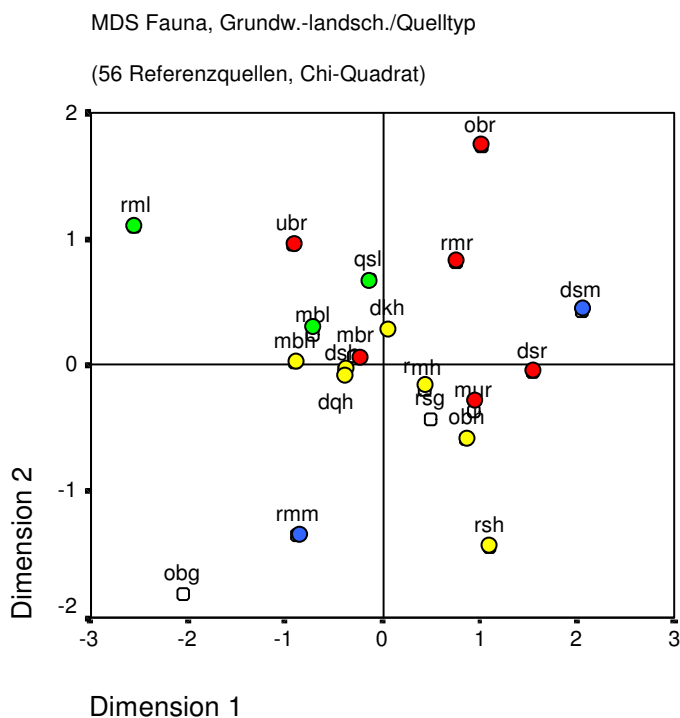


Abb. D4/49: Multidimensionale Skalierung der Fauna und der Basisquelltypen, gekoppelt mit Grundwasserlandschaften (Quellnummern, Stress = 0,1851; RSQ = 0,8522)

matite (rm), Rotliegend Sedimente (rs), Oberer Buntsandstein (ob), Mittlerer Buntsandstein (mb), Unterer Buntsandstein (ub), Devonische Schiefer und Grauwacken (ds), Quartäre Sedimente (qs), Devonische Kalke (dk) und Muschelkalk (mu). Die Abbildungen zeigen, dass sich bei fast allen Naturräumen und Grundwasserlandschaften Unterschiede bei der Besiedlung verschiedener Quelltypen ergeben, so etwa beim Donnersberg bzw. den Rotliegend- Magmatiten oder beim oberen Buntsandstein. Die genaue Interpretation erfolgt in Kapitel E.

D 4.5 Referenzzönosen und Leitarten

Bei einer faunistischen Bewertung kann es sinnvoll und zeitsparend sein, nicht alle Arten und Quellarten zu bestimmen, sondern über die Auswertung praktikabler Leitzönosen und Schlüsselarten gezielt und schnell Quellen ökologisch zu bewerten. Leitzönosen sind bisher kaum beschrieben, lediglich GAUTERIN (1999) hat einen Vorschlag zu einer überregionalen Quelltypologie mit einer Beschreibung einer Zoozönose vorgelegt (*Crenobia alpina-Bythinella dunkeri*-Zoozönose). Da die Bedeutung der hochspezifischen Fauna für die Beurteilung und wissenschaftliche Charakterisierung von Quellbiotopen groß ist, können naturferne Quellen weniger über Schadzeiger, sondern durch das Fehlen von Leitarten bewertet werden. Ein solches System bietet den Vorteil des integrierten Ansatzes, d. h. bei der Untersuchung vieler Quellen kann die Untersuchung aller Einzelparameter wie Chemie, Morphologie, Struktur, Umfeld und Einzugsgebiet u. U. abgekürzt werden. Die Ansprüche der Fauna spiegeln dabei ein Abbild der Umweltfaktoren wider, so dass die Bewertung nach einem über alle Umweltparameter integrierenden Gesamtparameter erfolgt. Die Voraussetzung für diese Art der Bewertung sind allerdings Leitbilder mit Artenspektren, die für Quellen noch nicht entwickelt sind, während bei anderen Fließgewässern die Entwicklung bereits weiter vorangeschritten ist.

Bisher existiert für Quellen neben dem faunistischen Bewertungsansatz von FISCHER und der Arbeit von ZOLLHÖFER die bereits erwähnte Arbeit von GAUTERIN (1999). Leitarten sind solche, die in einem Lebensraum/-komplex oder wenigen Lebensräumen signifikant höhere Stetigkeiten und oft höhere Abundanzen erreichen als in allen anderen Lebensräumen/-komplexen (KRATOCHWIL & SCHWABE 2001). Zoologische Leitarten finden in diesen Lebensräumen die notwendigen Ressourcen und Requisiten wesentlich häufiger und regelmäßiger als in allen anderen Gebieten. Dabei müssen diese Lebensräume/-komplexe regional betrachtet werden („relative Stenotypie“ nach KRATOCHWIL & SCHWABE 2001). Nach TISCHLER (1993) existieren Grade der Zönosezugehörigkeit, z. B. zönoseeigene, zönoseverwandte Arten oder Besucher. Leitarten für Quellen sind insbesondere Arten, die mit einer gewissen Stetigkeit in Quellbiotopen vorkommen. Deshalb werden zunächst die stetigsten krenobionten Taxa zusammengestellt (Tab. D4/7).

Tab. D4/7: Krenobionte Taxa der Gesamtartenliste aller Quellen und Stetigkeiten in Prozent

Krenobionte Taxa	Stetigkeit
<i>Crunoecia irrorata</i>	34,8
<i>Niphargus sp.</i>	23,2
<i>Bythinella dunkeri</i>	17,1
<i>Pisidium personatum</i>	16,8
<i>Salamandra salamandra</i>	9,7
<i>Agabus guttatus</i>	6,1
<i>Thaumalea sp.</i>	5,2
<i>Crenobia alpina</i>	4,8
<i>Oxycera sp.</i>	4,2
<i>Beraea maura</i>	3,2
<i>Pedicia rivosa</i>	2,6
<i>Tonnoiriella pulchra</i>	1,9
<i>Ernodes articularis</i>	1,6
<i>Hydroporus longulus, Ptilocolepus granulatus, Beris sp.</i>	jew. 1,3
<i>Proasellus cavaticus, Hydroporus ferrugineus, Adicella filicornis, Diplectrona felix,</i>	
<i>Parachiona picicornis, Rhyacophila laevis, Simulium crenobium, Tonnoiriella sp.</i>	jew. < 1

Als Leitarten eignen sich nur Arten aus naturnahen Quellen, weshalb eine Stetigkeitsliste ausschließlich für die 56 strukturellen und faunistischen Referenzquellen gezeigt wird (Tab. D4/8). Hierbei stehen quellassozierte Taxa im Mittelpunkt, über einer Präsenz von 20 % sind auch andere Taxa angegeben. Gesellschaften geschädigter Quellen sind eher Derivatgesellschaften (GAUTERIN 1999). Häufige krenobionte Taxa sind vor allem *Crunoecia irrorata*, *Bythinella dunkeri*, *Niphargus sp.* und *Pisidium personatum*. In Tabelle D4/8 sind die Häufigkeiten zur besseren Übersicht nach TISCHLER (1993) durch Graustufen in vier übliche Präsenzklassen eingeteilt. Sie reichen von sehr häufig (> 75 %, dunkelgrau) über häufig (50-75 %, mittelgrau) und verbreitet (25-50 %, hellgrau) bis selten (< 25 %, weiß). Sehr häufige Arten können hierbei nach GAUTERIN (1999) als Leitformen definiert werden, aber auch weniger häufige können Charakterarten sein.

Tab. D4/8: Taxa der Artenliste (meist quellassoziert = fett) der 56 Referenzquellen und Stetigkeiten in %

Taxon	Stetigkeit	Taxon	Stetigkeit
<i>Crunoecia irrorata</i>	75,47	<i>Drusus annulatus</i>	5,66
<i>Polycelis felina</i>	66,04	<i>Micropterna nycterobia</i>	5,66
<i>Nemoura sp.</i>	58,49	<i>Stenophylax cf. vibex</i>	5,66
<i>Gammarus fossarum</i>	50,94	<i>Ulomyia fuliginosa</i>	5,66
<i>Bythinella dunkeri</i>	47,17	<i>Crenobia alpina</i>	3,77
<i>Leuctra sp.</i>	47,17	<i>Diura bicaudata</i>	3,77
<i>Niphargus sp.</i>	45,28	<i>Elmis latreillei</i>	3,77
<i>Sericostoma cf. personatum</i>	37,74	<i>Ernodes articularis</i>	3,77
<i>Nemurella pictetii</i>	35,85	<i>Micropterna sequax/lateralis</i>	3,77
<i>Elodes sp.</i>	35,85	<i>Ptilocolepus granulatus</i>	3,77
<i>Beraeidae indet.</i>	33,96	<i>Wormaldia occipitalis</i>	3,77
<i>Anacaena globulus</i>	32,08	<i>Pedicia rivosa</i>	3,77
<i>Plectrocnemia conspersa</i>	26,42	<i>Tonnoiriella pulchra</i>	3,77
<i>Dixa sp.</i>	26,42	<i>Adicella filicornis</i>	1,89
<i>Pisidium casertanum</i>	22,64	<i>Beraea pullata</i>	1,89
<i>Pedicia sp.</i>	22,64	<i>Micropterna lateralis</i>	1,89
<i>Pisidium personatum</i>	20,75	<i>Rhyacophila laevis</i>	1,89
<i>Protonemura sp.</i>	20,75	<i>Clytocerus ocellaris</i>	1,89
<i>Salamandra salamandra</i>	20,75	<i>Dolichopeza albipes</i>	1,89
<i>Beraea maura</i>	15,09	<i>Feuerborniella obscura</i>	1,89
<i>Plectrocnemia geniculata</i>	15,09	<i>Oxycera sp.</i>	1,89
<i>Agabus guttatus</i>	9,43	<i>Simulium crenobium</i>	1,89
<i>Beris sp.</i>	9,43	<i>Szaboiella hibernica</i>	1,89
<i>Potamophylax nigricornis</i>	9,43	<i>Telmatoscopus pseudolongicornis</i>	1,89
<i>Chaetopteryx major</i>	7,55	<i>Tonnoiriella sp.</i>	1,89
<i>Thaumalea sp.</i>	7,55	<i>Ulomyia undulata</i>	1,89

Es zeigte sich bei der Besiedlung, dass insbesondere die Grundwasserlandschaften von Bedeutung sind, da diese eng mit der Hydrochemie zusammenhängen. Außerdem spiegeln sie strukturelle Faktoren wie Quelltypen und Quelltypenräume und auch die Höhenlage sehr gut wider. Aus diesen Gründen wurden zur Abtrennung von Gebieten für die Leitartenerstellung Grundwasserlandschaften bevorzugt. Die 56 Referenzquellen betreffend, gibt es acht Grundwasserlandschaften, wobei drei von ihnen nur eine Referenzquelle enthalten (Muschelkalk/Keuper, devonischer Kalkstein und quartäre Sedimente). Diese drei Grundwasserlandschaften wurden wegen der geringen Stichprobe als Räume für die Leitartenbeschreibung zunächst nicht berücksichtigt, so dass Karbonatquellen, die fast ausschließlich im Muschelkalk und in Devonischen Kalken vorkommen, zunächst wegfallen. Es bleiben als Grundwasserlandschaften, in denen Referenzzönosen beschrieben werden, Buntsandstein (27 Referenzquellen), Rotliegendes (7 Referenzquellen, Magmatite und Sedimente zusammengefasst), Devonische Schiefer und Grauwacken (12 Referenzquellen) sowie Devonische Quarzite (7 Referenzquellen) übrig. Es sind fast ausschließlich Silikatquellen berücksichtigt, das Rotliegendes kann als etwas kalkreicheres Gestein gelten, nimmt aber zwischen Kalk- und Silikatgewässern eher eine Mittelstel-

E Ergebnisse

lung ein. Trotzdem sind zwei Sinterquellen enthalten, deren Wasser aber aus relativ kalkarmen Einzugsgebieten stammt (Rotliegendes bzw. Tonschiefer mit jeweils geringer Sinterbildung). Die Grundwasserlandschaften entsprechen weitgehend den Quellräumen, lediglich Tonschiefer kommt in mehreren Quellräumen vor (Westerwald, Eifel, Hunsrück). Die Tabellen D4/9 bis D4/12 zeigen die Stetigkeiten der quellassozierten Fauna der jeweiligen Referenzquellen in den vier genannten Grundwasserlandschaften.

Tab. D4/9: Quellassozierte Taxa der 27 Referenzquellen des Buntsandsteins und Stetigkeiten > 20 %

Taxon	Stetigkeit
<i>Polycelis felina</i>	92,59
<i>Crunoecia irrorata</i>	77,78
<i>Bythinella dunkeri</i>	51,85
<i>Beraeidae indet.</i>	40,74
<i>Nemurella pictetii</i>	33,33
<i>Sericostoma cf. personatum</i>	33,33
<i>Salamandra salamandra</i>	25,93
<i>Pisidium sp.</i>	22,22
<i>Sericostoma sp.</i>	22,22

Tab. D4/10: Quellassozierte Taxa der 7 Referenzquellen des Rotliegenden und Stetigkeiten > 20 %

Taxon	Stetigkeit	Taxon (Fortsetzung)	Stetigkeit
<i>Niphargus sp.</i>	85,71	<i>Polycelis felina</i>	28,57
<i>Anacaena globulus</i>	71,43	<i>Pisidium personatum</i>	28,57
<i>Crunoecia irrorata</i>	71,43	<i>Diura bicaudata</i>	28,57
<i>Sericostoma cf. personatum</i>	57,14	<i>Micropterna nycterobia</i>	28,57
<i>Bythinella dunkeri</i>	42,86	<i>Micropterna (sequax) / lateralis</i>	28,57
<i>Agabus guttatus</i>	42,86	<i>Thaumalea sp.</i>	28,57
<i>Beraea maura</i>	42,86	<i>Tonnoiriella pulchra</i>	28,57
<i>Beraeidae indet.</i>	42,86	<i>Ulomyia fuliginosa</i>	28,57
<i>Sericostoma sp.</i>	42,86		

Tab. D4/11: Quellassozierte Taxa der 12 Referenzquellen der Devonischen Schiefer u. Stetigkeiten > 20 %

Taxon	Stetigkeit
<i>Crunoecia irrorata</i>	91,67
<i>Niphargus sp.</i>	75,00
<i>Bythinella dunkeri</i>	58,33
<i>Pisidium sp.</i>	41,67
<i>Nemurella pictetii</i>	41,67
<i>Sericostoma cf. personatum</i>	41,67
<i>Pedicia sp.</i>	41,67
<i>Pisidium personatum</i>	33,33
<i>Anacaena globulus</i>	33,33
<i>Beraeidae indet.</i>	33,33
<i>Polycelis felina</i>	25,00
<i>Chaetopteryx major</i>	25,00
<i>Plectrocnemia geniculata</i>	25,00
<i>Sericostoma sp.</i>	25,00
<i>Salamandra salamandra</i>	25,00

Tab. D4/12: Quellassozierte Taxa der 7 Referenzquellen der Devonischen Quarzite und Stetigkeiten > 20 %

Taxon	Stetigkeit
<i>Niphargus sp.</i>	85,71
<i>Polycelis felina</i>	71,43
<i>Nemurella pictetii</i>	57,14
<i>Anacaena globulus</i>	57,14
<i>Crunoecia irrorata</i>	42,86
<i>Pisidium sp.</i>	28,57
<i>Sericostoma cf. personatum</i>	28,57
<i>Sericostoma sp.</i>	28,57
<i>Pedicia sp.</i>	28,57

Als Leitformen eignen sich insbesondere krenobionte Arten (fett, unterstrichen), da sie aufgrund ihrer Stenotopie gut zur Charakterisierung von Quellen herangezogen werden können. Für alle 56 Referenzquellen ist deshalb als Leitart *Crunoecia irrorata* zu nennen, ferner *Polycelis felina* und als weitere Begleiter *Bythinella dunkeri*, *Niphargus sp.*, *Sericostoma cf. personatum*, *Nemurella pictetii*, *Beraeidae indet.* und *Anacaena globulus*. Die krenobionten Arten *C. irrorata*, *B. dunkeri* und *Niphargus* haben hierbei besonderes Gewicht. Für den Buntsandstein sind Leitarten vor allem *Crunoecia irrorata* mit *Polycelis felina*, krenobionte Begleiter sind *Bythinella dunkeri* und *Salamandra salamandra*. Im Rotliegenden ist die Leitart *Niphargus sp.*, krenobionter Begleiter ist vor allem *Crunoecia irrorata*, aber auch *Bythinella dunkeri*, *Agabus guttatus*, *Beraea maura*, *Pisidium personatum*, *Thaumalea sp.* und *Tonnoiriella pulchra*. Im Tonschiefer sind Leitarten *Crunoecia irrorata* und *Niphargus sp.*, krenobionte Begleiter vor allem *Bythinella dunkeri*, aber auch *Pisidium personatum* und *Salamandra salamandra*. Im Taunusquarzit ist die Leitart *Niphargus sp.*, krenobionter Begleiter ist *Crunoecia irrorata*. Die Besiedlung naturnaher Quellen des Buntsandsteins ist, wie bereits vorher beschrieben, eng mit den Devonischen Quarziten verwandt. Tonschiefer und Rotliegendes unterscheiden sich dagegen stärker sowohl untereinander, als auch von den beiden erstgenannten. Trotzdem sind die Unterschiede zwischen allen vier, mehr oder weniger silikatischen Bereichen in ihrer Besiedlung nicht besonders groß.

Insgesamt zeigen sich also gewisse Ähnlichkeiten in der Besiedlung der vier Grundwasserlandschaften, so dass die Gesellschaften nur schwer zu trennen sind. Dies liegt vor allem an den ähnlichen Stetigkeiten und Häufigkeiten, wobei bei der unterschiedlichen Rangfolge der Säurestatus der Quelle eine große Rolle spielen dürfte (vgl. Kap. E). So ist z. B. im Taunusquarzit *Bythinella* recht selten. Trotz der unterschiedlichen Rangfolgen werden hier die beiden Leitformen *Crunoecia irrorata* und (eingeschränkt, weil nicht krenobiont) *Polycelis felina* für silikatische Quellen in den Hauptmittelgebirgen von Rheinland-Pfalz vorgeschlagen. Hinzu treten *Bythinella dunkeri* und/oder *Niphargus sp.*, so dass bei Nachweis dieser Arten auf jeden Fall von einer naturnahen und quelltypischen Besiedlung auszugehen ist. Insbesondere *Bythinella* ist hierbei die stenökste Art, die ausschließlich und nur an direkten Quellaustritten vorkommt. Sie erfüllt die Ansprüche einer Leitart insgesamt am besten, wenn sie auch nicht ganz so häufig ist wie *Crunoecia irrorata*.

Wenn auch naturnahe Kalksinterquellen sehr selten waren, so soll der Vollständigkeit halber noch kurz auf die Besiedlung einer besonders typischen Kalksinterquelle aus der Kalkeifel eingegangen werden (Quelle Nr. 0181). *Polycelis felina* ist hier weitgehend durch die häufige *Crenobia alpina* ersetzt und es kommen weitere quellassozierte Mollusken vor. Neben der üblichen Quellbesiedlung treten kalkliebende Köcherfliegen wie *Rhyacophila laevis*, *R. tristis* und *Tinodes unicolor* in geringer Abundanz hinzu. Insbesondere ist *Crenobia alpina* als Leitart kalkreicherer Quellen hervorzuheben.

Die Zoozönosen für verschiedene Quelltypen werden überlagert vom Einfluß der Grundwasserlandschaften, weshalb eine Darstellung der Zoozönosen nur für die Quelltypen nicht sinnvoll ist. Trotzdem spielt der Quelltyp bei gleicher Grundwasserlandschaft eine nicht zu unterschätzende Rolle, so dass verschiedene Quelltypen teilweise unterschiedlich besiedelt sind. Im mittleren Buntsandstein liegen die einzelnen Quelltypen allerdings dichter beisammen als in Landschaften anderer Geologie (Abb. D4/49). Einige wichtige Differentialarten sollen noch hervorgehoben werden. Als Charakterart für Tümpelquellen im mittleren Buntsandstein ist etwa *Bythinella dunkeri* in Begleitung von *Gammarus fossarum* zu nennen. Die erste Art ist auch Leitart für Limnokrenen in Rotliegend-Magmatit und für Sickerquellen im Devonischen Schiefer, jeweils unter Begleitung von *Polycelis felina*. Im Tonschiefer tritt außerdem *G. fossarum* und *Niphargus sp.* hinzu. Für die Beschreibung genauer Lebensgemeinschaften für Quelltypen einer Grundwasserlandschaft waren die Stichprobenzahlen für die einzelnen naturnahen Quelltypen allerdings zu gering, so dass bei der Beprobung der Zufall eine zu große Rolle spielte. Hier wäre die intensive Beprobung ausgewählter, naturnaher Quellen und die Beschreibung von Leitzönosen sinnvoll, ähnlich der Pfalzuntersuchung.

E Diskussion

In diesem Kapitel werden die unter Kapitel D dargestellten Ergebnisse interpretiert und in einen größeren Zusammenhang gestellt. Die Gliederung orientiert sich an Kapitel D, so dass anhand der Kapitelnummerierung schnell das betreffende Kapitel oder dessen Abbildungen nachgeschlagen werden kann.

E 1 Naturkundliche Übersicht über die Quellen von Rheinland-Pfalz

E 1.1 Landesweite hydrogeologische Übersicht und Quellraumbene

Die vorliegende Arbeit beinhaltet die bislang größte Untersuchung von Quellen in Rheinland-Pfalz, die umfangreiche Daten von 334 Quellen zusammenfasst. Trotz des Umfangs ist in verschiedenen Regionen die Datenlage noch immer unzureichend, besonders in Regionen mit starker landwirtschaftlicher Nutzung, wo naturnähere Quellen oft nicht mehr gefunden wurden. Dies betrifft vor allem das Schichtstufenland, den Westrich, den Westerwald, den Nördlichen Hunsrück und die Kalkeifel. Dennoch kann eine Übersicht über Struktur, Hydrochemie, faunistische Besiedlung und den Schädigungszustand gegeben werden. Da sich die Arbeit aus sechs Untersuchungen zusammensetzt (vgl. Tab. C 1), ist bei den einzelnen Untersuchungen zu beachten, dass einzelne Quellen in mehrere der Untersuchungen aufgenommen und ausgewertet wurden. Wegen der Vielzahl mittlerer und kleiner Quellen in Rheinland-Pfalz kann es keine landesdeckende Kartierung aller Quellen geben. Die kartierten Quellen dürften einen Anteil von unter 1 % aller rheinland-pfälzischen Quellen ausmachen. In der Pfalz und insbesondere im Pfälzerwald ist die Datenlage allerdings günstiger im Vergleich zu anderen Landesteilen, dort dürften über 5 % der Quellen kartiert sein. Aus diesem Grund finden sich auch die meisten Quellen im Buntsandstein des Pfälzerwaldes.

Weiterhin ist zu beachten, dass die vorliegenden Ergebnisse auf stärker schüttenden Quellen basieren, also in erster Linie auf perennierenden und weniger auf periodischen Quellen beruhen. So dürften schwach schüttende Quellen weniger stark verbaut, dafür aber stärker versauert sein, da sie öfter in Mittel- und Oberhanglage liegen. Der Grund für die Auswahl perennierender Quellen ist die nicht vergleichbare Biozönose mit periodisch-ephemeren Quellen. Das Austrocknen wird als einschneidendes Ereignis nur von speziell angepassten Organismen, häufig Dipteren, überdauert. Außerdem tritt wegen Temperaturschwankungen die Kaltstenothermie in den Hintergrund. Feuchte Bodenbereiche bilden hierbei ein Refugium für Lebewesen und deren Überdauerungsstadien. Weiterhin wurden Grenzfälle für Quellen vernachlässigt, die nicht in das Zielschema passten, z. B. Grundquellen, wo Austauschvorgänge zwischen Grund- und Oberflächenwasser an der Quellbachsohle stattfinden. Da sie vom darüber fließenden Gewässer überprägt sind, werden sie aber in der Regel nicht als eigenständiger Biotop aufgefasst. Allerdings kann sich in solchen Quellbächen die Quellfauna längszonal länger halten (vgl. E 4.3.3).

Trotz der Auswahl stärker schüttender Quellen mussten 26,5 % der Quellen aus SCHINDLER & HAHN (2000) als periodisch eingestuft werden. Dies ist ein weit größerer Anteil als vermutet wurde, so dass insgesamt ein guter Teil der untersuchten Quellen mehr oder weniger periodisch schütten dürfte. Die Wasserführung und Schüttung ist hierbei vom Einzugsgebiet abhängig (HÖLTING 1989) und hängt von der Beschaffenheit des Grundwasserleiters, insbesondere der Durchlässigkeit, dem Speichervermögen, der Größe und Niederschlagsverteilung im Einzugsgebiet, der Verdunstung, dem Relief, dem Boden und der Vegetation ab. Die Schüttung beeinflusst die Substratzusammensetzung und dadurch die Ausprägung und Festlegung aquatischer Kleinhabitate und die Größe der Populationen einzelner Arten. Nach MATTHEß & UBELL (1983) sind Quellschüttungsänderungen das Ergebnis von Wechselbeziehungen zwischen Niederschlag, Infiltration, Grundwasserneubildung und unterirdischem Abfluss, weshalb ein gewisser jahreszeitlicher Gang entsteht,

wobei sich auch übergeordnete Klimaschwankungen in der Quellschüttung zeigen (MATTHEB & UBELL 1983, FISCHER et al. 1998). Ein jahreszeitlicher Gang konnte bestätigt werden (Abb. D1/2). Der Rückgang der Schüttung im Sommer mit einem Maximum am Winterende von Februar bis April entspricht anderen Untersuchungen (z. B. FIEDLER-WEIDMANN & HAHN 1996). Die Erhöhung während der Wintermonate bestätigt auch LASAR (1987). LASAR bestätigt ebenfalls, dass bei Tonschieferquellen kurzzeitige Schüttungsänderungen bei verschiedenen Niederschlagsperioden auftreten, was bei Buntsandsteinquellen nicht der Fall ist. Die bei LASAR (1987) genannten Tonschieferquellen besaßen eine mittlere Schüttung von 0,77 l/s, was mit den eigenen Ergebnissen (Median: 0,4 l/s, Mittelwert: 0,95 l/s) recht gut übereinstimmt.

Die Fähigkeit des Grundwasserleiters, Wasser zu speichern und zu transportieren, wird durch den Anteil an Poren und Klüften bestimmt (BAUMGARTNER & LIEBSCHER 1996), je nach gravitativ entleerbarem Anteil des Hohlraumvolumens (speichernutzbarer Hohlraumanteil, vgl. Anhang). Er differiert für verschiedene Locker- und Festgesteine. Ist er hoch, können sich große Wassermengen auf kleinen Flächen konzentrieren, ist er gering, tritt das Wasser über eine große Fläche verteilt aus, wobei die Einzelschüttung gering ist und viele abflusslose Nassstellen entstehen. Bei undurchlässigen Gesteinen und Böden ist die Grundwasserneubildung geringer als in durchlässigen Aquiferen (DAVIES & DE WIEST 1967 in MATTHEB & UBELL 1983). Große Einzugsgebiete mit hoher Wasserspeicherkapazität in Porenleitern speisen ausdauernde Quellen mit relativ gleichförmiger Schüttung, während kleine Einzugsgebiete mit geringer Grundwasserspeicherkapazität periodische Quellen mit schwankenden Schüttungen oder Karstquellen speisen (POTT & REMY 2000). Die größten und ausgeglichensten Schüttungen wurden insgesamt im Buntsandstein des Pfälzerwaldes gefunden, was auf dessen größeres Wasserspeichervermögen mit einem gewissen Porenanteil zurückzuführen ist.

Die Geologie bestimmt ebenfalls die Schüttung, aber auch die Wassereigenschaften, die Korngröße und die Substratverteilung. Außerdem beeinflusst sie in größerem Maßstab die Quelledichte und dadurch die Talbildung. Die Quelledichte wird in Karten als Flusssichte kenntlich, wobei nur größere Quellen in der Karte eingetragen sind (Abb. B4/1). Die Quelledichte ist auf Keuper und kristallinem Grundgestein hoch, deutlich geringer in porenreichem Sandstein und extrem gering im Kalkgestein (BOHLE 1995). Dies ist häufig gekoppelt mit der Einzelschüttung der Quelle, die in der angegebenen Reihenfolge zunimmt (Tab. E1/1, FISCHER et al. 1998). Die stärksten Quellen sind demzufolge Karstquellen. Durchlässige Gesteine besitzen eine geringere Quelledichte (MATTHEB & UBELL 1983). Wechselbeziehungen zwischen Grund- und Oberflächenwasser zeigen sich auch im Vorkommen von Bachschwinden, z. B. im mittleren Buntsandstein (MATTHEB & THEWS 1963 in MATTHEB & UBELL 1983). Dominierend in Rheinland-Pfalz ist Tonschiefer, welchen im Vergleich zu Buntsandstein eine höhere Quelledichte, aber eine deutlich geringere Schüttung auszeichnet. Tabelle E1/1 konnte weitgehend bestätigt werden (hohe Schüttungen im Buntsandstein im Vergleich zu Tonschiefer).

Tab. E1/1: Quelledichte und Schüttung aus Buntsandsteingebieten im Vgl. zu Tonschiefer (FISCHER et al. 1998)

	Pfälzerwald	hess. Buntsandstein	Tonschiefer
Grundwasserleiter	Kluft- und Porenaquifere	Kluft- und Porenaquifere	Kluftaquifere
Grundwasserneubild.	relativ hoch	relativ hoch	relativ niedrig
Quelledichte	> 1,3 / km ²	ca. 1 / km ²	3,3 / km ²
Schüttung pro Quelle	ca. 2,5 l / s	ca. 5 l / s	0,5 l / s
Bearbeiter	<i>Fiedler-Weidmann/Hahn</i>	<i>Fischer et al., Klausing</i>	<i>Fischer et al., Klausing</i>

Dass Quellen klüftiger Gesteine im Allgemeinen nicht so stetig schütten wie in Porenleitern, konnte weitgehend bestätigt werden. Stetige Schüttungen fanden sich neben dem Pfälzerwald in Eifel (Tümpelquellen), Westerwald und den nördlichen Teilen von Hunsrück und Mittelrhein. Gebiete mit wechselnder Schüttung waren z. B. Donnersberg, Nordpfälzer Bergland und Südlicher Mittelrhein. Sie stellen nicht selten relative Wassermangelgebiete dar (Nordpfälzer Bergland), bzw. besitzen grobkörnigen Untergrund (Donnersberg, Südlicher Mittelrhein). In solchen Gebieten war die Quellschüttung durch die Witterung stärker beeinflusst.

E 1.2 Beschreibung der abgegrenzten hydrogeologischen Quellräume in Rheinland-Pfalz

Nach EBHARDT (1980) können trotz individueller Unterschiede über langjährige Quellschüttungsmessreihen Grundwasserlandschaften differenziert werden. Das Verhältnis vom niedrigsten zum höchsten Abfluss (Schüttungsquotient) ist charakteristisch für bestimmte hydrogeologische Räume und besagt, auf welchen Wert des Frühjahrsabflusses der Herbstabfluss absinkt. Er ist für klüftige Gesteine im Allgemeinen niedriger als für Porenleiter, da die Schüttung bei Porenleitern ausgeglichener ist (FISCHER et al. 1998). Die hydrogeologischen Räume in Rheinland-Pfalz und deren Eigenschaften wurden bereits in Kapitel B zusammengefasst.

Hierbei wurden nach dem LfW RLP 14 geologische Bereiche als Grundwasserlandschaften differenziert. Die 14 Grundwasserlandschaften bildeten die Basis für die Beschreibung der elf Quellräume. Zwei Quellräume (Hoher Westerwald, Rheinhessen) und drei Naturräume (Hoher Westerwald, Osteifel, Rheinhessen) wurden aus besagten Gründen nicht faunistisch beprobt. Stark anthropogen überprägt sind neben Rheinhessen auch die Vorderpfalz (Niederterrasse des Rheins) und Teile des Nordpfälzer Berglandes. Außerdem wurden zwei eher kleinräumige, geologische Formationen bei der chemisch-faunistischen Kartierung nicht berücksichtigt (tertiäre Vulkanite und quartäre Magmatite). Die größte Landesfläche nehmen die devonischen Schiefer ein, wo die zweitgrößte Gruppe der Quellen lag. Die Gruppe der Buntsandsteinquellen stellte die größte Gruppe und enthielt die stetigsten und am stärksten schüttenden Quellen in Rheinland-Pfalz (Pfälzerwald). Wenige Karstquellen in der Eifel zeigten ebenfalls sehr hohe Schüttungen, dürften allerdings unkonstant schütten.

Die Abgrenzung der elf „hydrogeologischen Quellräume“ beruhte auf den Grundwasserlandschaften von Rheinland-Pfalz. Der Begriff Quellraum fasst Regionen mit ähnlichen morphologische Eigenschaften seiner Quellen zusammen. Da sich verschiedene Quelltypen in bestimmten Quellräumen häufen, spielt dieses Quelltypenmosaik für den Wiederbesiedlungsaspekt eine Rolle, da bestimmte besondere Strukturen nur in bestimmten Quelltypen vorkommen. So muss etwa eine Art einer Rieselflur bis in die nächste Rieselflur eines ähnlichen Quelltyps gelangen, um den Faunenaustausch zu gewährleisten (Renaturierung). Nach GATHMANN (1994) ist dieses Wiederbesiedlungspotential der Umgebung für die Zönose entscheidend.

Das Quelltypenmosaik wurde bereits in Kapitel D 2.3.6 erläutert, hier werden noch einige spekulative Ergänzungen vorgenommen. Sickerquellen dürften in Rheinhessen ebenfalls vorgekommen sein, wurden aber oft durch Drainagen beseitigt. Insgesamt ist die Quelldichte in Rheinhessen aber gering, was auch mit der geringen Grundwasserführung zusammenhängen dürfte. Im Bereich der Vulkaneifel finden sich viele der sonst seltenen Tümpelquellen, allerdings sind diese meist gefasst (acht von elf Quellen). Zwar könnte hier der Quelltyp durch die Fassungen verfälscht sein, aber auch naturnahe Quellen der Vulkaneifel gehören diesem Typ an, zumal die Quellen oft im Tal liegen. Problematisch bei der Beurteilung ist vor allem, dass die Ergebnisse aufgrund der kleinen Stichprobe wenig repräsentativ sind (drei ungefasste Quellen der Vulkaneifel). Auch im Pfälzerwald gibt es viele ungefasste Tümpelquellen, typischerweise ausgebildet als Talrandquellen der sogenannten Kastentäler. Mischtypen zwischen den vier Basisquelltypen erschweren die Auswertung, da trotz einem dominierenden Hauptquelltyp oft verschiedene Anteile Einfluss auf die erhobenen Parameter haben. So ist bei Sickerquellanteilen einer Sturzquelle ein größerer Quellbereich zu erwarten usw. Dies gilt auch für die Quelltypenverhältnisse der Quellräume.

D 1.3 Ebene des Einzugsgebietes

Die Stichprobenentnahmen anhand der in Kapitel C angegebenen Kriterien ergab eine gewisse Häufung der untersuchten Quellen, z. B. in reliefreichen Laub- und Mischwaldeinzugsgebieten an geologischen Quellhorizonten. Hingegen wurde die Suche in landwirtschaftlichen Gebieten, in denen keine naturnahen Quellen gefunden wurden, relativ bald aufgrund des geringen Erfolges abgebrochen. Insofern waren die Stichproben

nicht gleichmäßig verteilt und entsprechen nicht unbedingt der gesamten Landesfläche. Trotzdem wurde versucht, in der Beprobungszeit die Auswahl so repräsentativ wie möglich zu gestalten (Kap. C 1).

Der größte Teil der Quellen besaß im Einzugsgebiet Wald. Bestimmte Nutzungsformen im Einzugsgebiet verändern Struktur- und Wassereigenschaften negativ, so dass in Gebieten mit starker landwirtschaftlichen Nutzung in Form von Ackerbau oder Sonderkulturen wie Wein- und Obstbau die stärksten Strukturschädigungen sowie auch höhere Nitratwerte (Kap. E 3) nachgewiesen wurden. Die von ihrem Einzugsgebiet naturnäheren Räume zeichneten sich alle durch hohe Waldanteile aus.

Auf der Ebene des Einzugsgebietes besitzt die Hanglage der Quelle für die Schüttung und Wassereigenschaften eine große Bedeutung. Quellwasser hat dabei fast immer einen Grundwasser- und einen Sickerwasser-Anteil (bzw. Interflow oder Zwischenabfluss, Abb. E1/1), wobei Grundwasser aus größerer Tiefe stammt und Sickerwasser Bodenwasser aus geringer Tiefe darstellt. Die beiden Anteile hängen von Hanglage und Größe des Einzugsgebietes sowie von der Jahreszeit ab. Oberhangquellen besitzen höhere Interflow-Anteile, Hangfußquellen und Quellen in Tallage höhere Tiefengrundwasseranteile. Tiefengrundwassergespeiste Quellen besitzen ausgeglichene Wasserführungen, besonders bei ergiebigen Grundwasserspeichern. Hohe Bodenwasseranteile treten oft im Winter auf, wenn die Vegetation wenig Wasser aufnimmt, es stärker versickert und der Grundwasserbildung zu Gute kommt. Die oberen Bodenschichten sind dabei stärker wassergesättigt als im Sommer. Hohe Bodenwasseranteile verursachen physiko-chemische Veränderungen der Wassereigenschaften (Temperatur, pH-Wert) und erklären deren Abhängigkeit von der Hanglage (vgl. Kap. E 3).

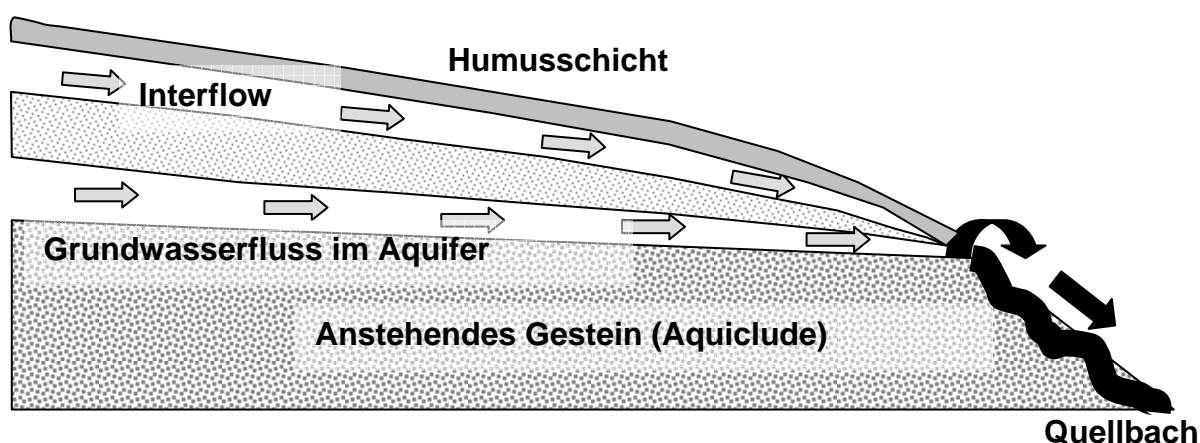


Abb. E1/1: Anteile des Quellwassers aus tieferem Grund- und Bodenwasser, schematisch (nach REISS 2002)

Dass die untersuchten Hangfußquellen mit Abstand die größte und Oberhangquellen die geringste Schüttung aufwiesen, ist hydrologisch mit der Größe des Einzugsgebietes leicht erklärbar (HÖLTING 1989). Talquellen besaßen die zweitstärkste Schüttung, was möglicherweise auf dünnere wasserführende Schichten in den Talauen zurückzuführen ist. Die Schüttung hängt nämlich nicht nur von der Größe des Einzugsgebietes, sondern auch von der Mächtigkeit der wasserführenden Schichten ab, welche teilweise auch mit der Geländeneigung und der Reliefenergie zusammenhängt. Letztere waren im Pfälzerwald und im Mittelrheintal am größten, gefolgt von Westrich und Nordpfälzer Bergland. Die restlichen Quellräume sind bis auf einige Flusstäler eher kuppig ausgebildet, auch in größerer Höhenlage.

Die Verteilung der Basisquellentypen auf die Hanglage zeigt, dass in Hangfuß- und Tallage Tümpelquellen mit größerer Schüttung häufiger sind. Dies ist auf morphologische Bedingungen zurückzuführen, da sich Tümpelquellen bei stärkerem Gefälle nicht bilden. Sturzquellen dominieren in Hangfußlage und stellen gleichzeitig die am stärksten schüttenden Quellen dar.

E 1.4 Ebene des Quellumfeldes und Quellbereichs

Quellen sind stark mit ihrem Umfeld vernetzt und deswegen in dieser Hinsicht besonders empfindlich. Ihre Lebensgemeinschaften sind z. B. essentiell auf Fallaubeinträge angewiesen, die die natürliche Nahrungsgrundlage im oligotrophen Quellgewässer bilden. Da in den terrestrischen Systemen die autotrophe Energiefixierung stattfindet, sind Energiefixierung und Abbau getrennt, Quellen also fast ausschließlich heterotrophe Systeme. Außerdem spielt die Fließgeschwindigkeit eine große Rolle, da DOC (lösl. org. Kohlenstoff) abgeschwemmt wird und nicht wie POC für die Organismen zur Verfügung steht (ODUM 1983). DOC findet sich in geringen Mengen im interflow, wobei im Hangzug- und Bodenwasser eine heterotrophe C-Fixierung durch aerobe Bakterien und Pilze erfolgt. Allochthone Nahrungsdepots aus Falllaub (POC) halten sich in Quellen im Vergleich zu Bächen aufgrund der geringen Schleppspannung des Wassers längere Zeit. Nach Emergenzuntersuchungen sind Quellen bis zu 30 % produktiver als der folgende Quellbachabschnitt, da der allochthone Eintrag unterhalb großteils abgeschwemmt wird (GÜMBEL 1976, BOHLE 1995). Der POC in Fließgewässern übersteigt dabei den Anteil der lebenden Substanz bei weitem (LAMPERT & SOMMER 1993). Die sonst geringe autochthone Primärproduktion findet meist durch Kieselalgen statt.

Nach dem Quellumfeld lagen die Mehrheit der Quellen im Wald, die Aufteilung verschiedener Nutzungsformen entspricht dabei grob in etwa der Landesfläche. Beim Vergleich des Quellumfeldes aller Quellen mit den einzelnen Quellräumen treten Beeinträchtigungen im Umfeld vor allem in landwirtschaftlichen Räumen auf, besonders in der intensiv genutzten Vorderpfalz (Sonderkulturen). Waldreiche Natur- und Quellräume wiesen dagegen naturnähere Quellen auf. Die im Quellbereichs dominierenden standorttypischen Pflanzen und Moosgesellschaften sind zwar positiv zu bewerten, aber es zeigte sich auch, dass der Quellbereich gefasster Quellen oft durch verschiedene Nutzungen vegetationsfrei gehalten wird, was sich negativ auswirkt.

Die Größe des Quellbereichs zeigt deutlich den anthropogenen Einfluss, da gefasste Quellen mit Abstand den kleinsten Quellbereich besitzen. Anthropogene Veränderungen wirken sich also direkt auf die Habitatfläche und somit auf die Größe der krenalen Populationen aus. Nach der Inseltheorie von MACARTHUR & WILSON (1967) hängt die Fläche eines isolierten Biotops unmittelbar mit der Artenzahl zusammen. Die durchschnittliche Größe des Quellbereichs lag im Mittel für alle ungefassten Quelltypen deutlich höher als bei gefassten Quellen, am höchsten bei Sickerquellen, was deren ökologische Wertigkeit unterstreicht.

E 2 Die Struktur von Quellen in Rheinland-Pfalz

E 2.1 Ergebnisse des Strukturbewertungsverfahrens und natürliche Strukturen

Vor der Diskussion der Ergebnisse wird kurz auf Erfassungs- und Bewertungsansätze für Quellbiotope eingegangen, da es im Vergleich zu Bächen bei Quellen noch sehr wenig Erfahrungen mit Bewertungsschemata gibt. Gerade die Struktur von Quellen ist bislang kaum untersucht. Natürliche Quellstrukturen bildeten die Basis für die morphologische Quelltypologie und die Quellbewertung bzw. die Auswahl der Strukturreferenzquellen. Die Naturnähe als wesentliches Bewertungskriterium für Quellen hängt von komplexen Faktoren ab und ist nur indirekt messbar, wobei ein Bewertungssystem einheitliche und nachvollziehbare Kriterien der Beschreibung und Kartierung voraussetzt (FISCHER 1996a). Dabei findet immer eine Modellbildung statt, d. h. das Verfahren misst und bewertet einen hypothetischen Zustand. Standardisierte Handlungsanweisungen führen zu vergleichbaren Ergebnissen. Eine absolute Objektivität wird nie erreicht, das Ziel besteht aber darin, dass unabhängige Kartierer bei verringerter Subjektivität möglichst ähnliche Ergebnisse erzielen. Entscheidend für die Praktikabilität ist die Nachvollziehbarkeit der Bewertungskriterien und eine klare Abgrenzung der Bewertungsparameter mit dem Ziel hoher Reproduzierbarkeit (FISCHER 1996a).

Da das prägende Merkmal der Bäche und Flüsse ihre Dynamik, bei Quellen aber die Konstanz ist (obwohl dynamische Vorgänge nicht fehlen), was ein Erfassungs- und Bewertungsverfahren berücksichtigen muss. Für die Differenzierung und Bewertung naturnaher und naturferner Quellen ist es neben der Erfassung von Eingriffen die Entwicklung von orientierenden Leitbildern nötig. Hierzu ist die Kenntnis naturnaher Zustände in Form charakteristischer Referenzquellen die Voraussetzung. Sie haben repräsentativen Charakter für unterschiedliche Quelltypen und Naturräume und sind vom potentiellen Idealzustand abgeleitet. Angepasst an die örtlichen Bedingungen kann so die Abweichung vom Leitbild ermittelt werden. Das allgemeine Leitbild, eingeschränkt durch noch bestehende Einflüsse, die durch die Eigenentwicklung der Quelle nicht behoben werden können, z. B. luftbürtige Einträge ins Einzugsgebiet. Da es völlig unbeeinflusste Quellen als Ausgangspunkte für die Leitbildentwicklung nicht mehr gibt, wird ein potentielles Leitbild zur Orientierung herangezogen, um einen Zielzustand vor Augen zu haben.

Morphologische und faunistische Leitbilder zu Quellen gibt es praktisch noch nicht, da wichtige Umweltgrößen mit ihren Auswirkungen noch kaum bekannt sind. Die Gesellschaft für Quellschutz und Ökologie hat vor einigen Jahren mehrere Bewertungsverfahren veröffentlicht (GfQ 1993). Neben einem Bewertungsverfahren Umfeld und Chemismus (ANDREE et al. 1996) existiert ein Bewertungsverfahren zur Quellfauna (FISCHER 1996a), sowie zur Flora (HINTERLANG 1993, 1996). Das Verfahren zum Quellumfeld ist rein eingrifforientiert, da keine Leitbilder zugrunde liegen, eine Quellstrukturbewertung wurde noch nicht entwickelt. Die einzelnen Verfahren und die neun dazugehörigen Erfassungsbögen sind teilweise recht komplex und für den Laien kaum handhabbar. Sie spielen aber eine wichtige Vorreiterrolle.

Der Kartierschlüssel von ZOLLHÖFER (1997) ist zwar GfQ-orientiert (z. B. Aufnahme des Umfeldes in Quadranten), aber vereinfacht und deshalb übersichtlicher. REISS (2002) legt einen neuen Ansatz eines naturraumtypologisch-integrativen Erfassungs- und Bewertungsverfahrens für den Vogelsberg vor. Ein naturraumübergreifendes Bewertungsverfahren wie in der GfQ ist nicht angestrebt, da es nur in einem Naturraum entwickelt wurde und nur innerhalb einer hydrologischen Einheit gilt (REISS 2002). Er hält das Verfahren aber erweiterbar, falls entsprechende Leitbilder und Referenzzustände hergeleitet werden (REISS 2002). Das Verfahren ist 7-stufig und folgt dem Raumkonzept in Anlehnung an die Bewertung des ökologischen Zustandes von Fließgewässern (LÖLF 1994). Es ist formell angelehnt an das Kartierverfahren der GfQ (äußerlicher Aufbau). Integriert sind Teile der Strukturkartierung der LAWA (1998), z. B. die Kartierung eines 100 m-Abschnittes oder die ähnliche Mittelwertbildung bei der Berechnung.

Das eigene Verfahren wurde für Rheinland-Pfalz entwickelt und vereint zwei Teilansätze. Der erste, eingrifforientierte Ansatz ist leitbildlos und wurde bei anderen Verfahren sowie bei Abschnitt A des eigenen Verfahrens verfolgt. Hierfür ist ein Leitbild nicht erforderlich, da der Idealzustand über das Fehlen von Eingriffen definiert ist. Er ist pragmatisch, allerdings nicht sehr differenziert, da er die Unterschiedlichkeit der Quellbiotope und Quelltypen vernachlässigt. In Abschnitt A ist die drastischste Schädigung entscheidend, da sie sozusagen den limitierenden Faktor für die Ökologie darstellt („pessimistische“ Bewertung). Dieser Ansatz stößt da auf Grenzen, wo Veränderungen bereits länger zurückliegen wie dies z. B. bei alten Fassungen der Fall ist. Wenn sich Quellökosysteme in Richtung eines natürlichen Zustandes entwickeln, werden die Schadstrukturen langsam wiederbesiedelt, das System Quelle pendelt sich über lange Zeitspannen hinweg wieder in einen naturnahen Zustand ein („Selbstrenaturierung“). Wegen der speziellen Verhältnisse an Quellen wie Isolation, Kleinflächigkeit, usw. dauert dies zwar wesentlich länger als bei Bächen - nach ZOLLHÖFER (1997) mindestens mehrere Jahre, wenn die Beeinträchtigung wegfällt - trotzdem würde die Quelle in einem solchen Fall zu schlecht bewertet werden.

Der zweite Bewertungsansatz berücksichtigt ein Leitbild und differenziert im Optimalfall nach verschiedenen Quelltypen. Hierbei kommen (oft indirekt) Schadstrukturen, aber auch Wertstrukturen vor, die für naturnahe Quellen und verschiedene Ausprägungen naturnaher Quelltypen charakteristisch sind. Naturnahe Quellen werdem Wertstrukturen aufweisen, die denen des Leitbildes ähneln. Bei einem Fehlen wird eine negative Bewertung vorgenommen. Dies ist im vorliegenden Verfahren bei Abschnitt B der Fall. Die Bewertung erfolgt über die Abweichung vom Leitbild, die integrativ verrechnet wird. Strukturelle Leitbilder wurden textlich für die Basisquelltypen beschrieben (Parameter besondere Strukturen). Die benutzten Wertparameter für die positive Bewertung waren insbesondere Substrat, Strömungsdiversität, die Wasser-Land-Verzahnung und die besonderen Strukturen an Quellen.

Das Verfahren wurde selbst entwickelt sowie alle Quellen selbst kartiert und beprobt (Struktur, Hydrochemie, Fauna). Dieser Vorteil erlaubt die direkte Vergleichbarkeit aller Untersuchungen und Kartierbögen. Das Verfahren wurde mehrere Jahre an über 500 Quellen getestet und immer wieder angepasst. Es nimmt für sich in Anspruch, eine hinreichend genaue Bewertung der Struktur durch eine einfache und schnelle Kartierung vorzunehmen. So versteht sich der vorliegende Kartierbogen als Anregung zur Vereinfachung und Reduzierung der Parameter auf ein notwendiges Minimum, ohne Abstriche in der Bewertung machen zu müssen. Für die genaue Beurteilung sind zusätzliche Parameter von Fachleuten zu untersuchen (Flora, Fauna, Chemie). Trotzdem liefert die Struktur Erfassung bei geringem Aufwand ein recht genaues Bild von der Situation der jeweiligen Quelle. Die Bewertung erfolgt mit dem Bewertungsbogen, wobei eine EDV-Auswertung angegliedert ist. Ziel des Bogens ist auch das Erkennen der jeweiligen ökologischen Defizite.

Die Kartierlänge beträgt mindestens 10 m (Quelle) bzw. 50 m (Quellbach) und beinhaltet somit die wichtigsten Strukturmerkmale und Beeinträchtigungen. Durch die Mindestkartiergröße wird die Schaffung einheitlicher und vergleichbarer Daten ermöglicht, da sich herausgestellt hat, dass ohne eine genaue Definition des Quellbereichs verschiedene Kartierer eine unterschiedliche Länge kartieren. Es wurde sehr großen Wert auf eine eindeutige Identifizierung der Quelle gelegt (Koordinaten, ID-Nummer, Name, TK-Nummer, Abflussrichtung, Skizze, Detailfoto, Beschreibung). Außerdem wurde versucht, mit einer möglichst genauen Definition und Beschreibung der Parameter des Verfahrens die Subjektivität stark einzugrenzen. Einheitliche und mit anderen Kartierverfahren vergleichbare Parameter und Größenklassen erleichtern die Handhabung. So folgt das Verfahren einem modifizierten und vereinfachten Raumkonzept zur Bewertung von Quellen, indem es sich räumlich kreisförmig an den Quellaustritt annähert.

Das Verfahren von REISS (2002) wurde aufgrund seiner Aktualität noch nicht selbst getestet, es erfolgen aber einige Anmerkungen. Die Aufnahme von Parametern des Strukturgüteverfahrens, wie bei REISS (2002) geschehen, erfolgte im eigenen Verfahren nicht, da diese Parameter für Bäche entwickelt wurden, die wegen ihrer Dynamik mit Quellen nicht vergleichbar sind. Dies betrifft etwa die Parameter Laufentwicklung, Krümmungs- und Breitenerosion sowie die Substratbeschaffenheit. REISS (2002) unterscheidet außerdem Wald- und Offenlandquellen und bewertet nach zwei Leitbildern, wobei Referenzquellen für Offenlandquellen kaum zu finden sind und dieses zusätzliche Leitbild etwas fraglich erscheint. So werden in Offenlandquellen weniger Substrattypen als Optimalzustand konstatiert, was zwar grundsätzlich richtig ist, aber auch als unnatürlich bezeichnet werden könnte. Zudem werden einige Schädigungen zu gering gewichtet (Verfüllung mit mineralischem Untergrund und Oberboden).

Bei den Strukturparametern des eigenen Verfahrens gab es kaum vergleichbare Vorbilder, sie wurden weitgehend selbst entwickelt, die Strömungszustände wurden allerdings in Anlehnung an das Strukturgüteverfahren der LAWA (1998) erfasst. Die besonderen Strukturen wurden erstmalig für Quellen und die Basisquelltypen beschrieben. Sie sind oft in naturnahen Quellen anzutreffen und bilden ein wichtiges Kriterium für die Ausstattung mit Kleinlebensräumen. Das Merkmal ist offen konzipiert, so dass weitere Strukturen hinzuge-

fügt werden können. Hierbei sind Laufverzweigungen, Inselstrukturen, Fließhindernisse, natürliche Pools und eine große Tiefenvarianz für alle naturnahen Quelltypen von Bedeutung, während Sandwirbel und stark ausgebildete Wassermoose in der Regel nur bei Tümpelquellen, Wasserfälle nur bei Sturzquellen und eine starke Quellflur nur bei Sickerquellen vorkommt. Rieselfluren und Kaskaden kommen bei Sturz- und Sickerquellen vor, ein großes Lückensystem ist dagegen für Wanderquellen typisch.

Das Verfahren ist fünfstufig und somit für die Bewertung nach der aktuellen Wasserrahmenrichtlinie geeignet und mit anderen fünfstufigen Verfahren direkt vergleichbar. Gesonderte Bögen und zusätzliche Bemerkungen liefern zusätzliche Daten zu den standardisierten Parametern (Chemie, Fauna, Flora). Eine Bewertung der Hydrochemie erscheint angesichts der verschiedenen, häufig wechselnden, natürlichen bzw. gegebenen Bedingungen fraglich und wird hier nicht vorgeschlagen, da die integrative Bewertung der Fauna bessere Ergebnisse erbringen dürfte. So sind chemische Vorgaben immer nur in Bezug zu einer räumlichen Einheit möglich, auf die sich dieses Verfahren nicht beschränken will. REISS (2002) macht etwa Angaben für die Spanne einiger chemischer Parameter für den Vogelsberg. Dies hat dort seine Berechtigung, ist aber nicht auf andere Regionen übertragbar.

Bei der Berechnung des eigenen Verfahrens ist durchaus beabsichtigt, dass das Umfeld bei ökologisch positiver Ausprägung andere Schadstrukturen wie Verbau abmildern und den Gesamtwert modifizieren kann. Dies trägt dem Tatbestand Rechnung, dass die Ausbildung eines naturnahen Umfeldes als Potential für Renaturierungen von Bedeutung ist. Die Aufwertung durch das Umfeld betrifft auch Offenlandquellen, die teilweise recht gut abschneiden. Dies wurde nicht korrigiert, da es früher durchaus natürliche Offenlandquellen gab und sekundär offene Quellen Ähnlichkeiten aufweisen können. Bei aktuell renaturierten Quellen ergab sich eine mittlere Bewertung durch das Verfahren, wenn der Verbau bereits entfernt war, aber sich noch keine naturnahen Strukturen bilden konnten, was bei zwei Quellen der Fall war.

Insgesamt wurden nach dem Strukturverfahren ein Drittel aller Quellen als naturnah und bedingt naturnah eingestuft. Rund 25 % der Quellen waren geschädigt (häufigste Klasse), wobei die Schädigungen vor allem Sturzquellen betrafen. Erneut sind waldreiche Naturräume positiver zu sehen, am schlechtesten schnitten Naturräume mit intensiver Landwirtschaft ab. In waldreichen Naturräumen waren Quellen außerdem häufiger miteinander vernetzt bzw. finden sich räumlich näher zusammen, vor allem bei einer geologischen Verbindung (Quellhorizont).

Der Gesamteindruck, der den ökologischen Zustand der Quelle durch den Kartierer zusammenfasste, ist zwar subjektiv, spiegelte aber - wie sich zeigte - die angewandten Verfahren gut wider. Er korrelierte eng mit den Berechnungsergebnissen, wobei das Bewertungsverfahren etwas positivere Ergebnisse liefert als der Gesamteindruck, wie der Vergleich zeigt (Tab. E2/1).

Tab. E2/1: Vergleich der Bewertung durch das Quellstrukturverfahren und den Gesamteindruck

Bewertungsklasse	Verfahren	Gesamteindruck
naturnah	78	66
bedingt naturnah	55	42
mäßig beeinträchtigt	67	75
geschädigt	82	95
stark geschädigt	52	56
Gesamt	334	334

Hierfür sind vor allem zwei Gründe zu nennen. Erstens wurde der Gesamteindruck aus Sicht der Struktur und z. T. der Fauna vor Ort bestimmt, wobei der Fokus auf den ersten zehn Fließmetern lag. Das Umfeld ergänzte diese subjektive Bewertung, wertete sie aber nicht auf, so dass der Gesamteindruck auf einer pessi-

mistischen Einschätzung von Struktur und Umfeld beruht, hier wurde kein „Mittelwert“ gebildet. Dies ist beim Strukturverfahren anders, eine pessimistische Bewertung gibt es nur in Teil A des Verfahrens, in Teil B und der Gesamtberechnung werden Mittelwerte gebildet, so dass die Quelle z. B. bei schlechter Struktur durch ein gutes Umfeld etwas aufgewertet wird. Dies hat auch seine Berechtigung, da das Umfeld für eine Renaturierung eine wichtige Rolle als „Strukturgeber“ spielt und ein Potential für die eigendynamische Entwicklung bildet. Die Ähnlichkeit des Gesamteindrucks mit der Strukturberechnung des Verfahrens ist leicht erklärbar, da das Verfahren während der Kartierprojekte auf den Gesamteindruck des Autors „geeicht“ wurde und sich beide zusammen entwickelten.

Einzelne Parameter des Verfahrens (vgl. Tab. D2/2), besonders die Anzahl der Substrattypen, die mit dem berechneten Wert des Strukturgüteverfahrens stark korrelierte, bilden wichtige Indikatoren naturnaher Quellen. So besaßen naturnahe und bedingt naturnahe Quellen im Schnitt doppelt so viele Substrate wie geschädigte und stark geschädigte Quellen. Substrat- und strukturreiche Quellen liegen oft in Laub- und Mischwald, kommen aber auch in extensivem Grünland vor. Auch die Anzahl besonderer, quelltypischer Strukturen haben durch die hohe Korrelation mit dem Verfahren eine gewisse Bedeutung. Diese wurden speziell für Quellen bzw. bestimmte Quelltypen ausgewählt, so dass jeder Basisquelltyp mindestens eine besondere Struktur erhielt. Besitzt eine Quelle viele besondere Strukturen, ist von einer hohen ökologischen Wertigkeit auszugehen. Ähnliches gilt in abgeschwächter Form für die Wasser-Land-Verzahnung, deren Erhebung weniger reproduzierbar und somit etwas subjektiver als die anderen Parameter ist. Sie gibt das Verhältnis Tiefe zu Breite sowie die Uferausprägung in Verbindung mit dem Umfeld an, wobei im Längsverlauf des Fließgewässers der Wasserkörper naturnaher Quellen am stärksten mit dem Umfeld verzahnt ist.

E 2.2 Anthropogene Strukturveränderungen

Umfeldschädigungen haben oft auch Veränderungen der Fließgeschwindigkeit und der Substrattypen sowie Temperaturanstieg zur Folge. Mehrjährige Mahd, hohe Trittbelastungen sowie selektiver Verbiss durch Weideweid etwa schädigen die Quellvegetation und zerstören Mikrohabitate (ZOLLHÖFER 1997). Außerdem führt die Eutrophierung durch Dünger und Kot zur Verdrängung der an nährstoffarme Verhältnisse angepassten Vegetation. Eine extensive Nutzung hat dagegen deutlich weniger Effekte. Umfeldveränderungen in Wäldern betreffen vor allem standortfremde Monokulturen aus Fichte oder Douglasie. Die Störung des Lichthaushalts verhindert durch Dauerbeschattung die Ansiedlung quelltypischer Vegetation. Außerdem führen sie zur Bodenversauerung (Zersetzung der Nadeln, ganzjähriger Auskämmeffekt für Luftschadstoffe). Die größte Beeinträchtigung ist jedoch der Entzug der Nahrungsgrundlage, da Nadeln kaum zu verwerten sind.

Verbau und ein naturfernes Umfeld an Quellen beeinträchtigt die natürliche Substratzusammensetzung, verursacht Strukturarmut und eine Verarmung der Biozöosen. Außerdem bilden Quelbauwerke Wanderbarrieren, die als Aufstiegshindernis die natürliche Wanderung der Tiere einschränken, besonders bei solchen Tieren, die keinen Kompensationsflug bachaufwärts durchführen (Crustaceen, Mollusken, Turbellarien). Dagegen sind natürliche Strukturelemente und Substrate für die Ökologie einer Quelle elementar. Dass der Artenreichtum im Krenozön mit der Kleinhabitatvielfalt zusammenhängt, ist plausibel, da viele tierische Organismen auf bestimmte anorganische und organische Substrattypen angewiesen sind. Die natürliche Strukturausstattung hängt von Geologie, Hydrologie und Hydrochemie (Kalksinterbildung) ab. Wichtige organische Substrattypen in Quellen sind Moospolster, Totholz, Falllaub sowie Detritus verschiedenen Zersetzungsstadien. Naturnahe Quellen besitzen meist eine hohe Substratvielfalt. Sie bestimmt neben dem Gefälle (Hangneigung) auch die Fließgeschwindigkeit, so dass die Sohlenrauigkeit in Quellen natürlicherweise hoch ist (hoher Fließreibungswiderstand der Bodensubstrate). Entsprechend halten sich im Strömungsschatten des Lückensystems die meisten Organismen auf. Die Auswirkungen eines veränderten Umfeldes wurden bereits in Kapitel E 1 diskutiert und begründet (Tab. D2/7).

Die leichte Dominanz der gefassten Quellen von 55 % hängt auch mit der Beprobung stärker schüttender Hauptquellen zusammen, die oft gut zugänglich an Wegen liegen. Zieht man auch kleinere und abseitige Quellen in Betracht, dürften die meisten rheinland-pfälzischen Quellen eher ungefasst sein. Ökologisch gesehen sind aber gerade stärker schüttenden Quellen von Bedeutung, da diese durch große Biotopflächen ausreichend große Populationen einer Krenalfauna beherbergen können. Außerdem sind kleinere, ungefasste Quellen in den Mittelgebirgen häufig versauert und somit geringer besiedelt. Über Fassungen gibt die Arbeit von SCHINDLER & HAHN (2000) einen repräsentativen Überblick (knapp 60 % waren gefasst), auch über die Verhältnisse in neun Quellräumen. Am positivsten schnitten Hunsrück, Pfälzerwald und Westerwald ab, am schlechtesten die Vorderpfalz und andere, landwirtschaftlich genutzte Quellräume.

Dominierend waren vor allem ältere, noch funktionstüchtige Fassungen zur Wasserentnahme oder zu touristischen Zwecken. Alte Fassungen wurden nach dem Verfahren nicht so schlecht bewertet, insbesondere, wenn der Ablauf noch naturnah war, was sich in der Besiedlung widerspiegelt (Kap. E 4). Verbau an Quellen ist ähnlich wie Fassungen zu beurteilen und ist häufig mit letzteren gekoppelt. Er betrifft vor allem Sturz- und Tümpelquellen. Dies liegt an speziellen Bedingungen von Sickerquellen, die aus verschiedenen Gründen seltener gefasst und verbaut werden können (mehrere Austritte, Quellsumpfsituation, Schüttungsverhalten). Seltene Quelltypen wie Heil-, Mineral- oder Schwefelquellen sind von Verbau besonders betroffen.

Ökologisch gesehen sind neben neuen Fassungen Verrohrungen und Betonverbau von Bedeutung. Die Durchgängigkeit eines Fließgewässers wird insbesondere durch Verrohrungen beeinträchtigt, wobei es auf deren Länge ankommt. Auch eine Schädigung mit Natursteinverbau steht Betonverbau nur geringfügig nach, da ebenfalls die natürlichen Strukturen einer Quelle beseitigt werden. Langfristig entspricht gebietstypischer Naturstein aber der Region und ist natürlicher, was sich nach längerer Zeit etwa bei der Ansiedlung einer gebietstypischen Flora zeigt. Bei Verrohrungen kann das Anlegen einer Furt die Durchgängigkeit des Quellbaches wieder herstellen, aufgestaute Quellen können in den Nebenschluss gelegt werden, wobei der größte Teil des Abflusses im Quellgerinne verbleiben muss. Verlegungen konnten häufig in ihrer Länge nicht beurteilt werden, da sie häufig älteren Datums waren und der ursprüngliche Austrittsort nur selten rekonstruiert werden konnte. Allerdings dürfte der Austrittsort sehr vieler gefasster Quellen verlegt worden sein, meist an oder unter einen Weg oder aus einer landwirtschaftlich genutzten Fläche heraus (Drainagen).

Interessant ist der Einfluss von Trittschäden auf die Ökologie von Quellen. Starke Trittschäden werden meist durch Wild oder Vieh verursacht, wobei in solchen Fällen die Bodenverwundung so extrem ist, dass sie im Quellbereich keine Vegetation mehr zulässt. Nicht selten wird der Effekt durch Wildfutterstellen und Salzlecken von Jägern massiv verstärkt, die im baumarmen Quellbereich leicht zum Schuss kommen. Bei geringem und mäßigem Vertritt sieht die Sache dagegen anders aus. Ihre ökologische Schädigungen sind deutlich geringer oder kaum zu bemerken, mitunter konnte in Einzelfällen sogar ein gewisses Ansteigen der Artenzahl beobachtet werden (vgl. Kap. E 4). Trittschäden erfolgen auch durch Vieh und die Erholungsnutzung.

Die Auswirkung der verschiedenen Fassungsarten wird ausführlich in Kapitel E 4.3.2 diskutiert, da bei der Fauna ähnliche Ergebnisse erzielt wurden.

E 2.3 Morphologische Quelltypologie von Rheinland-Pfalz

Die Vielfalt an Kleinstlebensräumen erschwert die Einteilung von Quellbiotopen (POTT & REMY 2000), da sie eine äußerst unterschiedliche, naturraumabhängige Ausprägung und Erscheinungsform zeigen. Trotzdem ist nach Ansicht vieler Autoren die Typisierung von Quellen möglich. LASAR (1987) etwa nennt morphologische Quelltypen sowie Kalk- und Silikatquellen. Faunistische Quelltypen sind nach ZOLLHÖFER (1997) aber nur innerhalb einer Region möglich und sinnvoll, wo stärkere Ähnlichkeiten unter Quellen auftreten.

Für die Klassifizierung von Quelltypen werden die Standortgegebenheiten der Quellbiotope in einem größeren Kontext verglichen. Entscheidende Faktoren und Kriterien für die Typologie sind neben der Morphologie die Wassereigenschaften, die Lichtverhältnisse, die mit dem Biotyp im Umfeld wechselwirken und die geographische Lage (Höhenlage und Exposition). MATTHEB & UBELL (1983) klassifizieren nach Schüttung, Art des Grundwasserleiters, geologischer Struktur, chemischer Beschaffenheit, Wassertemperatur, Richtung der Grundwasserbewegung und der Beziehung zur Topographie. POTT & REMY (2000) führen Quelltypen ebenfalls auf die Verschiedenartigkeit unterschiedlicher Kombination der Standortparameter zurück und nennen Geographie, Höhenlage, Geländemorphologie, Gestalt der Quelle, Exposition und Lichtbedingungen. Wesentlich sind außerdem Konstanz und Umfang der Quellschüttung bzw. Wasserströmung, der Wasserchemismus (Härte, CO₂, O₂-Sättigung) sowie die Wassertemperatur (FISCHER et al. 1998).

Nachfolgend werden Faktoren für die Einteilung genannt, die in unterschiedlicher Gewichtung in die morphologische Quelltypologie eingingen. Hierbei existieren in der Hydrogeologie bereits Klassifizierungen nach der Genese. MATTHEB & UBELL (1983) unterscheiden Abnahme der Mächtigkeit, Breite oder Durchlässigkeit des Aquifers und somit Schicht-, Stau-, Überfall- sowie Verwerfungsquellen an tektonischen Störungen (Oberrheingraben). KEILHACK (1953) unterscheidet zudem zwischen auf- und absteigenden, HÖLTING (1989) Verengungs-, Stau- und Schichtquellen. Schichtquellen sind etwa besonders häufig und finden sich in Quellmulden und Quelllinien angeordnet, wo wasserundurchlässige Schichten am Hang ausstreichen. Dies wurde sehr häufig beobachtet (Abb. E2/1). Als Schuttquelle sind sie von Hangschutt überdeckt. Stauquellen, die auch artesisch sein können, bilden sich, wenn Grundwasser unter Druck aufsteigt. Geologische Quelltypen spielen allerdings für die Biologie keine große Rolle und können vor Ort meist nicht erkannt werden.

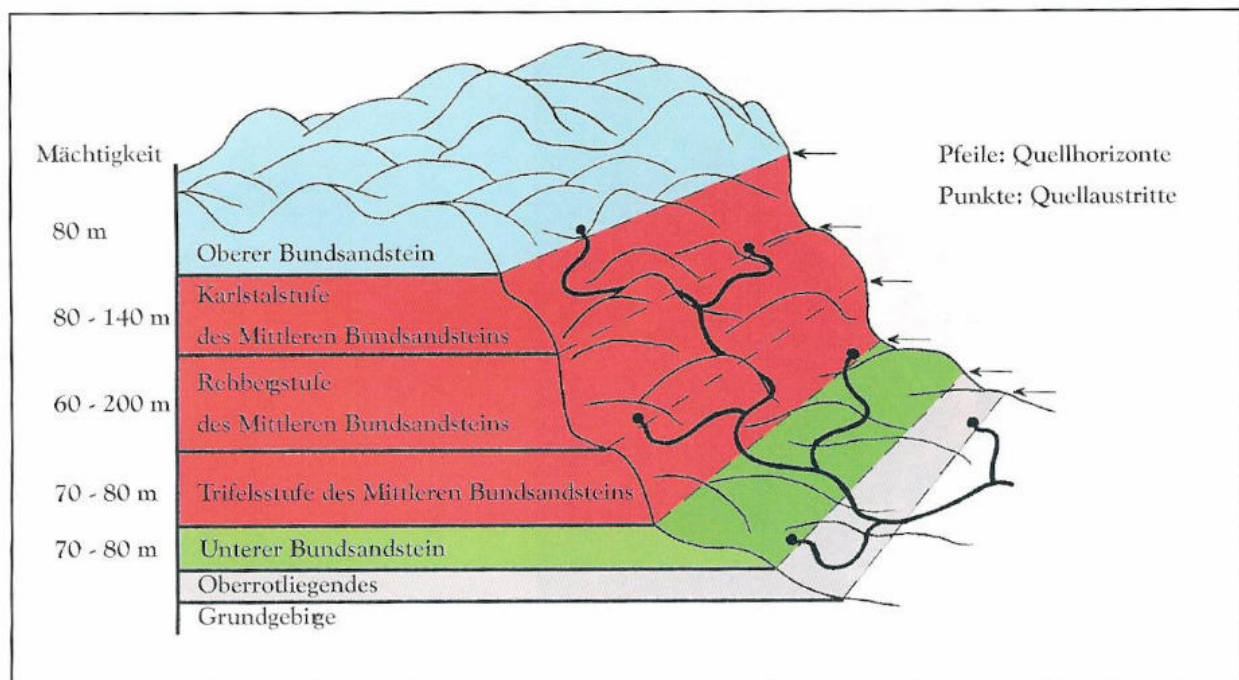


Abb. E2/1: Quellen treten gehäuft an Schichtgrenzen aus (Bsp. Pfälzerwald, nach LIEDTKE 1981, verändert)

Bedeutsamer für die Ökologie ist die Schüttung und ihr Verhalten im Jahresverlauf, so dass Quellen perennierend, periodisch oder temporär Wasser führen können (MATTHEB & UBELL 1983). Periodische Quellen schütten übers Jahr gesehen länger als sie trocken sind, während temporäre Quellen öfter trocken sind als sie Wasser führen. Ein Beispiel für temporäre Quellen sind die sogenannten Hungerbrunnen in Trockentälern, die nur selten, dann aber oft stark schütten. Intermittierende bzw. episodische Quellen bilden geologische Spezialfälle nach dem Prinzip kommunizierender Röhren bzw. Überlaufklüfte, die kurz, aber stark schütten

(MATTHEB & UBELL 1983). Manchmal werden intermittierende als periodische sowie temporäre als episodische bzw. ephemere Quellen bezeichnet. In bestimmten Naturräumen ist die Hydrologie beträchtlichen jahreszeitlichen Schwankungen unterworfen, oft kurzfristig modifiziert durch Niederschläge. Die hydrogeologischen Verhältnisse werden landschaftlich als unterschiedliche Quell- und Flussdichte kenntlich (Abb. B4/1). Dass der Einfluss der Jahreszeiten in Quellen stark abgeschwächt wird, während geschiebeführende Hochwässer fehlen, wird in der Literatur zwar oft bestätigt (ZOLLHÖFER 1997), mittlerweile aber auch in Frage gestellt (BEIERKUHNEIN & GRÄSLE 1993). Ursache hierfür ist insbesondere der Nachweis dynamischerer Quelltypen wie astatische oder lineare bzw. Wanderquellen. Obwohl die Schüttung bei kleineren Quellen stärker variieren kann, bleiben die Bedingungen in größeren Quellen in der Regel relativ konstant.

In der Limnologie werden Quellen nach ihrer Morphologie und den entstehenden Lebensraumtypen klassifiziert. STEINMANN (1915) und THIENEMANN (1924) unterschieden die drei Quelltypen Sturzquelle (Rheokrene), Sickerquelle (Helokrene) und Tümpelquelle (Limnokrene). Diese Einteilung ist heute allgemein akzeptiert (SCHWOERBEL 1993, BOHLE 1995, HOHENBERGER 1989, POTT & REMY 2000) und bildet die Grundlage der vorliegenden Quelltypologie. Die Quelltypen wurden ausführlich in Kapitel D 2 erläutert.

Die vorliegende Arbeit führt die genannten Untersuchungen zu einem einheitlichen Typologieansatz zusammen. Ziel war die Beschreibung natürlicher Zustände und Strukturen von Quellen als quellraumbezogene Leitbilder. Für die strukturelle Typologie wurde die Morphologie in Form der bekannten Quelltypen berücksichtigt, die um die Wanderquelle ergänzt wurden. Die Substrattypen sind mit diesen Quelltypen eng verbunden und wurden deshalb nicht separat für die Bildung weiterer Quelltypen benutzt. So sind Sickerquellen in der Regel feinmaterialreich, Wanderquellen mittel- bis grobmaterialreich. Tümpelquellen besitzen mittel- bis feinkörniges Substrat, während Sturzquellen oft großkörniges Substrat aufweisen. Letztere können aber auch durch mittelkörniges Substrat oder durch Sand dominiert sein. Allerdings kann die Korngröße des Untergrundes kleinräumig stark variieren. Nach Ansicht des Autors ist das Relief ein mindestens genauso entscheidender Faktor für die Typologie. Grund für die Auswahl weniger Faktoren für die morphologische Typologie war vor allem das Ziel einer übersichtlichen Anzahl Quelltypen.

Zu ähnlichen Quelltypen gelangt man auch in Bayern (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT 2003). Autoren wie ZOLLHÖFER (1997) bestätigen die Ansicht, dass sich eine über die klassischen Quelltypen hinausgehende geomorphologisch-ökologische Typologie nicht durchsetzt. Er unterscheidet fünf Grundtypen perennierender Quellen im Schweizer Jura und Mittelland: lineare Quellen, gering und unversinterte Rheokrenen, Kalksinterreokrenen, Karstrheokrenen und Giessen (= Alluvialrheokrenen, ZOLLHÖFER 1997).

Die Unterscheidung der vier morphologischen Basisquelltypen für Rheinland-Pfalz wurde vor allem über die Form des Austritts definiert, z. B. punktuell, flächig oder linear. Drei Quelltypen gehen auf STEINMANN (1915) und THIENEMANN (1924) zurück, der vierte Typus der Migrakrene (Wanderquelle) wurde neu hinzugenommen. Er ist dem Quelltyp „lineare Quelle“ nach ZOLLHÖFER (1997) nicht unähnlich, der unabhängig für die Schweiz dargestellt wurde. Dort wird zwar ein höherer Feinmaterialanteil beschrieben, ansonsten sind aber ähnliche Charakteristika vorhanden, so das jahreszeitlich lineare Wandern und die Ausbildung eines Mischtyps zwischen Helo- und Rheokrene, wobei der Abfluss in Richtung des Gefälles stetig zunimmt. Allerdings ist dieser Quelltyp in der Schweiz weit häufiger als in Rheinland-Pfalz, so dass dort lineare Quellen die meisten Bachanfänge darstellen (ZOLLHÖFER 1997). Der Begriff Migrakrene wird hier verwendet (von lat. „*migrare*“ = wandern), da sie andere Eigenschaften hat und unabhängig entdeckt wurde. Wanderquellen wurden meist in Geländerinnen gefunden, die die Höhenlinien rechtwinklig schneiden und von der schwankenden Schüttung gebildet wurden. Sie besitzen meist einen Untergrund aus größerem und relativ einheitlichem Substrat - in der Regel Schotter - und als besondere Struktur des Quelltyps ein großes Lückensystem im Interstitial. Auch in Hessen wurden kürzlich drei lineare Quellen im Basalt beschrieben (REISS 2002).

Die Abgrenzungen der Quelltypen entsprechen weitgehend der Quellliteratur, so ist nach POTT & REMY (2000) der Austritt einer Rheokrene räumlich eng umgrenzt und sie findet sich im Mittel- und Hochgebirge mit deutlicher Reliefenergie. Grundquellen rechnen POTT & REMY (2000) allerdings zu den Tümpelquellen. Helokrenen werden als großflächig diffuse, morastige, mit organischem Material durchsetzte Flächen bezeichnet, dabei bleibt der flach durchrieselte Quellsumpf zunächst ohne erkennbare Fließrichtung. Mit Wanderquellen vergleichbare Quelltypen werden in einschlägiger Quellliteratur außer bei ZOLLHÖFER (1997) nicht erwähnt. Dagegen hat ZOLLHÖFER (1997) in der Schweiz keine Sickerquellen typisiert. Es dürfte bei den eigenen Kartierungen eine gewisse Dunkelziffer bei den Wanderquellen geben, vor allem bei Quellen mit geringerer Schüttung, da der Quelltyp erst spät hinzugenommen wurde. Wenn man auch kleine Quellaustritte berücksichtigt, dürften bis über 20 % aller Quellen eine gewisse „migrakrene Tendenz“ aufweisen und kommen wahrscheinlich auch im Tonschiefer der Eifel, des Hunsrück und des Mittelrheintals vor.

Besonders interessant ist die Struktur geochemischer Sondertypen wie Kalksinterquellen, Schwefelquellen, Mineralquellen mit Verockerungen, Solequellen und Thermalquellen. Zu geochemischen Sondertypen wurden ausschließlich strukturelle Quelltypen gezählt, die morphologisch zu differenzieren sind. Leider konnten nur noch wenige solcher Quellen in naturnaher Ausprägung gefunden werden. Hierzu gehören die Strukturreferenzquellen Nr. 0004, 0039 und 4016, es sind ausnahmslos Kalksinterquellen mit zum Teil starker Sinterbildung (Quelle Nr. 0039). Sinterbildung kann sowohl abiotische oder biotische Ursachen haben. So führt bei hohem Gehalt an Ca^{2+} die Absenkung des CO_2 -Partialdrucks mit dem Quellaustritt bzw. der assimilatorische Entzug durch pflanzliche Photosynthese, gekoppelt mit der Abnahme der Löslichkeit des Kalkes durch die steigende Wassertemperatur zur Ausfällung von Kalksinter. Bestimmte Moosarten unterstützen die Sinterbildung (*Cratoneuron commutatum*, *Philonotis calcarea*), so dass Substrate inkrustiert und Sinterterrassen ausgebildet werden (Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht: $\text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{Ca}^{2+} + 2 \text{HCO}_3^-$).

Mineralquellen mit Verockerungen weisen eine sehr eingeschränkte Besiedlung auf, weshalb sie in den 56 Referenzquellen nicht enthalten sind. Strukturelle Referenzen konnten aber noch in der Eifel gefunden werden. Sie treten häufig in Podsolböden aus (POTT & REMY 2000). Der Ocker ist meist als Eisen- oder Manganocker anzutreffen, vor allem in saurem Milieu. Er entsteht, wenn sauerstoffarmes Grundwasser mit Luftsauerstoff angereichert wird. Bei Eisenocker fällt gelöstes Fe^{2+} als Fe^{3+} als orangefarbener Überzug aus. Extreme Verockerungen sind selten, während leichte Verockerungen häufiger zu beobachten sind. Sie treten vor allem in Bachtälern mit sauerstoffarmen Gleyeböden und bei Podsolböden auf (Sickerquellen), letztere existieren im Buntsandstein des Pfälzerwaldes, im Schichtstufenland, in Teilen der Eifel und im Moselland. Eisenocker ist nach UHLMANN (2001) besonders häufig in Sickerquellen anzutreffen, was bestätigt werden konnte, er kam aber auch bei Sturzquellen vor. Spezialfall einer Mineralquelle ist die Solequelle, deren Wasser hohe Chloridkonzentrationen enthält, wobei der hohe Salzgehalt nur von halophilen Organismen toleriert wird. Sie kommen sehr selten vor, z. B. bei Bad Münster am Stein, wurden aber in naturnaher Ausprägung nicht gefunden. Gipsquellen mit hohen Sulfatgehalten dürften in Rheinland-Pfalz nicht vorkommen.

Schwefelquellen werden u. a. von Schwefelbakterien bewohnt, die gelöstes Sulfat zu Schwefelwasserstoff umwandeln und so Stoffwechselenergie gewinnen. Typisch sind gelblich-weiße Überzüge auf Steinen und der Geruch nach Schwefelwasserstoff. Dieser Quelltyp kommt in geologisch aktiven Zonen vor, in Rheinland-Pfalz im Oberrheingraben, allerdings wurden auch nur verbaute Austritte festgestellt.

Bei Thermalquellen steigt Grundwasser aus größerer Tiefe auf und transportiert Wärme aus dem Erdinneren nach oben. Auch sie werden für Heilzwecke genutzt, sind häufig gleichzeitig Mineralquellen und finden sich in der Eifel, im Rheintal sowie an der Ahr. Hier finden sich ausschließlich Spezialisten, die die thermischen Bedingungen tolerieren oder benötigen, meist Bakterien. Auch Thermalquellen wurden in naturnaher Ausprägung in Rheinland-Pfalz nicht mehr gefunden.

Zur Verteilung der Quelltypen in Rheinland-Pfalz ist zusammenfassend festzustellen, dass das Relief und teilweise die anorganischen Substrate die wichtigste Rolle spielen. Nach BOHLE (1995) finden sich Sturzquellen öfter in bergig-steilem Gelände und bei Kluftgrundwasserleitern, während Sickerquellen im Hügelland, flacheren Regionen und in Porenleitern vorherrschen, was bestätigt wurde. Tümpelquellen sind selten und kommen in Bachtälern und an Talrändern vor, was ebenfalls der Fall war, nach BOHLE (1995) sind sie für Kluftgrundwasserleiter typisch. Geochemische Sondertypen sind zusätzlich von geochemischen Eigenschaften des austretenden Grundwassers abhängig, die sich oft räumlich akkumulieren (Rheingraben). Bei der Auswertung ergab sich die Schwierigkeit, dass bei gefassten Quellen in der Regel der ursprüngliche Quelltyp nicht mehr zu erkennen ist. Trotzdem dürfte die Quelltypenverteilung mit 1/3 Sturzquellen, 60 % Sickerquellen, 9 % Tümpelquellen und einigen Prozent Wanderquellen der Realität nahe kommen. Trotz der geringen Zahl eindeutiger Wanderquellen stellen sie bei über 10 % aller Quellen einen Nebenquelltyp dar, meist bei Sickerquellen. Eindeutig war, dass im Buntsandstein Sturz- und ansonsten eher Sickerquellen dominieren. Tümpelquellen waren vom kleinräumigen Relief abhängig und kamen in Tal- und Hangfußlagen geringer Hangneigung vor. Wanderquellen scheinen in Verbindung mit größerem Substrat aufzutreten, was in Rotliegend-Magmatit und Schiefer mit Grauwacken der Fall war. Aber auch das Relief dürfte eine Rolle spielen, da sie nur in Mittelhanglage mit mäßig bis starker Hangneigung vorkamen. Alle Sonderquelltypen kommen in natürlicher Ausprägung kaum noch vor und sind in aller Regel gefasst.

Dass Sickerquellen die geringste durchschnittliche Abflussmenge aufweisen, während Sturzquellen im Schnitt deutlich stärker schütten, wird allgemein bestätigt. Am stärksten schütteten die Tümpelquellen, was mit ihrer Lage am Hangfuß mit großen Einzugsgebieten erklärbar ist. Wanderquellen bildeten das Schlusslicht. Da sie aber nur auf den ersten Metern beprobt wurden und aufgrund ihrer zunehmenden Schüttung bereits nach kurzer Fließstrecke ein deutlich größerer Abfluss vorhanden ist, ist diese Aussage fraglich.

Bei der Einteilung von Quellen wurden keine endorheischen Quellen berücksichtigt (ZOLLHÖFER 1997). Weiterhin blieben schwer abgrenzbare bzw. nicht oder kaum morphologisch zu differenzierende Quellen unberücksichtigt. Hierzu zählen Karstquellen, die in Rheinland-Pfalz sehr selten sind und die sich morphologisch kaum von Sturzquellen unterscheiden. Außerdem wurden Sturz- und Fallquellen nicht unterschieden, da die geringe Zahl der Fallquellen im Rahmen dieser Arbeit keinen zusätzlichen Quelltyp rechtfertigte. Auch hydrochemische Sondertypen wie Hydrogencarbonat-Säuerlinge wurden nicht berücksichtigt, wenn sie keine strukturverändernde Wirkung haben. Hydrochemisch wurden Karbonatquellen und Silikatquellen nicht unterschieden, da die morphologisch nicht zu differenzieren sind. Rheinland-Pfalz ist als typische mitteleuropäische Gebirgslandschaft silikatquellenreich, welche in Gebieten mit pufferarmem Gestein versauerungsempfindlich sind. Ein ebenfalls nicht berücksichtigtes Kriterium für die Einteilung der Quellen war die Höhenlage. Es werden montane, submontane und planare Quellen unterschieden. Sie unterscheiden sich in der Besiedlung, weil einige Organismen bestimmte Höhenpräferenzen aufweisen, so z. B. die Bachflohkrebse *Gammarus fossarum* (montan bis submontan) und *Gammarus pulex* (submontan bis planar).

E 2.4 Strukturreferenzquellen

Um sich leitbildähnliche Zustände vorstellen zu können, wurden naturnahe Eigenschaften am Beispiel der Quelltypen in Kapitel D 2.3.2 und D 2.3.3 aufgezeigt. Dieser Optimalzustand bildet einen Nullwert, an dem eine Quelle mittels des Kartierbogens gemessen werden kann. Die mittels des Verfahrens herausgefilterten strukturellen Leitbilder beschreiben den potenziell natürlichen Zustand für Quellgewässer für Rheinland-Pfalz. Hierbei stand der Grad der Natürlichkeit als Kriterium im Vordergrund (vgl. LISCHESKI & SCHULTE-BOCHOLT 1995). Die aus repräsentativen Stichproben ausgewählten Objekte, die bereits bei SCHINDLER (2002) im Quelltypenatlas vorgestellt wurden, sind Beispiele für die typische Morphologie von Quellen einer Landschaft. Da diese in einem hohen Maße anthropogen geprägt ist, wurden auch Quellen mit Beeinträchti-

gungen ausgewählt, wo keine naturnahe Quellen bekannt waren (Rheinhessen, Vorderpfalz). Die Referenzquellen stellen lediglich annähernd den heutigen potentiellen Naturzustand einer Quelle dar. Die 85 ausgewählten Quellen des Quelltypenatlas sowie die Referenzquellen der anderen Untersuchungen sind dabei repräsentativ für einen Quellraum und für die betreffende Region relativ unbeeinträchtigt. Trotzdem dürften sich im betreffenden Quellraum bei entsprechendem Aufwand eventuell noch naturnähere Quellen finden lassen. Ein Teil dieser Quellen werden im Anhang vorgestellt, wenn sie auch in den faunistisch besten Klassen enthalten sind. Ihre Struktur entspricht dabei den Strukturklassen 1 (naturnah) und 2 (bedingt naturnah).

In Kapitel D 2.3.3 wurde mit dem Hinweis auf den natürlichen Lichthaushalt beschrieben, dass naturnahe Quellen fast immer von Laub-Mischwald umgeben sind. Da natürliche Offenlandquellen extrem selten sind können naturnahe Zustände kaum noch studiert werden. Es ist aber sehr interessant, dass bei den 56 faunistischen und strukturellen Referenzquellen sechs (Teil-)Offenlandquellen enthalten sind. Diese liegen ausnahmslos in zum Teil verbuschtem, extensivem Grünland oder am Waldrand. Quelle Nr. 1085 liegt als einzige Quelle vollständig in extensivem Grünland. Dies wird ausführlich in Kapitel E 4.3.2 diskutiert. Wichtig für die Ausbildung einer naturnahen Quellvegetation ist aber auf jeden Fall ein geringer Nährstoffgehalt.

E 3 Hydrochemie der Quellen von Rheinland-Pfalz

Die hydrochemischen Parameter sind in ihrer Bedeutung für das Krenon differenziert von Bächen zu betrachten. Die abiotischen Charakteristika des Quellwassers werden durch Aquifer, Geologie und Landnutzung bestimmt (Abb. E4.1).

Einer der wichtigsten Wasserparameter ist die Temperatur sowie deren zeitliche Änderung im Jahresverlauf. Sie liegt bei tiefengrundwassergespeisten Quellen tages- und jahresperiodisch relativ konstant im Bereich der mittleren Jahreslufttemperatur (montan bis planar: 7 – 10°C), so dass Quellen sommerkalt und winterwarm sind und nicht zufrieren. Im Allgemeinen sind auch andere chemische und physikalische Bedingungen solcher Quellen relativ konstant. Schwankungen von Temperatur und Wasserinhaltsstoffen im Quellwasser sind umso größer, je oberflächennaher das Grundwassersystem ist (MATTHEB & UBELL 1983). Bei oberflächennahem Grundwasser spiegelt der Temperaturverlauf mehr oder weniger gedämpft die Lufttemperatur wider. Solche Quellen finden sich gehäuft in sehr feinporigem, wenig durchlässigem Gestein wie bei Tonschiefer und bilden oft Helokrenen mit unbeständiger Schüttung. Dieser Zusammenhang wurde ausführlich im Frankenwald von BEIERKUHNLEIN & GRÄSLE (1993) untersucht, wobei deutlich wurde, dass die weithin angenommene Isothermie nur eingeschränkt und für stärker schüttende Quellen gilt. Temperaturschwankungen werden mit zunehmender Entfernung vom Austritt immer größer, wobei sich die Wasser- an die Lufttemperatur je nach Jahreszeit verzögert angleicht. Die Änderung wird von der Wassertiefe und Abflussmenge beeinflusst. Bei Messungen ergab sich eine Abnahme der Temperatur von ca. 0,6 - 1°C pro 100 m Höhenanstieg je nach Jahreszeit, Exposition und Bewuchs im Einzugsgebiet (PRIER 1985).

Trotz der mit der Lufttemperatur korrelierten Wassertemperatur lag bei den ermittelten Daten sehr vieler perennierender Quellen eine relativ konstante Wassertemperatur um das Jahresmittel der Lufttemperatur vor. Die durchschnittlichen Amplituden aller Quellen lagen unter 2 °C. Hierbei ist allerdings daran zu denken, dass die Beprobung der Quellen zwar im gesamten Jahresverlauf erfolgte, die meisten Proben wurden jedoch von März bis Juni genommen, wo die Temperaturunterschiede zwischen Luft und Wasser häufig noch nicht so groß waren. Zudem war es gegeben, phänomenologische Unterschiede möglichst gering zu halten, um eine vergleichbare Besiedlung vor dem Hauptemergenzgeschehen vorzufinden. Eine Isothermie ist also nicht nachgewiesen. Die Temperatur hing stark von der Schüttung ab, so waren etwa stärker schüttende Quellen im Buntsandstein recht konstant in ihrer Temperatur, während die Temperatur von Quellen in tertiären Ge-

steinen und in Tonschieferquellen mit geringer Schüttung stärker schwankte. Letzteres bestätigen BEIERKUHNEIN & GRÄSLE (1993), war aber hier nicht ganz so deutlich. Die niedrigen und die konstanten Temperaturen bei Buntsandsteinquellen dürften direkt mit ihrer ausgeglichenen Schüttung zusammenhängen.

Grundsätzlich wies LASAR (1987) Temperaturen in ähnlichen Bereichen (7-10°C) nach. In höheren Lagen wurden im Allgemeinen auch tiefere Temperaturen gefunden z. B. im südlichen Hunsrück oder am Donnersberg im Vergleich zum Haardtrand. Bei der Temperaturamplitude dürfte die Hanglage eine wichtige Rolle spielen, da bei Oberhangquellen die Verweildauer des Wassers im Grundwasser kürzer ist als bei Quellen in Tallage. Letzteres betrifft vor allem Tümpelquellen, welche die geringste Amplitude aufwiesen, während Sturz- und Sickerquellen mit der größten Amplitude meist höher am Hang lagen. Im Einzelfall schwanken die Werte bei Sickerquellen stark, besonders, wenn diese periodisch sind. Bei einem offenen Umfeld steigt die Temperatur offensichtlich etwas an, was auf die Sonneneinstrahlung bei unbeschatteten Quellen zurückzuführen ist. Dies wird auch von LASAR (1987) bestätigt.

Diese Umfeldabhängigkeit gilt auch für eine Reihe weiterer hydrochemischer (Verschmutzungs-) Parameter, so etwa die Leitfähigkeit. Dies ist einerseits auf anthropogene Einträge, andererseits aber auch auf hydrogeologische Eigenschaften des Grundwassers zurückzuführen. Die Hydrochemie fruchtbarer Böden sieht anders aus als in nährstoffärmeren Waldböden, da Landwirtschaft nur auf geeigneten Böden stattfindet. Aus diesen Gründen ist etwa in Waldquellen die Leitfähigkeit niedriger als in anderen Bereichen. Dass in Nadelwaldquellen die Leitfähigkeit besonders niedrig war, könnte mit der ganzjährigen Photosynthese der Nadelbäume zusammenhängen. Abbildung D3/4 zeigt jedenfalls deutlich, dass in Naturräumen und Grundwasserlandschaften mit landwirtschaftlicher Nutzung und fruchtbaren Böden die Leitfähigkeit höher war als in anderen Bereichen (Quartär). Der Unterschied bei der Hydrochemie von gefassten und ungefassten Quellen ist sehr wahrscheinlich auf die unterschiedliche Nutzung des Umfeldes und Eigenschaften der Böden zurückzuführen. Eine mögliche Interpretation der Daten ist, dass ungefasste Quellen und ihre Einzugsgebiete sehr oft im Wald liegen, während viele gefasste Quellen in landwirtschaftlich genutzten, offenen Bereichen anzutreffen sind, wo z. B. auch Düngereinträge stärker auftreten (Abb. D3/5). Die Trennung von Düngerausträgen und naturgegebener Erhöhung einiger Parameter ist also nur schwer möglich (Festlegung von Grenzwerten).

Der pH-Wert wird besonders von den Puffereigenschaften des Untergrundes bestimmt. Er liegt in kristallinen Gesteinen wie Taunusquarzit und Sandstein niedrig um pH 5-6, in basischen Gesteinen und bei kalkigem Untergrund ist er höher oder liegt im neutralen Bereich. Werte unter pH 5 sind meist durch anthropogene Versauerungserscheinungen verursacht (atmosphärische Schwefel- und Stickstoffverbindungen, Nadelholzmonokulturen). Versauerungsbedingt können Aluminium- oder Manganionen aus dem Boden gelöst werden. Versauerungskorreliert ist vor allem Aluminium, das sich unterhalb von etwa pH 5-5,5 löst und in höheren Konzentrationen nachweisen lässt. Hohe Gehalte dieser Ionen sowie die Säure wirken toxisch, so dass in stark versauerten Quellen kaum noch Leben möglich ist. Da von Versauerung Quellen direkt betroffen sind, eignen sie sich als Indikatorsysteme für die Umweltüberwachung hervorragend (BEIERKUHNEIN 1996), da vor allem in pufferschwachen Räumen ihre Hydrochemie das veränderte chemische Klima widerspiegelt.

Die niedrigen pH-Werte im Hunsrück und im Pfälzerwald waren zu erwarten, da die beiden Mittelgebirge die pufferärmsten Böden von Rheinland-Pfalz aufweisen. Die Versauerung wird auch anthropogen durch historische Waldrodungen und die Streunutzung verstärkt (TRÖGER 1997). Auch im Westerwald, in der Vulkaneifel und am Donnersberg wurden niedrigere pH-Werte nachgewiesen. Aufgrund der vorliegenden Daten sind die Hochlagen des südlichen Hunsrück als am meisten versauert zu bezeichnen, dicht gefolgt vom Pfälzerwald (vgl. REWITZER 1992, TRILLING 1996). Geologisch gesehen entspricht dies devonischem Quarzit und dem mittleren Buntsandstein. Geologisch junge Gesteine wie der Muschelkalk wiesen erwartungsgemäß die höchsten pH-Werte auf. Interessant ist das Auftreten einzelner saurer Quellen in devonischem Kalkstein,

welche immer in sauren Hangmooren liegen. Auch beim Vergleich des pH-Wertes mit den Umfeldtypen finden sich die niedrigsten Mittelwerte in Nadelwald und die höchsten Werte in intensivem Grünland und Acker- bzw. Siedlungsflächen mit signifikanten Unterschieden zwischen Offenland- und Waldquellen, so dass Waldquellen im Mittel saurer waren als Offenlandquellen. Auch hier drängt sich die gleiche Interpretation auf, wie sie eben bei der Leitfähigkeit gegeben wurde (Puffereigenschaften der Böden).

Die Ergebnisse passen in das Bild der Literatur zur Versauerung der Quellbäche im Hunsrück (MAUDEN 1994, KRIETER 1991, WILD 1992). Dagegen stellt sich die Situation im Pfälzerwald völlig anders dar. Bereits nach kurzer Fließstrecke, meist nach weniger als 100 m, wird das saure Quellwasser durch den Zustrom von tieferem, unversauertem Grundwasser neutralisiert (HAHN et al. 1998, TRÖGER 1997). Im Hunsrück wirkt sich also die Versauerung nicht nur auf die Quellen selbst aus, sondern setzt sich bis weit hinab in die Quellbäche fort (MAUDEN 1994, LFW 2000). Dass die Quellen im Winter/Frühjahr durchschnittlich saurer sind als im Sommer/Herbst (größere Bodenwasseranteile im Winter), bestätigen die meisten Untersuchungen (z. B. MAUDEN 1993, FIEDLER-WEIDMANN & HAHN 1996), bei TRÖGER (1997) zeigten sich indes umgekehrte Verhältnisse, wobei dort nur wenig Stichproben vorlagen. Neben Hunsrück und Pfälzerwald sind noch weitere, allerdings kleinräumigere Gebiete in Rheinland-Pfalz von Versauerung betroffen, vor allem Teile der Eifel, aber auch des Westerwaldes (LFW 2000). Der pH-Wert der Quellen, besonders der Boden-pH, lag auch bei TRÖGER (1997) in Nadelwald sehr niedrig, so dass Nadelholzmonokulturen in pufferarmen Waldgebieten den entscheidenden Versauerungsfaktor darstellen.

In Gebieten mit einheitlicher Geologie zeigt sich eine stärkere Abhängigkeit des pH-Wertes von der Hanglage. Der pH-Wert der Quellen des Pfälzerwaldes ist durch die geringe Pufferkapazität des Buntsandsteins neben der geologischen Einzelformation stark von der Hanglage abhängig. Besonders Oberhangquellen im mittleren Buntsandstein sind von Versauerung betroffen. Hier sind größere Anteile von oberflächennahem Grundwasser zu erwarten, während der Tiefengrundwassersanteil in Talquellen wesentlich größer ist. Dies bestätigte TRÖGER (1997) für den Pfälzerwald. Bei den Daten von SCHINDLER, GUTENSOHN & HAHN (2002) zeigt, dass im südlichen Pfälzerwald etwa zwei Drittel der Quellen unversauert waren, was aufgrund der speziellen Situation im Wasgau im Verhältnis zum gesamten Pfälzerwald eher als überdurchschnittlich zu bezeichnen ist. Es dürften also deutlich mehr als ein Drittel aller Quellen im Pfälzerwald als versauert zu bezeichnen sein (Hochlagen, mittlerer Buntsandstein).

Generell problematisch bei der pH-Messung ist, dass im sauren Milieu die Feldelektrode sehr lange für die Einstellung auf einen konstanten Wert benötigt (bis 20 min) und deswegen Messfehler auftreten können. Aus diesem Grund ist davon auszugehen, dass die gemessenen pH-Werte eher noch etwas niedriger als in der Realität lagen. Es wurden beim pH-Wert aber trotzdem die Vor-Ort-Messungen den Labormessungen vorgezogen, weil auf dem Transport ins Labor der pH-Wert Veränderungen unterliegen kann. So wurde in Quelle Nr. 0086 eine Erhöhung des pH-Wertes im Labor um ca. 1,5 pH-Schritte festgestellt, was möglicherweise mit dem huminsäurereichen Wasser dieser Quelle zusammenhängt (Hangmoorsituation im Hunsrück). Der Effekt war kein Messfehler, da er an dieser Quelle in Frühjahr und Herbst unabhängig voneinander auftrat.

Insgesamt war die Sauerstoffsättigung der Quellen mit im Schnitt über 80 % recht hoch. Geringere Sauerstoffkonzentrationen finden sich in Quellen der Vulkaneifel und des Bienwaldes, ansonsten sind die Unterschiede zwischen den Naturräumen und Grundwasserlandschaften eher gering. Die Sauerstoffsättigung liegt bei fast allen Buntsandsteinquellen recht einheitlich bei etwa 80 bis 100 % und damit etwas höher als in anderen Regionen. Diese auch bei anderen Kartierungen in Pfälzerwald und Westrich festgestellten Werte (FIEDLER-WEIDMANN & HAHN 1996, SCHINDLER 2000) sind geologisch bedingt und typisch für Buntsandsteinquellen. Die geringeren Sauerstoffkonzentrationen in Quellen der Vulkaneifel und des Bienwaldes haben wahrscheinlich geologische Ursachen (Mineralquellen, undurchlässige, sauerstoffarme Böden wie z. B.

Auelehme). In der Vulkaneifel liegen sehr sauerstoffarme Tümpelquellen, die aufgrund ihres natürlichen, hydrochemischen Typs als metallhaltige Säuerlinge den niedrigsten Sauerstoffgehalt der Untersuchung aufweisen. Sie besitzen gleichzeitig einen hohen Kohlendioxidgehalt (MEYER 1990, BENECKE 1997). Im Bienenwald sind die geringen Werte auf die stehgewässerähnlichen Bedingungen zurückzuführen, da von stärker fließenden Quellen kaum die Rede sein kann. Sie können als moor- bzw. bruchähnlich bezeichnet werden.

Quellen durchlässiger und klüftiger Gesteine ohne chemische Überprägungen weisen eine etwas höhere Sättigung auf als Quellen undurchlässiger Gesteine wie z. B. Tonschiefer mit Lehmböden. Insgesamt liegt die Sauerstoffsättigung aber selbst in Naturräumen mit undurchlässigen Böden recht hoch (80 - 90%), obwohl austretendes Grundwasser im Allgemeinen mit niedrigen Sauerstoffwerten in Verbindung gebracht wird. Dies liegt wahrscheinlich darin begründet, dass der Sauerstoffgehalt oft erst einige Dezimeter nach dem Austritt gemessen werden konnte, wo das Wasser bereits mit Luftsauerstoff in Berührung kam und sich wieder aufsättigen konnte. Dies gilt insbesondere für naturnahe Quellen. Der Effekt sauerstoffarmen Grundwassers dürfte folglich für die Lebensgemeinschaften einer Quelle kaum eine Rolle spielen, da sich das kühle Wasser naturnaher Quellen aufgrund der großen Kontaktfläche Wasser-Luft schnell mit Luftsauerstoff sättigt, zumal die Löslichkeit von Sauerstoff in kaltem Wasser groß ist. In Mineralquellen, die natürlicherweise sauerstoffarm sind, ist der Sauerstoff dagegen ein limitierender Faktor.

Die jahreszeitlichen Unterschiede bei der Sauerstoffsättigung sind interessant und spiegeln die geringere Schüttung im Sommer/Herbst wider, so dass wahrscheinlich fehlende Turbulenzen durch die verminderte Strömungsgeschwindigkeit eine geringere Sättigung zur Folge hatten. Im Rotliegenden konnten größere Schwankungen der Sauerstoffsättigung festgestellt werden, was an der geringen Korngröße in Verbindung mit geringen Schüttungsmengen und landwirtschaftlichen Einträgen liegen könnte. Einzelne höhere Sauerstoffsättigungen waren dagegen auf die starke Verkräutung meist offener Tümpelquellen zurückzuführen.

Die Hydrochemie differiert teilweise bei verschiedenen Quelltypen. In Sickerquellen gleicht sich die Wassertemperatur recht schnell der Lufttemperatur an, da die Kontaktoberfläche Luft-Wasser sehr groß ist. Aus diesem Grund ist auch der Sauerstoffaustausch mit der Luft hoch. pH-Wert und andere chemische Kenngrößen werden manchmal durch die Pflanzendecke bereits nach kurzer Fließstrecke verändert (Kalksinterquellen). Aus diesen Gründen schwanken die hydrochemischen Verhältnisse sowohl örtlich als auch jahreszeitlich sehr stark. Bei Sturzquellen gleicht die Wassertemperatur bei stärkerer Schüttung relativ lange dem Grundwasser, ebenso verhält es sich mit dem über längere Strecken konstant bleibenden Chemismus. Der Sauerstoffaustausch mit der Luft wird weniger durch die große Bodenfläche, sondern mehr durch Turbulenzen gewährleistet (Abstürze). Die Tümpelquelle bildet in grober Näherung eine Mittelstellung zwischen der Sturz- und der Sickerquelle, abhängig von der Größe des Tümpels und der Schüttungsintensität. Die Tümpelquelle ist der einzige Quelltyp, bei dem ab einer gewissen Größe eine Temperaturschichtung auftreten kann, der Sauerstoffaustausch mit der Luft ist bei größeren Tümpelquellen deutlich geringer als bei anderen Quelltypen. Die Hydrochemie ist bei kleineren Tümpelquellen sturzquellenähnlich konstant. Dass Sturz- und Wanderquellen eine engere Spanne der Sauerstoffsättigung als Sicker- und Tümpelquellen aufweisen, könnte an geringeren Turbulenzen in Verbindung mit geringeren Schüttungen liegen, weshalb sich weniger Luftsauerstoff im Wasser löst. Da Tümpelquellen von tieferem Grundwasser gespeist werden, kann sich die längere Verweilzeit des Wassers im Boden außerdem durch geringe Sauerstoffgehalte bemerkbar machen.

Das Wasser natürlicher, tiefengrundwassergespeister Quellen ist praktisch stickstofffrei, die natürliche Nahrungsgrundlage partikulärer organischer Kohlenstoff (POC) in Form von Falllaub. Ammonium und Phosphor, beides Nährstoffe belasteter Gewässer, sind dann nur in Ausnahmefällen im Milligramm-Bereich nachweisbar. Bei einem Nachweis von Stickstoffverbindungen stammen diese meist aus anthropogenen Einträgen (Düngemittel, Gülle, Fäkalien) und, in geringerer Konzentration, aus Niederschlägen. Es ist vor allem

Nitrat zu erwarten, da Ammonium im Boden nitrifiziert wird. Nitrate sind Salze der Salpetersäure (HNO_3). Sie werden zur Stickstoffversorgung von Kulturpflanzen als Dünger aufgebracht und gelangen wegen leichter Wasserlöslichkeit in Hydrosphäre und Grundwasser. Durch die Belastung des Niederschlags mit Stickstoffverbindungen aus Landwirtschaft und Verkehr ist von einer schwach düngenden Wirkung des Regenwassers auszugehen. Bei starken Nitratgehalten wird zusätzlich der Pflanzenwuchs gefördert, so dass Quellspezialisten, die an nährstoffarmes Wasser angepasst sind, von Ubiquisten verdrängt werden.

In landwirtschaftlichen Bereichen lag der Nitratgehalt fast immer höher als in einem Gebiet mit walddreichem Einzugsgebiet, so dass sich walddreiche von walddarmen, landwirtschaftlich genutzten Naturräumen allein schon durch die graphische Darstellung des Nitratgehaltes unterscheiden lassen (Abb. D3/11). Erhöhte Nitratgehalte weisen also immer auf Kontaminationen hin (vgl. LASAR 1987). Tatsächlich sind in Naturräumen mit intensiver Landwirtschaft wie Schichtstufenland, Haardtrand, Südlicher Mittelrhein und in geringerer Ausprägung Nördlicher Mittelrhein, Nordpfälzer Bergland, Westrich, Kalkeifel und Nördlicher Hunsrück die Nitratgehalte erhöht. Solche Gebiete besitzen nicht selten kalkreiche, für die landwirtschaftliche Nutzung besonders geeignete Böden, natürlicherweise ist aber kein Nitrat zu erwarten. Nitratarme Quellen liegen mit ihren Einzugsgebieten auch hier wieder in walddreichen Naturräumen, die einen unfruchtbaren Boden aufweisen. Solche Naturräume sind Pfälzerwald, Bienwald, Donnersberg, Vulkaneifel, der Südliche Hunsrück sowie der (nördliche) Westerwald. In Regionen mit stärkeren Belastungen sind auch erhöhte Werte anderer Verschmutzungsparameter zu erwarten. Abbildung D3/12 zeigt die Umfeldabhängigkeit von Nitrat. Wieder besaß Nadelwald die niedrigsten Werte, was ähnliche Gründe wie bei der Leitfähigkeit haben dürfte. Erneut unterscheiden sich die Gruppen der Wald- und Offenlandquellen. Naturnahe Quellen wiesen kaum Nitrat auf, allerdings konnte in den Hochlagen der Mittelgebirge ein leichter Nitratanstieg beobachtet werden, der auf atmosphärische Stickstoffeinträge mit stärkeren Niederschlägen zurückzuführen sein dürfte. Auch Versauerungserscheinungen können zu einem etwas höheren Nitratgehalt beitragen (<http://www.umweltbundesamt.de/wasser/themen/grundwasser/nigehalt.htm>). Der Nitratwert für Ackerflächen dürfte noch höher liegen als in Abbildung D3/12, da die in den Kartierparameter integrierten Siedlungsbereiche den Wert drücken.

Erhöhte Ammoniumgehalte in landwirtschaftlich genutzten Flächen wie der Kalkeifel, dem Nördlichen Hunsrück sowie im Westrich sind durch Dünger- und Gülleeinträge zu erklären. Es traten aber auch einige erhöhte Werte in walddreichen Naturräumen sowie in Mineralquellen auf. Hier sind die Werte nur schwer erklärbar, mögliche Ursachen sind geogene Bedingungen (Mineralquellen), Einzelbelastungen aufgrund anthropogener Einträge oder Moor- bzw. Bruchsituationen. Phosphorgehalte waren dagegen nur in landwirtschaftlich genutzten Regionen erhöht. Bei zwölf Quellen lag der CSB bzw. Kalium-Permanganat-Index über dem Grenzwert für Trinkwasser, wobei drei Quellen besonders ins Auge fallen, und zwar Quelle Nr. 0079, 0111 und 2503, die alle um 20 bis 25 mg/l O_2 liegen. Diese Quellen liegen entweder in Hangmooren (Nr. 0079) oder im Bereich landwirtschaftlicher Einzugsgebiete.

Die Kalzium- und Magnesiumgehalte entsprechen weitgehend der Geologie und sind eng mit der Carbonathärte sowie neutralen pH-Werten gekoppelt. Im Allgemeinen gilt, dass bei Erhöhung der Metallgehalte das Wasser in der Regel saurer und auch weicher ist. Versauerungskorrelierte Metallionen sind insbesondere Aluminium, Mangan und Kadmium. Die höchsten Aluminiumgehalte entsprachen den niedrigsten pH-Werten, sie lagen insbesondere im Hunsrück und im Pfälzerwald. Im Pfälzerwald lag das Maximum, während die (Sicker-)Quellen des Hunsrück im Mittel mehr Aluminium enthielten. Im Bienwald und der Kalkeifel waren die Aluminiumwerte ebenfalls etwas erhöht, was möglicherweise geogene Ursachen hat. Im Bienwald könnte die Erhöhung mit dem geringen Sauerstoffgehalt zusammenhängen (reduzierendes Milieu). Die starke Zunahme des Aluminiumgehaltes bei niedrigen pH-Werten ist auf die Erschöpfung des Silikatpuffersystem zurückzuführen, da mit dem Übergang zum Austauschpuffer Aluminium frei wird (HOFFMANN 1992). Ein stärkerer Anstieg ist mit dem Eintritt in den Aluminiumpuffer ab pH 4,5 zu verzeichnen, so dass

toxische Konzentrationen von Aluminium vorliegen (Abb. D3/16). Hohe Aluminiumgehalte sind deswegen durch den hohen Interflow-Anteil des Bodenwassers oberhalb der Versauerungsfront bedingt. Sturz- und Sickerquellen haben im Vergleich zu Tümpel- und Wanderquellen höhere Aluminiumgehalte, was auf ihre Hanglage zurückzuführen ist (Ober- und Mittelhanglagen). Die Daten legen nahe, dass im Hunsrück die Versauerung insgesamt flächiger vorangeschritten ist, während im Pfälzerwald die Einzelbelastungen größer sein können, es aber auch noch mehr unversauerte Quellen gibt.

Versauerungskorreliert waren auch Mangan, Kadmium und Nickel. Hohe Kadmiumkonzentrationen sind ebenfalls vor allem dort zu erwarten, wo in pufferarmem Gestein ein niedriger pH-Wert vorliegt, so dass das im Boden gebundene Kadmium frei wird und in höherer Konzentration im Quellwasser nachweisbar ist. Das gleiche gilt für Mangan. Erhöhte Kadmiumgehalte weisen auf bodenchemische Zusammenhänge hin, da im Aluminiumpufferbereich des stark sauren Bodenmilieus bei zunehmender Versauerung der Aluminium durch den Kadmium-Puffer ersetzt wird und vorher gebundenes Kadmium in Lösung geht. Allerdings können hohe Kadmiumkonzentrationen auch geogen bedingt sein. Es wurde festgestellt, dass mit den Metallgehalten zum Teil niederschlagsbedingt auch Sulfat oder Nitrat erhöht ist, so in naturnahen Quellen mit Waldeinzugsgebieten wie z. B. in Quelle Nr. 0147 (56,5 mg/l SO_4^{2-}). Neuere Trends zeigen insgesamt einen leichten Rückgang der Versauerung (HAHN et al. 1998, http://www.loebf.nrw.de/static/infosysteme/ubwald/2002/texte/12_quellwasser1.htm).

Weitere Wasserinhaltsstoffe gelangen durch natürliche Beimischungen bei Bodendurchsickerung in Quellen wie z. B. Sulfat, Chlorid, Magnesium, Kalzium, Mangan oder Eisen (Quelle Nr. 0020), so dass toxische Substanzen auch natürlich vorkommen können z. B. Arsen. Chlorid kann auch durch Streusalzeinträge in bodenwassergeprägten Quellen nachgewiesen werden (LASAR 1987), was hier nicht gelang.

Die Zusammenhänge des Strukturverfahrens mit der Hydrochemie zeigen, dass beide über Boden und Geologie als Mittelfaktoren gekoppelt sind. Nach dem Strukturverfahren als naturnah bewertete Quellen waren saurer und kühler als schlechter bewertete Quellen, außerdem wiesen sie die größte relative Sauerstoffsättigung auf und besaßen geringere Nitratgehalte und geringere Leitfähigkeiten.

E 4 Die Fauna von Quellen in Rheinland-Pfalz

E 4.1 Nachgewiesene Arten

Vor der Diskussion der nachgewiesenen Arten wird kurz auf die zu erwartende Quellfauna eingegangen. Beim Schutz der Biodiversität ist die Erhaltung biotoptypischer Arten im Zentrum ihrer natürlichen Verbreitung anzustreben (MAYER, CLEMENS & FISCHER 2002), was besonders für Quellen gilt, da sie Lebensräume einer hochspezialisierten Fauna sind, in der praktisch alle limnischen Wirbellosen vertreten sind. Da Quellen keinen einheitlichen Lebensraum darstellen, ist ihre Fauna entsprechend heterogen (BOHLE 1995). Die Quellzoozönose grenzt sich wegen hochstenöcker Krenobionten deutlicher von den Lebensgemeinschaften in der Längszonierung der Bäche und Flüsse ab als alle anderen Fließgewässerabschnitte untereinander (ILLIES 1952, ZOLLHÖFER 1997). Obwohl in älterer Literatur oft die geringe oder fehlende Besiedlung angeführt wird, ist es umso erstaunlicher, dass mittlerweile in Quellen fast genauso viele Arten beschrieben sind wie in Bächen. Dies lag vor allem am noch defizitären Forschungsstand, da seit den 90er Jahren die Biodiversitäts- und mit ihr die Quellforschung einen Aufschwung genommen hat. Zwar finden sich in einzelnen Quellen aufgrund der Kleinräumigkeit und der relativen Nährstoffarmut auch tatsächlich weniger Arten in kleineren Populationen als in Bächen, die Vielzahl unterschiedlicher Habitate und Quelltypen bedingt aber die große faunistische Gesamtartenzahl. Auch sind im Krenon geringere Individuenzahlen pro Flächeneinheit und

durchschnittlich geringere Größen der Makrozoobenthosorganismen charakteristisch, was die Probenahme erschwert, so sind einige Arten nur schwer nachweisbar (Psychodidae).

Das Makrozoobenthos gibt über Quelllebensgemeinschaften den besten Überblick, da es viele quellasoziierte Taxa gibt, was etwa bei der Vegetation nicht der Fall ist (UHLMANN 2001). Auch ist immerhin der Forschungsstand so weit, dass Angaben zur Stenotypie und zu ökologischen Ansprüchen einzelner Arten gemacht werden können. Deswegen werden Makrozoobenthos bzw. limnische Wirbellose für Quelluntersuchungen in Naturschutzgroßprojekten vorgeschlagen (FINCK et al. 1992), auch weil die Quellfauna empfindlich auf Lebensraumveränderungen reagiert, z. B. auf Gewässerversauerung. Die Gesamtartenzahl in europäischen Quellen beträgt nach ZOLLHÖFER (1997) bzw. ILLIES (1978) rund 1500 Arten. 465 Arten hiervon sind krenophil (bevorzugt in Quellen) oder krenobiont (ausschließlich in Quellen, ILLIES 1978). Krenobionte Taxa finden sich vor allem bei Turbellarien, Gastropoden, Crustaceen, Trichopteren und Dipteren. Grundsätzlich ist die Quellfauna als konservativ und relativ alt zu bezeichnen (Archaeofauna), so fehlen etwa Neozoen und der Anteil endemischer Arten und Reliktarten ist hoch (LASAR 1987).

Das Krenal ist ein Ökoton zwischen verschiedenen Biotopen. Es vermittelt in horizontalen Habitatabfolgen von aquatischen zu terrestrischen Zoozöosen, wobei die Übergangsstadien fließend und mosaikartig verzahnt sind. Eine schematische Zonierung der Quellfauna gibt FISCHER et al. (1998, Abb. E4/1). Zwischen den einzelnen Kompartimenten gibt es vielfältige funktionelle Beziehungen, so dass ein Quellbereich als Biotopkomplex mehrerer verzahnter Teilkomponenten anzusehen ist (FISCHER et al. 1998). Der Quellbiotop differenziert sich dabei sowohl quer als auch längs zur Fließrichtung. Die Zonierung als Abfolge von Artengruppen und Strukturtypen in Verbindung mit Vegetationsfolgen findet längs von physikalischen Gradienten statt. Zonierung und Öktonausbildung sind auch abhängig von zeitlichen Entwicklungen, z. B. bei periodischen Quellen. Strömungsgeschwindigkeit, Wassertiefe, Feuchte, Wassertemperatur und Licht bedingen dabei die physikalischen Gradienten. Bei vielen Quellen liegen mehrere Kleinstaustritte um einen Hauptquellaustritt, was die Biotopfläche bedeutend vergrößert.

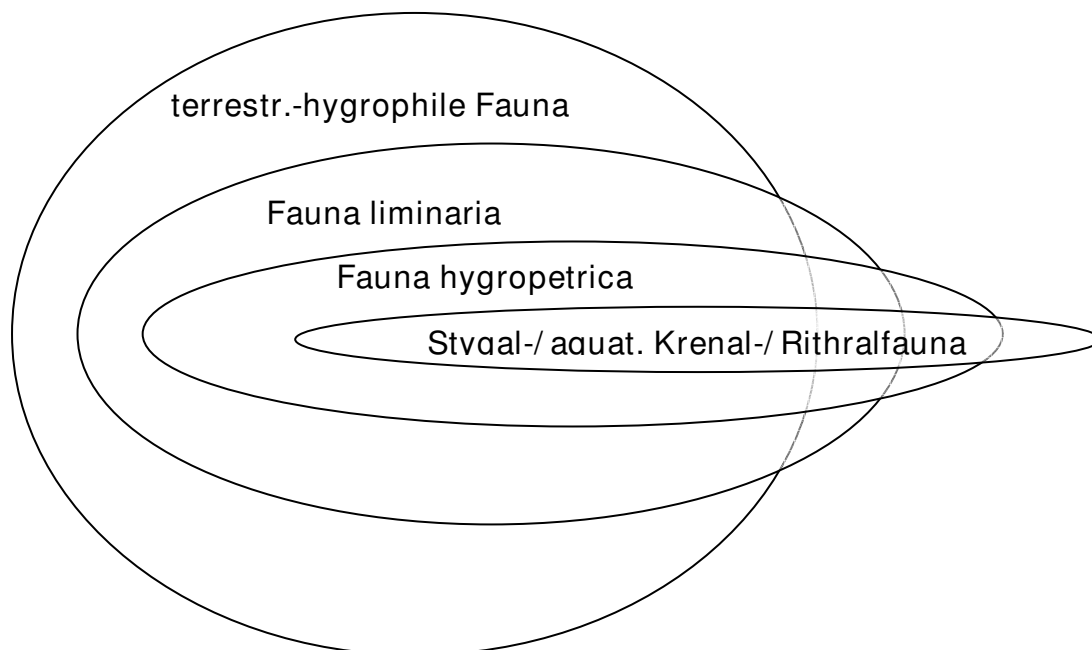


Abb. E4/1: Teillebensräume im Bereich einer Quelle (nach FISCHER et al. 1998)

In vielen Quellen sind regelmäßig Vertreter der Grundwasserfauna zu finden, in Deutschland etwa 500 Arten (HAHN & SCHINDLER 2001). Sie sind meist farblos und haben reduzierte oder fehlende Augen. Außerdem sind sie häufig Tertiärrelikte, konkurrenzschwach, aber gegenüber extremen Umweltfaktoren robust. Zur

Makrofauna gehören die Höhlenassel *Asellus cavaticus*, der Höhlenflohkrebs *Niphargus sp.*, die Höhlenschnecke *Bythiospeum sp.* sowie einige augenlose Strudelwürmer. In der Regel werden sie mit dem Grundwasser in Quellen gespült, wo viele Stygobionten zumindest eine gewisse Zeit überleben, falls Rückzugsräume zur Verfügung stehen und keine direkten Konkurrenten vorkommen. Die Grenze zwischen Grundwasser und Quelle verläuft relativ scharf, nur wenige Arten können an beiden Orten überleben.

Zum Stygon kommt die eigentliche aquatische Krenobiontenfauna hinzu. Sie ist häufig kaltstenotherm und rheophil. Die Quellschnecke *Bythinella sp.* kann sich scheinbar nur bei niedrigen Wassertemperaturen zwischen 4 – 8 ° C fortpflanzen (JUNGBLUTH 1971). Auf krenobionte und krenophile Arten wird im Folgenden intensiv eingegangen, so auf die im Krenal sehr breit gefächerten Dipteren. Weitere typische Krenobionten, welche kaum gefangen wurden, sind Wassermilben (42 Arten). Die Fauna hygropetrica, deren Lebensraum der dünne Wasserfilm überrieselter Steine, Felsen oder Pflanzen ist, hat in Sickerquellen einen gewissen Anteil, kommt aber insbesondere in der Spritzwasserzone an Sturzquellen vor (überrieselte Felswände). Durch reibungsbedingte Verzögerungen des abfließenden Wasserfilms treten hier auch bei starkem Gefälle nur geringe Fließgeschwindigkeiten auf (BOHLE 1995). Außerdem ist der Stoff- und Wärmeaustausch mit der Atmosphäre intensiv (hoher Sauerstoffgehalt, wechselnde Temperatur). Die Fauna hygropetrica besteht meist aus Trichopteren- und Dipterenlarven mit besonderen Atemorganen. Über hygropetriche Tiergruppen und deren Anpassungen gibt FISCHER (1993) einen Kurzüberblick.

Eine weitere Tiergruppe des Krenons ist die rheophile Fauna des Hypokrenals und Rhithrals, vor allem in Sturzquellen, so Gammariden (vorwiegend *Gammarus fossarum*), Trichopteren, Simuliiden und diverse Plecopteren. Letztere sind typisch für kalte, sauerstoffreiche Oberläufe und gegenüber Versauerung oft unempfindlich. Akzessorisch kommen Stillgewässerarten in strömungsberuhigten Bereichen vor (Tümpelquellen). Dies sind insbesondere Erbsenmuscheln und Wasserkäfer. In bachähnlichen und langsam fließenden Quellen kommen zuweilen auch Eintagsfliegen vor, besonders in Offenlandquellen. Zur Fauna liminaria bzw. Grenzfauna, die vor allem aus fallaubzersetzenden Dipterenlarven mit hohen Ansprüchen an eine konstante Boddendurchfeuchtung besteht, kommt eine mehr oder weniger hygrophile Landfauna aus verschiedenen Gruppen der Laubstreu (Collembolen, diverse Arachniden, Gastropoden und Tipuliden).

Grundsätzlich war das Artenspektrum der eigenen Untersuchungen mit anderen Arbeiten vergleichbar, so mit zwei Diplomarbeiten im Saarland, die trotz des geringeren Determinationsniveaus - v. a. bei den Dipteren – bei den häufigeren Taxa zu ähnlichen Ergebnissen gelangten (BIRINGER 1989, NIERYCHLO 1989). Dort wurden auch ähnliche Grundwasserlandschaften untersucht. Die bewusste Reduzierung auf die aquatische Makrofauna im Sinne von SCHMEDITJE & COLLING (1996) hatte mehrere Gründe. Erstens ist eine einheitliche und zeitsparende Vorgehensweise, auch in Bezug zur Taxonomie, vonnöten, um eine nennenswerte Anzahl Quellen kartieren zu können. Außerdem beziehen sich limnologische Untersuchungen in der Regel auf SCHMEDITJE & COLLING (1996) und berücksichtigen ausschließlich die aquatische Fauna. Weiterhin sollten bei der Berechnung faunistischer Indizes die Artenlisten mit anderen limnologischen Arbeiten vergleichbar sein. Nimmt man terrestrische Arten hinzu, werden die Artenlisten „verwässert“ und bei der Berechnung zonenspezifischer Indices (vgl. Kap. E 4.3) ergeben sich nicht vergleichbare Ergebnisse. Deshalb wird für Quellen die ausschließliche Beprobung der aquatischen Fauna vorgeschlagen, wobei hygropetriche und Uferbereiche zwar von großer Bedeutung sind, jedoch sollten nur Tiere bestimmt werden, die mit aquatischen Biotopen in Verbindung gebracht werden können.

Die Ergebnisse der Emergenzfänge blieben unter den Erwartungen zurück, obwohl das Artenspektrum ergänzt werden konnte. Die Fänge bestanden fast ausschließlich aus Dipteren, die teilweise nicht näher bestimmt wurden, da viele Taxa neben den bereits genannten aquatischen zu terrestrischen Familien gehörten. Auch FISCHER (1991) fing 90 % Dipteren. Dass Wassermilben in die Emergenzfallen gingen, ist auf ihre

parasitische Lebensweise zurückzuführen, da sie durch ihre Wirte mitgenommen wurden. Einige terrestrische Taxa, die als Begleitfauna bei der Beprobung des Makrozoobenthos auftraten, werden von manchen Autoren in ihre Quelllisten aufgenommen (FISCHER 1996a, LASAR 1987), dort aber als hygrophile Grenzfauna bezeichnet, die nicht auf Quellen beschränkt ist. Es handelt sich hierbei vor allem um Collembolen, Spinnen und Schnecken der feuchten Laubstreu wie *Carychium sp.*, *Discus rotundatus*, *Glomeris marginata*, Oligochaeten u. a. Viele nachgewiesene Taxa der hygrophilen Grenzfauna sind mit anderen Quelluntersuchungen identisch z. B. bei LASAR (1987), nach dem *Carychium minimum* lokal *Bythinella sp.* ersetzen kann.

Die festgestellten Gesamtartenzahlen von 292 Arten bzw. höheren Taxa des Makrozoobenthos sind die bisher höchsten einer rheinland-pfälzischen Quelluntersuchung. Die durchschnittliche Taxazahl der Fauna pro Quelle von 11 Taxa entspricht dabei vergleichbaren Untersuchungen (FIEDLER-WEIDMANN & HAHN 1996, HOFFSTEN & MALMQUIST 2000, ZOLLHÖFER 1997, FISCHER 1991). Die maximale Taxazahl ist jedoch mit 62 Arten sehr hoch, sie wurde in einer der neun intensiver untersuchten Quellen gefunden. Bei diesen neun Quellen war der auch Median der Taxazahl mit 46 Taxa sehr hoch, obwohl geschädigte Quellen darunter waren. Dies zeigt, dass die Intensität der Beprobung einen großen Einfluss auf das Ergebnis hat. Ebenfalls auf über 60 Taxa kommt FISCHER (1991) mit Emergenzuntersuchungen. Dass von den 244 nachgewiesenen Taxa bei SCHMEDTJE & COLLING (1996) 48 Taxa nicht in der rund 1500 Taxa umfassenden Liste enthalten sind, zeigt die schlechte Datenlage für Quellen, was zur Aufnahme der fehlenden Quelltaxa anregen soll.

Zum Teil werden noch immer neue Arten in Quellen entdeckt z. B. Kieselalgen (WERUM 2001), mitunter auch beim Makrozoobenthos (Limoniidae: REUSCH 1994, Psychodidae: WAGNER, mündl. Mitteilung). Die eigene Artenliste zeigt, dass noch großer Forschungsbedarf bei den Diptera besteht, hier wurden nach eigener Kenntnis 19 Dipteren erstmalig für Rheinland-Pfalz nachgewiesen (Determination durch Prof. Dr. Wagner, Dr. Reusch und Dr. Seitz), was vor allem Psychodidae, aber auch einige Limoniidae und eine Art der Simuliidae betraf. Hier könnte es sein, dass von den 13 Psychodidae einige häufigere Arten bereits in anderen Arbeiten gefunden, aber offensichtlich nicht näher determiniert wurden. Vor allem Vertreter der Gattung *Satchelliella* dürften bereits bei anderen Fließgewässer- bzw. Quellbachkartierungen gefunden worden sein (z. B. *S. mutua*). So wurden trotz intensiver (Internet-)Recherche keine Publikationen für betreffende Arten in Rheinland-Pfalz gefunden.

Die Differenzierung quellassoziierter in Form krenobionter und krenophiler Arten bzw. Taxa nach FISCHER (1996) bzw. SCHMEDTJE & COLLING (1996) wurde, wie bereits geschildert, im Detail modifiziert. Wurden einerseits in der Liste nach FISCHER (1996) Änderungen vorgenommen, bezogen sich diese auf Daten von SCHMEDTJE & COLLING (1996), so dass neue Arten ergänzt oder deren Bewertung angepasst wurde. Andererseits wurden Arten hinzugefügt, die in beiden Listen fehlen, aber nach Meinung von Spezialisten quelltypisch sind. Der Anteil der quellassozierten Fauna an der Gesamtf fauna entspricht in etwa anderen Untersuchungen, z. B. ZOLLHÖFER (1997). Der Anteil der Quelltaxa war bei den restlichen Quellen etwas geringer als bei den neun besser untersuchten Quellen der Pfalz, wahrscheinlich da bei ersteren mehr stärker geschädigte Quellen enthalten waren. Die maximale Anzahl quellassoziierter Taxa ist mit 21 recht hoch und dürfte zumindest in Rheinland-Pfalz bisher noch nicht in einer Quelle nachgewiesen worden sein.

Bei den Rote-Liste-Arten zeigt das äußerst seltene Vorkommen der vom Aussterben bedrohten *Cordulegaster bidentatus*, dass naturnahe Quellen, die ihren ökologischen Ansprüchen genügen, ebenfalls sehr selten sind. Ähnliches gilt für sechs weitere, stark gefährdete und sieben gefährdete Arten. Der Fund von *Cordulegaster bidentatus* kann als Glücksfall gelten, allerdings war die Art bereits vorher von diesem Standort bekannt. Im Folgenden wird der Nachweis einiger quelltypischer Arten diskutiert.

Die Turbellarienart *Crenobia alpina* scheint nur in gewissen Höhen (Gefälle) und bei gewissem Kalkgehalt vorzukommen, wo sie sich gegen *Polycelis felina* durchsetzen kann. Dass *C. alpina* als kalkliebend bezeichnet werden kann, wird von einigen Autoren bestätigt (SCHMEDITJE & COLLING 1992), von anderen eher nicht (SCHÖLL 1987, WESTERMANN 1990). Bei der Verteilung der beiden Strudelwürmer über die Landesfläche spielen aber sicherlich biogeographische Aspekte eine sehr große Rolle. Der Widerspruch betreffs des Kalkgehaltes scheint auch bei anderen Quellorganismen aufzutreten, z. B. bei Mollusken, die auch von einem gewissen Kalkgehalt abhängig sind. *Bythinella dunkeri* hat hier als krenbionte Art eine spezielle Anpassung entwickelt, da sie ihren Kalkbedarf wenigstens teilweise aus Falllaub decken kann. Infolgedessen erträgt sie zwar keine Versauerung, kommt aber auch in sehr ionenarmem Wasser und bei für Mollusken mit Kalkschale relativ sauren pH-Werten vor. Im Übrigen kommt die Art nur in perennierenden Quellen vor, wobei auch Schwarzwild an ihrer Ausbreitung beteiligt sein könnte (KAPPES & CÖLLN 1997).

Eine Schlüsselart unversauerter Quellen ist die Bachoberlaufart *Gammarus fossarum*, da die Art sehr versauerungsempfindlich ist. Die Höhlenassel *Proasellus cavaticus* wurde nur am Donnersberg nachgewiesen, dessen Quellen ein großes Lückensystem haben. Wo solche Bedingungen herrschen, ist auch *Niphargus sp.* häufig. Der Konkurrenzausschluss von *Niphargus sp.* und *G. fossarum* konnte oft beobachtet werden, trotzdem kommt in „*Gammarus*-Quellen“ häufig *Niphargus* in sehr geringer Abundanz vor, meist in Randbereichen tief unter Falllaub oder seitlich am direkten Quellaustritt. *Niphargus sp.* tritt allerdings nur in höherer Abundanz auf, wo *G. fossarum* fehlt (vgl. auch LASAR 1987). Außerdem führt *Niphargus sp.* tagesperiodische Wanderung zwischen Grundwasser und Quelle durch (KURECK 1967). Des Weiteren verhält sich die Art anscheinend in Bezug zur Temperatur euryvalent (NIERYCHLO 1989). Der Fund des Steinkrebse *Austropotamobius torrentium* in einer mit Quellen durchsetzten Schrebergartensiedlung ist überraschend und auf künstliche Unterstände als Tagesversteck zurückzuführen.

Das unterrepräsentierte Vorkommen von Eintagsfliegen in Quellen wird im Allgemeinen bestätigt, ebenso ihr sporadisches Vorkommen in Quellen (FISCHER 1994). Zwar sind alle Steinfliegen „nur“ Quellbachbewohner, allein bei der Gattung *Leuctra*, deren Bestimmung relativ schwierig ist, finden sich aber einige krenophile Arten. Bei anderen Steinfliegengattungen wurden fünf krenophile Arten nachgewiesen.

Die Wasserkäfer stellten sich als hochinteressante Gruppe in Quellen heraus. Hierbei war die krenobionte Quelltopfart *Agabus guttatus* relativ häufig. Seltener quellasoziierte Arten gehören der Gattung *Hydroporus* an. Häufig waren die krenophilen Arten *Anacaena globulus*, *Elmis latreillei* und *Hydraena nigrita*. Sehr häufig waren Larven der Gattung *Elodes* (lenitischer Bereich), welche nicht weiter bestimmt werden konnten. Überraschungen waren einige sehr seltene Wasserkäfer wie *Hydraena subimpressa*, *Hydroporus ferrugineus* (montan) oder *H. longulus*. Die allermeisten Arten wurden bereits für Rheinland-Pfalz beschrieben, z. B. von HOCH (1956) für Quellen im Hunsrück. Nach der Entomosoziologie aquatischer Coleoptera von HEBAUER (1994) sind die Arten *Agabus guttatus* (Charakterart), *Hydraena nigrita*, *Hydroporus longulus*, *Anacaena globulus* und *Elmis latreillei* in die Gruppe der Quellarten einzureihen. Es wurden aber auch viele Käfer der azidophilen Gruppe (Moore, saure Waldtümpel) sowie wenige Käfer der rheophilen Geröllgesellschaft, der thermophilen Gruppe und der semisubterranean Quellgesellschaft nachgewiesen (HEBAUER 1994).

Wie erwartet stellen die Köcherfliegen eine große Gruppe der untersuchten Quellen. Dies gilt allerdings nur für die Makrozoobenthos-Aufsammlung, in den Emergenzfallen waren nur wenige Exemplare zu finden. Dies bestätigt auch GATHMANN (1994). Nach ROBERT (1998) sind etwa 14 % der Köcherfliegen quellasoziiert, wobei Trichopteren und Dipteren zusammen über 70 % aller quelltypischen Insektenarten stellen. In Zukunft ist aber wegen des fortschreitenden Wissens ein deutliches Übergewicht der Diptera zu erwarten (ROBERT 1998). Bei der Determination gab es einige Überraschungen, so die krenobionten und seltenen Arten *Adicella filicornis* (nur fünf Nachweise in RLP), *Diplectrona felix*, *Ernodes articularis* und *Rhya-*

cophila laevis. Hierbei ist der rein krenobionte Status der letzten Art etwas kritisch zu sehen (P. NEU, schriftl. Mitteilung). *Adicella filicornis* kommt in anderen Bundesländern sogar noch seltener vor (Nordrhein-Westfalen: ROBERT 1998). Weitere Überraschungen sind die seltenen krenophilen Arten *Rhadicoleptus alpestris* und *Chaetopterygopsis maclachlani* (bislang jeweils nur ein Imaginalnachweis in Rheinland-Pfalz). Auch unter den restlichen krenophilen Arten gab es seltene Arten (*Stenophylax vibex*, *Tinodes assimilis*, *Chaetopteryx major*, *Lithax niger*, *Rhyacophila philopotamoides*, *Rhyacophila pubescens*, *Tinodes unicolor*). Die häufigeren krenobionten Taxa (*Beraea maura*, *Crunoecia irrorata*, *Ptilocolepus granulatus*, *Parachiona picicornis*) waren als Charakterarten von Quellen zu erwarten. Der krenobionte Status ist bei *C. irrorata* zwar nach P. NEU (schriftl. Mitteilung) etwas unsicher, praktisch alle Autoren bezeichnen die Art jedoch als krenobiont. Viele Köcherfliegenarten kommen zwar in Quellen vor, sind aber nicht ausschließlich auf sie beschränkt. Auch gibt es einige Zufallsfunde aus Mooren (*Grammotaulius nigropunctatus*), Stillgewässern (*Glyphotaelius pellucidulus*), oder terrestrischen Randbereichen (*Enoicyla pusilla*).

Die Dipteren stellen die artenreichste Gruppe der untersuchten Quellen. Da etliche Dipteren noch kaum beschrieben und ökologisch kategorisiert sind, ist sowohl der Rote-Liste-Status als auch die ökologischen Einstufung unsicher (hohe „Dunkelziffer“). Auch die Determination ist teilweise ein Problem, was viele Bearbeiter davon abhält, Bestimmungen auf Gattungs- oder gar Artniveau durchzuführen. Ohne die Berücksichtigung der Dipteren ergibt sich jedoch ein völlig falsches Bild von der Besiedlung naturnaher Quellen. Neben den drei an Spezialisten weitergegebenen dominierenden Gruppen der Limoniidae, Psychodidae und Simuliidae sind in Quellen weitere Familien von Bedeutung, besonders die Stratiomyidae, die Thaumaleidae und ferner die Tipulidae. Bei den wichtigen Limoniidae ist der Bearbeitungsstand äußerst dürftig, häufige Gattungen in Quellen und Quellbächen sind *Dicranota*, *Rhypholophus* und *Eleophila*. Über einige Gattungen ist sehr wenig bekannt, z. B. über *Eutonia*.

Die besser bearbeitete Gruppe der Psychodidae kann als „Kleinod“ der Quellbiologie bezeichnet werden, da sehr viele quellassozierte Arten existieren, z. B. *Tonnoiriella pulchra*. Die Mehrheit der gefundenen Psychodiden-Taxa waren krenophil, so *Clytocerus ocellaris*, *C. sp.*, *Ulomyia fuliginosa*, *U. undulata*, *U. sp.*, *Szaboiella hibernica*, *Telmatoscopus pseudolongicornis*, *Satchelliella mutua*, *S. stammeri*, *Jungiella sp.*, *Peripsychoda sp.*, *Pericoma-trifasciata-Grp.* sowie die seltene *Feuerborniella obscura*. Viele Arten und Taxa wurden erst kürzlich beschrieben. Da Psychodiden klein und im Freiland nur schwer zu finden sind, wurden sie bisher stark vernachlässigt. Dies liegt vor allem daran, dass sie in streng aquatischen Biotopen kaum vorkommen und ihre Habitate kaum beprobt wurden, eventuell wurden sie auch einfach mit dem bloßen Auge nicht als Tiere erkannt.

Bei den Simuliiden, welche als passive Filtrierer in Quellen eher unterrepräsentiert sind, wurden ebenfalls neue bzw. besondere Taxa nachgewiesen, die zudem noch krenobiont (*Simulium crenobium*) bzw. krenophil waren (*S. cryophilum*). Die erste Art kommt nur collin-montan bis alpin vor und wurde im Hunsrück über 500 m gefunden. Viele Dipteren gehören zur Fauna hygropetrica, so aus den Familien Dixidae, Psychididae, Thaumaleidae und Stratiomyidae (LAMPERT & SOMMER 1993). Sie besitzen offene Tracheenstigmen am Körperhinterende, die in Verbindung mit unbenetzbaren Borstenkränzen an der Wasseroberfläche die Luftatmung ermöglichen (Abb. D4/4). Eine weitere Anpassung sind lange Schlüpfzeiten als Risikostreuung wegen der Austrocknung (FISCHER 1993). Weiterhin wichtig dürften Chironomiden sein, die selten näher determiniert wurden.

Die krenobionte Einstufung des Feuersalamanders *Salamandra salamandra* (FISCHER 1996) ist nach eigener Meinung etwas unsicher, da die Tiere auch in anderen Biotopen gefunden werden. So leben die Larven auch in Quellbächen. Allerdings ist die Art ein wichtiger Sympathieträger im Quellschutz (Salamanderregion).

E 4.2 Naturräumliche Verteilung der Fauna

Da Quellen keinen einheitlichen Lebensraum darstellen, ist die Fauna sehr heterogen (LAMPERT & SOMMER 1993). Trotzdem konnte die Hypothese von naturraum- bzw. grundwasserlandschaftstypischen Artengemeinschaften bestätigt werden, wobei sich zeigte, dass auch die Morphologie der Quellen in den verschiedenen Naturräumen differierte. Eine textliche Kommentierung der häufigeren Taxa in den 14 Naturräumen gab bereits Kapitel D 4.2.1, wobei Naturräume zusammengefasst wurden, die eine ähnliche Besiedlung aufwiesen. Es zeigte sich, dass die Aufteilung auf strukturelle Quellräume für die Fauna im Allgemeinen zu grob war. Andererseits konnten einzelne Naturräume zusammengefasst werden, so das Mittelrheintal. Die Aufteilung war da zu detailliert, wo die Geologie sehr ähnlich war, gleichzeitig war sie zu grob, wo eine wechselnde Geologie einen Naturraum teilte. Dies war etwa im Hunsrück der Fall, wo Tonschiefer und Quarzit anstehen. Infolgedessen stellte sich heraus, dass die Gebietsaufteilung, die die Fauna am besten widerspiegelt, die nach geologischen Grundwasserlandschaften ist. Dies bestätigen auch andere Untersuchungen, z. B. HOFFSTEN & MALMQUIST (2000). Nicht selten fallen jedoch Grundwasserlandschaft und Naturraum zusammen, so dass die räumliche Auswahl der betreffenden Besiedlungseinheit entspricht. Dies gilt etwa für die Teile der Eifel. Als Grund für die unterschiedliche Besiedlung von Nordpfälzer Bergland und Donnersberg wurde die Nutzungsform herausgestellt, wobei sich dies vor allem auf Rotliegend-Magmatit bezieht, da Rotliegend-Sedimente aufgrund der stärkeren Nutzung kaum beprobt wurden.

Abbildung D4/7, die eine Übersicht über die Taxazahlen in den Naturräumen der repräsentativen Untersuchung von SCHINDLER & HAHN (2000) gibt, zeigt die Naturnähe der Besiedlung auf einen Blick. Die Abbildung kann so interpretiert werden, dass die niedrigsten Taxazahlen auf hydrochemische Überprägungen in Verbindung mit touristischen Fassungen (Vulkaneifel) und die Folgen landwirtschaftlicher Nutzung (Haardt- und Hunsrückrand) zurückzuführen sind, gefolgt von Versauerung (Südl. Hunsrück). Die meisten Naturräume mit höheren Taxa- und Quelltaxazahlen sind walddominant und bleiben von starken, großflächigen Schädigungen, wie sie in der Landwirtschaft auftreten, verschont. Es finden sich jedoch auch Naturräume darunter, die zwar wegen ihrer ertragreichen Böden landwirtschaftlich genutzt sind, aber in Teilen noch Refugien für eine reiche Quellfauna darstellen (Westrich, Schichtstufenland, Kalkeifel). Es folgen einige biogeographische Anmerkungen zu ausgewählten Arten.

Crenobia alpina ist nach den Angaben von HAYBACH (1992) und VOIGT (1901) im Hunsrück großräumig ausgestorben, VOIGT wies die Art allerdings im Nordpfälzer Bergland nach. Selbst wurde die Art in den Randbereichen des Nördlichen Hunsrück gefunden, im Nordpfälzer Bergland dagegen nicht nachgewiesen. Dies könnte aber auch an der schlechten Struktur der dortigen Quellen bzw. daran liegen, dass nur stärker schüttende Quellen beprobt wurden. Hier ist zu erwähnen, dass die Art in schwächer schüttenden Quellen bevorteilt ist und periodisches Austrocknen verträgt, da sie sich ins Grundwasser zurückzieht.

Niphargus sp. hat ähnliche ökologische Ansprüche wie *Gammarus fossarum* (Struktur, Nahrung), wobei er grundwasserabhängig und versauerungstolerant ist. Deswegen kommt er auch im Bienwald mit seinem hohen Oberflächenwasseranteil am Quellwasser nicht vor. Liegt es im Südlichen Hunsrück vor allem am fehlenden Konkurrenzdruck von *G. fossarum*, so dürften die Ursachen für das häufige Vorkommen von *Niphargus sp.* am Donnersberg und im Nordpfälzer Bergland geologisch bedingt sein (metamorphe Lockergesteine des Rotliegenden mit großem Lückensystem). Letzteres dürfte auch z. T. im Westerwald der Fall sein (Abb. D4/10), wo Grobsubstrate aus Schiefer, Quarzit- und Rhyolithschotter vorherrschen. *Niphargus sp.* ist im Verhältnis zu anderen Grundwasserlandschaften besonders häufig in Rotliegend-Magmatiten, was auf häufige Bachschwinden und die schwache Versauerung zurückgeführt werden kann. Grundsätzlich wurde der Höhlenflohkrebs aber überall in Rheinland-Pfalz nachgewiesen und gehört zu den häufigeren Arten in Quellen, auch wenn er bisher in anderen Arbeiten noch nicht häufig nachgewiesen wurde (vgl. KAPPES et al.

2002). Sind Quellen versauert, fällt *Gammarus fossarum* sofort aus, was im Südlichen Hunsrück und teilweise im Pfälzerwald (Hochlagen) beobachtet wurde. Es treten aber auch Ausfalleffekte wegen Fassungen und Ausbau in landwirtschaftlich geprägten Naturräume auf. *Gammarus fossarum* war häufig in naturnahen Quellen anzutreffen und fehlt in strukturgeschädigten Quellen. Die geringsten Abundanzen finden sich neben dem südlichen Hunsrück in der Vulkaneifel, was auf deren hydrochemischen Besonderheiten zurückzuführen ist. Am Haardtrand und im Schichtstufenland begrenzten starke Strukturschädigungen sein Vorkommen.

Ähnliches zeigt die Quellschnecke *Bythinella dunkeri*. Sie findet sich vor allem in waldreichen Naturräumen mit naturnahen Quellen, wenn diese nicht zu sauer sind (Tanusquarzit). Die Quellschnecke scheint also in Bezug auf die Naturnähe recht anspruchsvoll zu sein, so dass ihr Auftreten durch starke landwirtschaftliche Einflüsse eingeschränkt wird (Schichtstufenland, Nördlicher Hunsrück, Haardtrand, Nordpfälzer Bergland). Die Quellerbsenmuschel *Pisidium personatum* bevorzugt offenbar Feinmaterial (Tonschiefer) und eine kalkreichere Geologie (Muschelkalk und Keuper, tertiärer Kalkstein), so dass die beiden Quellarten *Bythinella dunkeri* und *Pisidium personatum* unterschiedliche Vorkommen besitzen. Dies könnte auch damit zusammenhängen, dass die Quellerbsenmuschel weniger anspruchsvoll in Bezug auf eine naturnahe Quellstruktur ist, ja im Gegenteil sogar Landwirtschaft im Umfeld verträgt, da diese mit Feinmaterial und einem wenigstens geringfügig höheren Nährstoff- und Trübstoffgehalt des Quellwassers einhergeht. Sie dürfte als Filtrierer mit gewissen Verschmutzungen eher umgehen können.

Weitere krenobionte Arten häufen sich insbesondere in den gut untersuchten Naturräumen Donnersberg, Westrich und Pfälzerwald sowie im Schichtstufenland, im Westerwald und im Mittelrheintal. Dies sind meist waldreiche Naturräume. Im Schichtstufenland herrscht zwar Landwirtschaft vor, es existieren aber ähnlich wie im Westrich noch naturnahe Bereiche in den Bachtälern, die in den Buntsandstein eingeschnitten sind. Die größere Häufigkeit von *Thaumalea sp.* im Westrich ist auf die naturraumtypisch großen Rieselfluren durch höhere Quellabstürze zurückzuführen. *Ernodes articularis* und *Oxycera sp.* treten allerdings gehäuft am Haardtrand auf, letztere auch im Schichtstufenland. Dies verwundert sehr, insbesondere, da ansonsten kaum von einer naturnahen Besiedlung dieser Quellen gesprochen werden kann. Die beiden Arten treten jedoch vor allem in einer einzigen naturnahen Quelle auf bzw. kommen noch zusätzlich in einer verfallenen Fassung vor. Beide Arten sind anscheinend kalkliebend.

Die Quellschnecke *Crunoecia irrorata* benötigt vor allem ein intaktes Umfeld (Nahrungsgrundlage) mit einer gewissen strukturellen Vielfalt. Sie ist an eine periodisch starke Versauerung angepasst. Wenn typische Quellbedingungen (Temperaturhaushalt, Oligotrophie, Mindestschüttung) mit den genannten Anforderungen zusammentreffen, wird *Crunoecia irrorata* auch mit hoher Wahrscheinlichkeit angetroffen. Ähnliches gilt abgeschwächt auch für die krenophile *Sericostoma personatum*, die etwas stärker substratabhängig ist (Kies).

Die Besiedlung ist auch quelltypabhängig. In Sickerquellen ist neben der typischen Quellfauna der Anteil der hygropetrischen Fauna besonders hoch, was auch für Sturzquellen mit Spritzwasserzonen, Rieselfluren und überperlten Substraten gilt. Ansonsten sind Sturzquellen in der Regel pflanzenärmer, was sich auch in der Fauna niederschlägt, die oft bachähnlicher ist und artenärmer sein kann. Der Anteil rheophiler Arten ist dagegen hoch. Entsprechend der in der Zonierung an nährstoffarme Stillgewässer erinnernden Vegetation von Tümpelquellen besteht die teilweise lenitische Fauna häufig aus Wasserkäfern und Wanzen.

E 4.3 Auswirkung der erfassten Faktoren auf die Fauna

Die Zusammensetzung der Zoozönose wird durch die Geologie, Hydrochemie, Schüttungsverhältnisse, Landnutzung in Einzugsgebiet und Umfeld sowie die Strukturvielfalt an der Quelle beeinflusst (Abb. E4/2 und E4/3, vgl. SCHINDLER & HAHN 2002a).

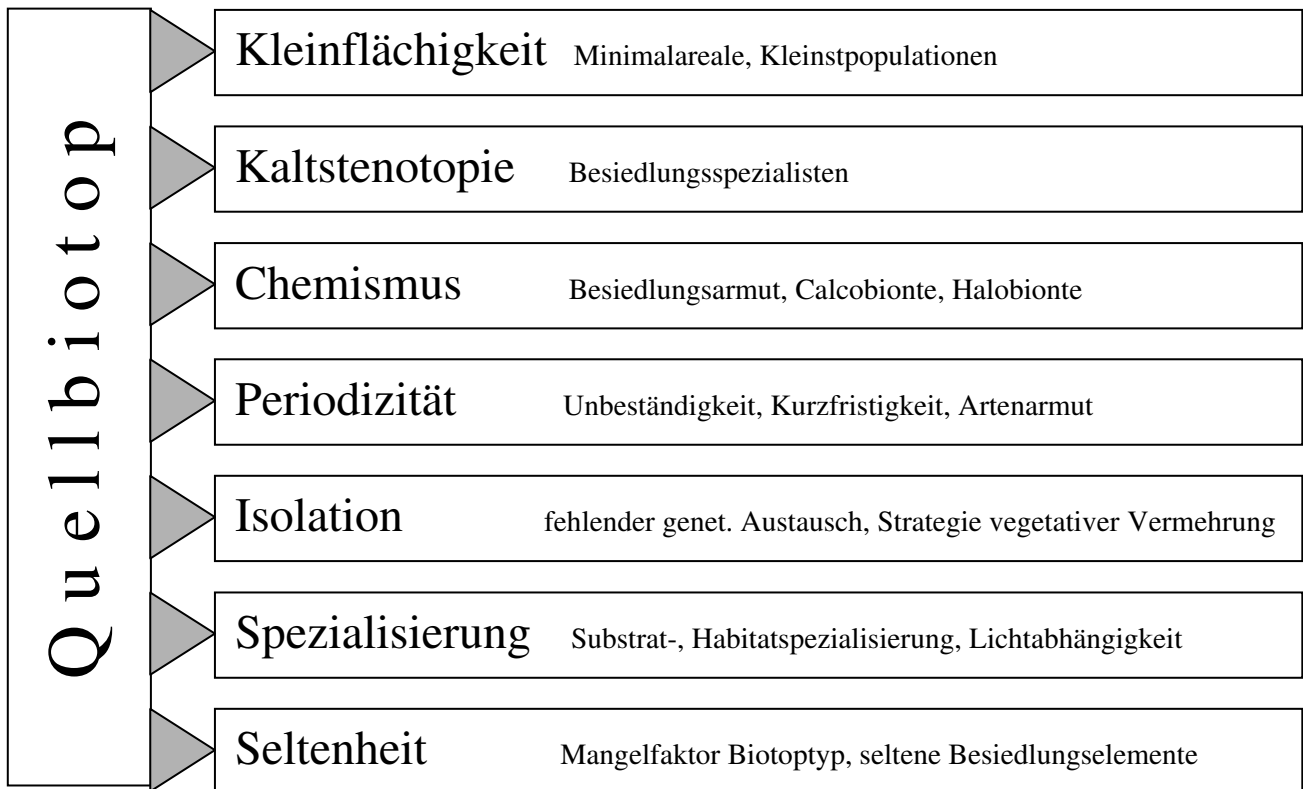


Abb. E4/2: Krenale Besiedlungsfaktoren und Auswirkungen auf die Biozönose (nach LAUKÖTTER et al. 1992)

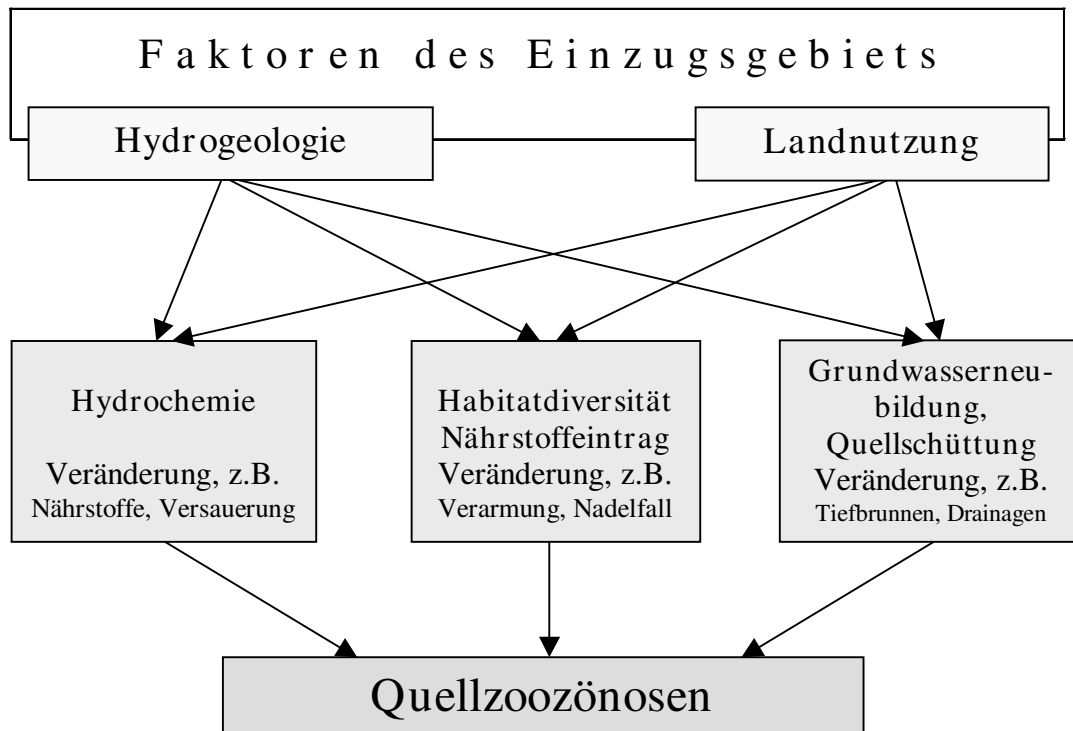


Abb. E4/3: Faktoren des Einzugsgebietes mit Einfluss auf Quellzoozönosen (n. SCHINDLER & HAHN 2002a)

Die eingeschränkte Dynamik bei größeren Quellen bietet die Chance der Erforschung der vielfältigen Wechselwirkungen. Da Quellwasser einen gewissen CO₂-Anteil hat, der bereits nach kurzer Fließstrecke ausgast, könnten Quellorganismen an gewisse Säuregehalte des Wassers angepasst sein, insbesondere bei pufferarmem, sauren Gestein (HAHN 2000). Stärkere Versauerung dürfte dagegen zu einem Rückgang der Artenzahl

len führen (SCHINDLER & HAHN 2000), da säureempfindliche Organismen ausfallen. Wie sich diese Verschiebung des Artenspektrums auf den Krenobiontenanteil auswirkt, ist bislang ungeklärt und wird in Kapitel E 4.3.1 thematisiert.

Allerdings sind viele Quellen auch dynamisch, so dass etwa bei Sickerquellen häufig eine Trockenperiode im Hoch- und Spätsommer vorkommt. Als dominierend in naturnahen Quellbereichen können außerdem folgende, im Jahresverlauf mehr oder weniger variierende Faktoren zusammengefasst werden: Licht, die Vegetation an der Quelle und der Laubfall im Gegensatz zur Laubverwertung. Ebenfalls variierend ist das Vorhandensein von Larven emergierender Insekten. Relativ gleichbleibende Faktoren sind z. T. Temperatur, Sauerstoff und Hydrochemie, Nährstoffe sowie das Vorhandensein aquatischer Insekten. Viele Faktoren schwanken in Offenlandquellen stärker als in Waldquellen, so dass die Bedingungen in Waldquellen ausgeglichener sind. Es stellt sich die interessante Frage, wie die Bedingungen an natürlichen Offenlandquellen waren und ob sie mit heutigen Offenlandquellen vergleichbar sind. Auf diese Frage geht Kapitel E 4.3.2 ein.

Die Artenzahl und Diversität des Krenon ist ebenfalls interessant. Zu verschiedenen Theorien über die Artenzahl in Quellen im Vergleich zu anderen Fließgewässerabschnitten lassen sich diverse Begründungen anführen wie z. B. Temperaturschwankungen. So wirkt sich anscheinend in Quellen die Kaltstenothermie auf die Artenzahl und somit die natürliche Diversität aus. Bei VANNOTE et al. (1980) stellt das River-Continuum-Concept Gradienten entlang eines Flusslaufes dar, wobei an der Quelle mit der geringsten Temperaturamplitude der Diversitätsindex sinkt. Die größte Artenvielfalt in Fließgewässern sei demzufolge im Mittellauf zu finden (LAMPERT & SOMMER 1993), gekoppelt mit der schnellen Regenerationsfähigkeit des Fließgewässers. Aber auch das Nahrungsangebot spielt eine Rolle, jedenfalls scheint die Artenvielfalt wie in Flüssen in Quellen im Vergleich zu (Quell-)Bächen geringfügig abzunehmen. Grundsätzlich sind Quellen aber artenreich (WEIGAND 1999), wobei sich die Vielfalt auf die verschiedenen Quelltypen mit ihren unterschiedlichen Kleinhabitaten verteilt. Ob einzelne Quellen aber tatsächlich so artenarm sind, ist noch nicht eindeutig geklärt.

Die Artenzahl der Beprobungen dürfte jedenfalls mit der tatsächlichen Gesamtartenzahl nur wenig zu tun haben, da letztere in der Praxis wegen methodischer Probleme kaum bestimmt werden kann. Somit dürfte die maximale Zahl von 62 Taxa noch als sehr gering im Verhältnis zur tatsächlichen Artenzahl dieser Quelle erscheinen. Trotzdem sind die gefundenen Zahlen ein Stellvertreter für die wirklichen Verhältnisse, auch wenn der genaue Anteil der beprobten Fauna an der Gesamtf fauna nicht bestimmt werden kann.

Aufgrund der oft starken räumlichen Begrenztheit der Quellbiotope ist eine gewisse Mindestbiotopgröße für stabile Populationen entscheidend. Die Isolierung der Quellarten erinnert dabei an inseltheoretische Aspekte. Die Artenzahl in Quellen hängt einerseits wie bei Inseln von der Artenzahl der Nachbarbiotope ab (Randeffekt), andererseits ist sie abhängig von der Größe der Quelle. Auf Inseln ist die Artenzahl oft einigermaßen konstant. In der Inseltheorie werden Arten-Flächen-Beziehungen formuliert, so dass mehr Arten sind zu finden, je größer die Fläche ist (Equilibrium-Theorie von MACARTHUR & WILSON 1967). Außerdem ist bei vergleichbarer Größe der Abstand zur Nachbarquelle wichtig. Mit zunehmender Flächengröße nimmt oft auch die Lebensraumdiversität zu, während wechselndes ökologisches Verhalten der Arten bei unterschiedlicher Biotopgröße zu beobachten ist (Schlüpfzeitpunkt, Dormanzphasen). Weiterhin ist die Hypothese wahrscheinlich, dass in weit voneinander entfernt liegenden Quellen weniger Arten leben und deren artliche Zusammensetzung konstanter ist. Zwar benötigen nur wenige Quellarten größere Areale, aber ökologische Ansprüche verschiedener Arten können einander überlappen, was bei beschränktem Platz und Konkurrenz problematisch ist, so dass bestimmte Arten leichter „aussterben“. In Wasserökosystemen findet normalerweise eine Emigration von „Überschussindividuen“ in suboptimale Lebensräume statt, was für Spezialisten aber kaum möglich ist. Auf jeden Fall sind Quellen für das Studium von Konkurrenzfaktoren prädestiniert.

Nach WILMANN (1973) ist die Konstanz eines Biotops mit seiner Empfindlichkeit sowie größerer Artenvielfalt gekoppelt, während Inkonstanz und Stabilität enger mit weniger Artenzahlen korreliert sind. Nach Thienemanns erstem biozönotischem Grundprinzip ist die Artenzahl umso größer, je vielfältiger und variabler die Lebensbedingungen sind (THIENEMANN 1956). Dies bezieht sich in Quellen etwa auf das Angebot an Kleinstlebensräumen mit verschiedenen ökologischen Nischen, wobei nischenreiche Biozönosen als „stabil“ gelten (WILMANN 1973). Das zweite biozönotische Grundprinzip besagt, dass eine Biozönose umso artenärmer und individuenreicher wird, je mehr sich die Lebensbedingungen eines Biotops vom Normalen und für die meisten Organismen vom Optimalen entfernen (THIENEMANN 1956). In Quellen verringert sich also die Artenzahl, je einseitiger die Umweltbedingungen sind - z. B. bei Einschränkung der Habitatvielfalt durch Fassungen - und je weiter sie vom grundsätzlich biologischen Optimum für Quellspezialisten entfernt sind.

Zusätzlich hängt die Dynamik von Quelllebensräumen auch von ihrem evolutiven Alter ab. Spezialisten sind in der Regel evolutiv älter und an ihre Nahrung angepasster, Symbiosen werden häufiger. Junge Systeme können besser regenerieren, wobei sich die Frage nach dem Alter offener Quellen in der Kulturlandschaft und deren Ähnlichkeit zur vorherigen Naturlandschaft stellt. Hier spielt zusammen, dass nach Ansicht vieler Autoren nach der letzten Eiszeit die Zeit für eine Klimaxgesellschaft in Gesamteuropa zu kurz war und der Mensch nahezu alle Gebiete verändert und beeinflusst hat. Hier bilden Quellen gegensätzliche Beispiele für einerseits relativ alte und konstante, andererseits für stark beeinflusste Ökosysteme. Hier drängt sich die Frage nach dem Zyklus-Mosaik-Konzept auf, das wahrscheinlich für alle Ökosysteme gilt (REMMERT 1992). Die Sukzession wird hierbei durch kleinräumige Störungen auf einem bestimmten Stadium einer höheren Diversität festgehalten, wobei im Klimax die Diversität leicht absinkt. Auch in natürlichen Quellen sind deshalb kein Gleichgewicht, sondern desynchrone Zyklen wahrscheinlich, die sich dauernd und längerfristig ändern. Es wird im Folgenden gezeigt, dass menschliche Eingriffe oft zum Absinken der Diversität führen. Jedoch gab es auch Anhaltspunkte dafür, dass geringe oder alte Störungen (Fassungen) keine ökologischen Folgen haben, in einigen Fällen zeigte sich sogar eine leichte Erhöhung der Taxazahl.

E 4.3.1 Fauna und Hydrochemie

Als „klassischer“ Bindungsfaktor gilt die Kaltstenothermie, wobei FISCHER (1996b) weitere Bindungsfaktoren benennt. Wichtige Umweltfaktoren für Quellspezialisten sind danach der konstante Feuchtigkeitsgradient in Verbindung mit der konstanten Substratbenetzung bei geringer Strömung, kleinklimatische Faktoren und fehlender Konkurrenzdruck (FISCHER 1996b). Neben Habitatbindungen ist die Bindung an konstante hydrologische Verhältnisse wie dauerhaft durchfeuchtete und überrieselte organische und anorganische Substrate wichtig. Diese bestimmen die mikroklimatischen Bedingungen, so dass die Konstanz der Quelllebensgemeinschaften auch ein Ausdruck des konstanten Mikroklimas in Quellmulden ist (vgl. LAMPERT & SOMMER 1993), was häufig unterschätzt wird. So ist das Krenal durchweg kühltemperiert und luftfeucht (POTT & REMY 2000). FISCHER beschreibt es als einen der wichtigen Faktoren für die Bindung der Quellfauna (FISCHER 1996b), besonders für aquatische Insekten (Emergenz). Hier dürfte auch die geschützte Muldenlage, welche Quellen häufig einnehmen, eine Rolle spielen.

Für die meisten Dipteren, die in der Fauna hygropetrica leben, scheidet aber eine kaltstenotherme Bindung weitgehend aus (FISCHER et al. 1998). Nach FISCHER (1995) ist es also bei den häufigen, quelltypischen Dipteren gerade nicht die Kaltstenothermie, sondern die Vielfalt und Konstanz der Habitatstrukturen, die die Quellbindung verursacht. Der besonders hohe Anteil an dauerfeuchten und zugleich überschwemmungssicheren Bereichen im Verhältnis zu anderen Fließgewässerabschnitten gerade in perennierenden Helo- bzw. Helo-Rheokrenen erklärt nach FISCHER (1995) die hohen Arten- und Individuendichten dieser Standorte. Hiermit gekoppelt sind die Falllaubeinträge, die im Verhältnis zu Quellbächen eine relativ hohe Produktion

ermöglichen sowie Konkurrenzphänomene. Der Kalkgehalt des Wassers ist für die meisten Arten nicht so wichtig, einige können ihren Kalkbedarf auch durch Falllaub decken, was etwa bei *Bythinella sp.* der Fall ist.

Beim Vergleich der Taxazahlen mit den hydrochemischen Parametern wurde die Struktur ausgeklammert und nur ungenutzte Quellen analysiert, da in der Regel die Strukturparameter die Hydrochemie überlagern. Der Sauerstoffgehalt ist hier ein schwer zu beurteilender Parameter, da er räumlich stark differieren kann, in der Regel jedoch recht hoch ist und keinen beschränkenden Faktor darstellt. Im Einzelfall können die Werte jedoch extrem sein, was das in Kapitel D 3 erwähnte starke Schwanken der Werte erklärt. Betreffend des Sauerstoffgehaltes zeigten sich fast keine Unterschiede in der Besiedlung der einzelnen Quellen, was auch BIRNINGER (1989) bestätigt. Dies hat seine Ursache in der allgemein guten Sauerstoffversorgung fast aller untersuchten Quellen. Auch wurden keine Korrelationen zwischen den Taxazahlen und Nitrat oder Phosphat nachgewiesen, was von anderen Autoren bestätigt wird (BIRNINGER 1989). Fehlende Korrelationen hydrochemischer Parameter mit seltenen quellasoziierten Arten dürften vor allem an der nicht ausreichenden Datenbasis liegen. Dass auch *Niphargus sp.* als häufigere Art keine Korrelationen mit hydrochemischen Daten zeigte, dürfte dagegen auf tatsächlich fehlenden Zusammenhängen beruhen. Korrelierten häufigere (Quell-) Arten vor allem mit der Leitfähigkeit und dem pH-Wert, seltener mit der Sauerstoffsättigung oder der Carbonathärte, so scheint *Niphargus* mit allen Bedingungen zurechtzukommen, was auch bei anderen Grundwassertieren zutrifft, die oft robust in Bezug zur Wasserchemie sind, gerade in puncto Versauerung.

Die positiven Korrelationen mit der Wassertemperatur bei *Gammarus fossarum* sind mit dessen Verbreitungsschwerpunkt im oberen Rhithral zu erklären. Eindeutig ist die relative Säureempfindlichkeit von *G. fossarum* (starke Korrelation mit dem pH-Wert), was sich mit anderen Befunden deckt (BRAUKMANN 1995). Wie bereits erwähnt, toleriert *Niphargus* im Gegensatz zu *G. fossarum* Versauerung, was auch LASAR (1987) bestätigt. In oberen pH-Bereichen ab pH 7,4 geht *Niphargus sp.* deutlich in der Abundanz zurück, während *G. fossarum* unverändert häufig ist. Dies ist wahrscheinlich auf interspezifische Konkurrenzphänomene mit Nischenüberlappung zurückzuführen. Für die Grundwasserfauna, die oft aus Crustaceen besteht, ist der Chemismus oft nachrangig, so dass die konkurrenzschwachen Tiere z. T. sogar robust gegenüber Schadstoffeinträgen sind. Für die Stygofauna ist in Quellen aber ein hydrologischer Grundwasseraustausch wichtig.

Die Ergebnisse legen weiterhin nahe, dass es bei *Bythinella dunkeri* eine Anpassung an mäßig saures Quellwasser gibt (keine Korrelation mit pH-Wert, kein Nachweis unter pH 5,5, höchste Abundanzen bei pH 6,1). Dies wurde bei *Galba truncatula* nicht festgestellt (größte Abundanzen bei pH 7,4). *Bythinella dunkeri* weidet Kieselalgen ab und braucht zwar niedrige Temperaturen (OSWALD 1989), nach OSWALD et al. (1991) ist die Art aber weniger kaltstenotherm als ursprünglich vermutet und tritt wegen einer Konkurrenzschwäche gegenüber anderen Arten im Hypokrenal zurück. *Bythinella* wurde bei Wassertemperaturen zwischen 6,6°C und etwa 14 °C gefunden, ein bevorzugter Temperaturbereich konnte nicht zugeordnet werden. Außerdem wurde die Art nur unterhalb von 4,2 ° dH und einer Leitfähigkeit unterhalb von 0,34 mS/cm nachgewiesen, was die Einnischung in Silikatquellen bestätigt. Im Gegensatz hierzu wurde *Pisidium personatum* zwischen 1 und 21 °dH nachgewiesen, ebenso bei höherer Leitfähigkeit. Die pH-Wert-Verteilung ähnelt *B. dunkeri*, allerdings war die Muschel bei höheren pH-Werten häufiger (Korrelation). Im Vergleich zu *Pisidium casertanum* ist *P. personatum* bei einem leicht saureren pH-Wert etwas häufiger. Auch hier könnte also eine bedingte Anpassung an Silikatquellen vorliegen.

Crenobia alpina kommt im Gegensatz zu *Polycelis felina* bei höheren Leitfähigkeiten und pH-Werten vor. Eine disjunkte Einnischung der beiden Arten betreffs des pH-Wertes konnte gezeigt werden, allerdings war *C. alpina* nicht sehr häufig. Die disjunkte Einnischung gilt auch für die Summe der Erdalkalien und die Carbonathärte. *C. alpina* bevorzugt Karbonat-, *P. felina* Silikatquellen. Dass beide Arten noch bei einer gewissen Versauerung vorkommen (SCHÖLL 1987, WESTERMANN 1990), konnte nur für *P. felina* bestätigt wer-

den. Dass *C. alpina* trotzdem an mäßig saures Wasser angepasst sein könnte, wird hier nicht in Abrede gestellt. GAUTERIN (1999) beschrieb *C. alpina* als Leitart in Silikatquellen, untersuchte aber Quellen, die härteres Wasser aufwiesen als die überwiegende Mehrheit rheinland-pfälzischer Silikatquellen.

Crunoecia irrorata kommt vor allem bei geringer Härte vor und zeigt außerdem positive Korrelationen mit der Sauerstoffsättigung. Da sich keine Korrelation mit dem pH-Wert ergab, ist die Art an saure, kalkarme Quellgewässer angepasst. Auch die Quellbachart *Sericostoma personatum* korrelierte mit der Sauerstoffsättigung, so dass die beiden Charakterarten naturnaher Quellen einen hohen Sauerstoffgehalt benötigen.

Die Korrelation zwischen der Leitfähigkeit und dem Feuersalamander ist nur schwer erklärbar, allerdings fand auch ZOLLHÖFER (1997) mehr Salamanderlarven in kalkreichen Quellen. Salamanderlarven wurden nicht nur in naturnahen, walddreichen Mittelgebirgen mit stärkerer Quellschüttung und geeigneter Biotopstruktur gefunden, sondern auch in offenen Quellen, oft gekoppelt mit einer höheren Leitfähigkeit. Des Weiteren kommt die quelltypische Diptere *Oxycera sp.* nur bei hohen Leitfähigkeiten und pH-Werten vor, so dass die Art für Karbonatquellen typisch zu sein scheint. Auch die Köcherfliege *Tinodes unicolor* wurde nur bei höheren Kalkgehalten gefunden. Dies gilt eingeschränkt auch für *Thaumalea sp.*, welche nur in unversauerten Quellen und bei höheren Sauerstoffsättigungen vorhanden war. Allerdings liegen bei den drei letztgenannten Taxa nur wenige Daten vor.

Die Anpassung an saure pH-Werte ist mit höheren Aluminiumkonzentrationen gekoppelt, mit der wenige Arten gut zurechtkommen, so die versauerungsresistente Quellbachart *Nemurella pictetii*, welche bei Aluminiumgehalten bis zu 1000 µg/l mit großen Häufigkeiten vorkam. Der zunehmende Ausfall von Arten in versauerten Gewässern ist normalerweise durch die Kombinationswirkung von Säurestress und Aluminiumtoxizität zurückzuführen (LAMPERT & SOMMER 1993). Es dürfte also kein Optimum für die Art in sauren Quellen vorhanden sein. Stattdessen dürfte der Effekt auf die fehlende Konkurrenz in sauren Quellen zurückzuführen sein, da bei sauren Bedingungen viele Arten ausfallen und sich die Art stärker vermehrt. Dass bei versauerungskorrelierten Parametern wie Mangan und Aluminium die Taxazahl absinkt, ist grundsätzlich leicht erklärbar, dies war besonders ab etwa 1000 µg/l Aluminium bzw. etwa 0,5 mg Mangan der Fall. Welcher Parameter am meisten dazu beiträgt, war nicht zu klären, der pH-Wert als Versauerungsindikator ist aber ausreichend (vgl. SCHINDLER & HAHN 2000). Säureempfindliche Taxa werden in sauren Quellen zunächst durch höhere Abundanzen versauerungsresistenter Taxa ersetzt, bei stark sauren Quellen gehen jedoch auch diese zurück. Oft bleiben robuste Stygobionten übrig, die z. T. auch bei sehr niedrigen pH-Werten überleben.

Da der LAWA-Versauerungsindex für kleine Fließgewässer entwickelt wurde, sind Quelltaxa in der Indikatorliste kaum vorhanden, was für die Bewertung der Quellen problematisch war. Aus diesem Grund ist das LAWA-Verfahren in der vorhandenen Form schlecht auf Quellen anwendbar (SCHINDLER & HAHN 2000). Ist im Pfälzerwald die Versauerung nur auf die oberen Quellbereiche beschränkt (HAHN et al. 1998), da bereits nach kurzer Fließstrecke neutrales, tieferes Grundwasser über die Quellbachsohle zugeführt wird, setzen sich Säureschübe im Hunsrück weitgehend ungepuffert bis in die Quellbach- und Bachbereiche fort (MAUDEN 1993, LFW 2000).

Unversauerte Quellen aller Strukturbewertungsklassen besaßen generell eine höhere Artenzahl, bei höheren Schädigungsklassen überlagert durch die Struktur. Stark geschädigte und gleichzeitig versauerte Quellen wurden nicht kartiert, da sich die beiden Faktoren gegenseitig weitgehend ausschließen: die stärksten Strukturschädigungen befinden sich in landwirtschaftlichen Räumen mit gut gepufferten Böden. Insgesamt fiel auf, dass bestimmte Quellspezialisten nur in Kalk- und Kalktuffquellen vorkommen, das Gros aber in Silikatquellen dominiert, so dass viele Arten auch in kalkarmen und zum Teil sehr ionenarmem Wasser vorkommen. Trotzdem sind sie oft empfindlich gegenüber starker Versauerung. Es gibt also Hinweise dafür,

dass die Quellfauna zumindest an leichte Versauerungszustände angepasst ist. So fällt auch die Diskrepanz zwischen versauerten und unversauerten Quellen in Abbildung D4/20 bei den Quelltaxa insgesamt nicht ganz so groß aus wie bei den Gesamttaxa (betrifft vor allem die mittleren Schädigungsklassen).

Interessant ist die Frage, ob der Anteil an Quellspezialisten im sauren Bereich ansteigt. Dies wurde mit zwei Versauerungsklassen mit der Grenze von pH 5,5, in die die Quellen eingeteilt wurden, getestet. Den Hinweis darauf gaben die in Kapitel D 4.3.2 getesteten Unterschiede in der Besiedlung der beiden Klassen, welche nur für die Taxa, nicht aber für die Quelltaxa signifikant waren. Die Grenze zwischen versauerten und unversauerten Quellen bei pH 5,5 wird dabei auch von anderen Autoren verwendet (TRÖGER 1997). Die beiden Versauerungsklassen wurden um eine weitere, schwach saure Klasse zwischen pH 5,5 und pH 6,5 erweitert und der Anteil der Quellfauna bestimmt. Hierbei zeigte sich, dass der Quelltaxa-Anteil in der sauersten Klasse, wo nur noch sehr wenig Taxa enthalten sind, am höchsten war, was die These, dass die Quellfauna an saure Verhältnisse angepasst ist, bestätigt. Dies konnte auch HAHN (2000) für den Pfälzerwald bestätigen. Dort gingen in versauerten Quellen eher rithrobionte Arten zurück, während der Anteil quellasoziiertes Taxa hoch blieb. Die Anpassung liegt an dem natürlicherweise etwas niedrigeren pH-Wert in Quellen im Vergleich zu Quellbächen und größeren Fließgewässern, verursacht durch pufferarme Gesteine und durch Ausgasen von CO₂ aus dem Grundwasser. Außerdem enthält erst das Wasser größerer Bäche mehr Mineralien, so dass teilweise Oberläufe als silikatisch, Unterläufen als karbonatisch eingestuft werden.

Dass ein Taxarückgang bei Eisen statistisch nicht bestätigt werden konnte, liegt wahrscheinlich daran, dass zu wenige Stichproben vorliegen. Einerseits treten besiedlungsreduzierende Effekte in eisenhaltigen Quellen durch Ockerausfällungen auf, so dass eisenhaltige Quellen ohne Ockerausfall „normal“ besiedelt sein müssten. Andererseits ist Eisen ohne Eisenocker oft bei reduzierenden Bedingungen vorhanden, so dass niedrige Sauerstoffgehalte in solchen Quellen trotzdem zu einer verminderten Besiedlung führen. Hier spielen also zwei Faktoren zusammen, was auch den statistischen Nachweis erschweren könnte, da beide Faktoren separat keine starken Korrelationen und Zusammenhänge mit der Besiedlung aufweisen.

Mittlerweile ist die Versauerung anthropogen verstärkt, so dass spezielle Forschungen nötig sind, um die Effekte natürlicher und anthropogener Versauerung in Quellen zu untersuchen. So könnte die faunistische Versauerungsindikation die in Quellen besonders günstigen Monitorbedingungen für die Überwachung der Grundwasserversauerung nutzen und das bislang auf Bäche beschränkte Verfahren auf Quellen anpassen.

E 4.3.2 Fauna und Struktur

Zur Struktur von Quellen und deren Auswirkung auf die Fauna gibt es bislang sehr wenig Untersuchungen. Nach FISCHER (1996) erfolgen Störungen der Flora öfter über das Umfeld, während Schädigungen der Fauna meist über chemische oder Struktur- und Substratveränderungen bedingt sind. Dies ist jedoch differenziert zu betrachten. So schädigt ein fehlender Falllaubeträger aus dem Umfeld die Fauna in erheblichem Maß.

Bei der Zerschneidung von Quellökosystemen durch den Menschen mit nachfolgend stärkerer Isolation dürfte es zur Verringerung der Artenvielfalt auch in abgelegenen Quellen gekommen sein. Nutzungen führen zu örtlich starken Strukturschädigungen (Viehtrieb, Landwirtschaft, Entwässerung, Ausbau, Aufstau), wobei schwer abzuschätzen ist, ob sich momentan die Situation für den Quellschutz verschärft oder die Schädigungen rückläufig sind (vgl. WÄCHTER 1992). Zollhöfer geht intensiv auf die Gefährdungs- bzw. Schädigungssituation in der Schweiz ein und zeigt, dass die überwiegende Mehrheit der Quellen geschädigt ist, so dass vor allem in flacheren Regionen der Ausbaugrad 100 % erreicht (ZOLLHÖFER 1997). Dies konnte in ähnlichen Bereichen wie in der Vorderpfalz bestätigt werden. Die letzten unverbauten und naturnahen Quellen bilden Trittsteinbiotop, von denen geschädigte oder renaturierte Quellen wiederbesiedelt werden.

Bei den Quelltypen wurden keine Zusammenhänge mit den Taxa- bzw. Quelltaxazahlen gefunden. Im Übrigen wurde bei der Quellkartierung Rheinland-Pfalz festgestellt, dass die Artenzahl in Kalksinterquellen keineswegs geringer ist als in unversinterten Quellen, wie es ZOLLHÖFER (1997) für die Schweiz beschreibt. Auch die Anzahl quellasoziiertes Arten erscheint nicht nennenswert vermindert. GÜMBEL (1976) fand dagegen in einer allerdings unversinterten Kalkquelle weit mehr Quelltaxa als in einer Buntsandsteinquelle.

Die vorliegenden Daten weisen auf eine Verbindung des Abflusses mit der Taxazahl hin, was bei der Varianzanalyse statistisch nachweisbar war. Korrelationen mit der Taxazahl ergaben sich bei der Hanglage und der Geländeneigung, welche mit der Schüttung verknüpft sind. Die größte Anzahl Quelltaxa ergab sich bei starker Geländeneigung, welches möglicherweise mit der Größe des Einzugsgebietes gekoppelt ist sowie bei Mittelhangquellen. Möglich ist auch eine Vergrößerung der Biotopfläche durch die stärkere Geländeneigung. Sehr wahrscheinlich ist aber die erhöhte Quelltaxazahl auf die abseitige und schwer zugängliche Lage von Mittelhangquellen stärkerer Geländeneigung und demzufolge auf deren naturnäheren Zustände im Vergleich zu anderen Quellen zurückzuführen. Auch die Größe der Quelle bzw. des Quellbereichs hing mit der Schüttung und der Anzahl der Quelltaxa zusammen, ferner auch die Vernetzung einer Quelle. Die Wasserströmung stellt einen entscheidenden Faktor für die Besiedlung in Quellen dar (LAMPERT & SOMMER 1993), welcher allerdings nicht genauer untersucht wurde, da er kleinräumig stark variiert. So führen reibungsbedingte Verzögerungen des dünnen Wasserfilms im hygropetrischen Lebensraum zu charakteristischen Bedingungen mit geringen Strömungsgeschwindigkeiten und intensiverem Gas- und Temperatureaustausch (Rieselfluren), wo ganz andere Bedingungen als am Quellaustritt herrschen.

Ein wichtiger Strukturparameter ist die Fassung einer Quelle und insbesondere deren Art, Alter und Zustand. Neue Fassungen wiesen die geringste Besiedlung auf, alte und verfallene Fassungen sind dagegen oft stärker besiedelt, wobei sich die letzten beiden nur wenig in ihrer Besiedlung unterscheiden. Dieses Ergebnis zeigt, dass auch alte Fassungen, die noch intakt sind, wertvolle Quellbiotope darstellen können (vgl. HAHN & SCHINDLER 2001). Ähnliche Ergebnisse zeigen sich auch bei BIRINGER (1989) und NIERYCHLO (1989), werden dort allerdings nur allgemein auf Strukturschädigungen und nicht auf das Alter von Fassungen bezogen. Detaillierter stellt dies ZOLLHÖFER (1997) dar, der eine ähnliche Aufteilung auf Fassungsarten macht und deren Artenzahl auswertet. Hierbei zeigten sich vergleichbare Ergebnisse. Da es lange dauert, bis Quellen durch eine typische Quellfauna wiederbesiedelt werden (ZOLLHÖFER 1997) - die Hälfte einer quelltypischen Fauna wurde auch nach vollständiger Beseitigung einer Fassung erst nach etwa 4 Jahren nachgewiesen (ZOLLHÖFER 1997) - dürfen bei gefassten Quellen Werte von weit mehr als zehn Jahren angenommen werden, bis sich wieder eine quelltypische Besiedlung einstellt. Dies gilt insbesondere für Arten mit speziellen Ansprüchen an Substrattyp, Strömungspräferenz, Temperatur, Nahrungsgrundlage usw.

Weitere Schadstrukturparameter sind Verbau und dessen Folgen wie Verlegungen und Verrohrungen. Aufstau und künstliche Abstürze spielen offensichtlich keine so starke Rolle wie angenommen, ebenso Ablagerungen, Einleitungen und Trittschäden. Allerdings wurde bei starkem Vertritt eine negative Auswirkung auf die Artenzahl registriert. Dagegen zeigte die Zahl der Infrastruktureinrichtungen Zusammenhänge mit der Besiedlung, ebenso die Beschattung, was indirekt erklärbar wird, wenn man bedenkt, dass gefasste Quellen häufig unbeschattet sind, während naturnahe, ungefasste Quellen häufig in waldreichen Regionen liegen.

Für die Lebensgemeinschaften einer Quelle als sehr wichtig erwiesen sich die Anzahl der Substrattypen. Sie weisen statistisch hohe Zusammenhänge und höchst signifikante Korrelationen mit der Taxa- bzw. Quelltaxazahl auf, was über die Anzahl der Mikrohabitate unmittelbar verständlich ist. Ähnliches gilt in abgeschwächter Form für die Anzahl der Strömungszustände und die Wasser-Land-Verzahnung. Viele dieser Parameter hängen u. a. auch mit der Fassung der Quelle zusammen, so auch die besonderen Strukturen. Die-

se zeigten eine höchst signifikante positive Korrelation und den stärksten Zusammenhang unter allen Strukturparametern mit den Taxa- und Quelltaxazahlen. Dieses Merkmal spiegelt also zusammen mit der Anzahl der Substrattypen besonders gut die Besiedlung einer Quelle wider, was auch die Varianzanalyse bestätigte.

Weiterhin spiegelt auch das Umfeld der Quelle die Besiedlung gut wider, vor allem was Beeinträchtigungen und Schädigungen durch Landwirtschaft, Siedlungen und Nadelwälder beriff. Dass die Gesamttaxa- und Quelltaxazahl in Acker- und Siedlungsbereichen am niedrigsten war, überrascht nicht. Im Nadelwald dürfte der Grund neben Versauerungseffekten (TRÖGER 1997) der fehlende Laubeintrag (Nahrungsgrundlage) sein, gekoppelt mit der Reduktion des Algenaufwuchses durch die ganzjährige Beschattung (HERING et al. 1993). Dass kein negativer Effekt in Mischwald auftritt, ist mit dem ausreichenden Nahrungsangebot aufgrund des Laubbaumanteils zu erklären. Der Unterschied zwischen Gesamttaxa und Quelltaxa betrifft eine leichte Verschiebung der Besiedlungszahlen bei Nadel- und Mischwald. Während bei den Gesamttaxa ein deutlicher Einbruch bei Nadelwald zu verzeichnen war, fällt er bei den Quelltaxa nicht ganz so hoch aus. Dies könnte erneut mit der Anpassung an Versauerungserscheinungen zusammenhängen. Dafür ist bei den Quelltaxa ein starker Einbruch bei den höchsten Degradationsstadien intensives Grünland und Acker/Siedlungsbereiche zu verzeichnen. Gab es sehr wenig Quellarten, die in Waldquellen fehlen, fielen viele Quellarten in Offenlandquellen aus. Die Quelltaxa besitzen ein Maximum bei Mischwald, was allerdings nur schwer erklärbar ist. Betrachtet man die Mittelwerte von Abbildung D4/27, sind die höchsten Zahlen bei den Quelltaxa allerdings bei Laubwald zu verzeichnen, während sie bei den Gesamttaxa in extensivem Grünland liegen. Dass Waldquellen artenreich besiedelt sind, hängt auch möglicherweise damit zusammen, dass sie seltener verbaut sind.

Die Artenzahl war in extensivem Grünland genauso hoch wie in Laub- und Mischwald, was auch für die Quellartenzahl gilt. Die Ursache für die hohe Artenzahl in extensivem Grünland könnte die abwechslungsreiche Biotopstruktur sein, zumal die naturnah besiedelten Quellen meist am Waldrand lagen (Ökoton-Effekt). Auf diese Weise sind sowohl Offenland- als auch Waldarten vorhanden. Jedenfalls waren solche Quellen substratreich. Offene Bedingungen sind fast immer mit Störungen gekoppelt. Quellökosysteme ertragen Störungen nur bis zu einem gewissen Grad, ansonsten wird das an quelltypische Standortbedingungen evoluierte System von anderen Ökosystemen verdrängt. Störungen sind aber bis zu einem gewissen Grad natürlich und wirken sich in Quellen aus. Wildtiere verändern durch Vertritt und Verbiss die Struktur und die Vegetation des Quellbereichs, vor allem bei hohen Dichten. Das häufige Vorkommen einiger quelltypischer Arten in extensivem Grünland legt nahe, dass Anpassungen an offene Umfeldbedingungen existieren. Dass hohe Artenzahlen nur in extensivem und nicht in intensivem Grünland vorhanden waren, zeigt den großen Einfluss der Nutzungsintensität. So ist die extensive Landwirtschaft bzw. der ökologische Landbau im Vergleich zur konventionellen Landwirtschaft auch weit grundwasserschonender und hat deutlich geringere Nitrateinträge ins Grundwasser zur Folge (HENNING & SCHEFFER 2000). Eine solche Nutzung im Einzugsgebiet und im Umfeld ist aus Quellschutzgründen also zu bevorzugen, auch wenn keine direkten Folgen von höheren Nitratgehalten auf die Fauna nachgewiesen wurden.

Bei der Postulierung einer Anpassung an zumindest halboffene Quellen könnte man Verbindungen zur Megaherbivoretheorie ziehen, die natürliche, halboffene Standorte erklärt. Natürliche Störungen, an die Quellökosysteme evoluiert sein dürften, könnten etwa durch Wisent, Auerochse, Wildpferd, Elch und andere Tiere vor und zu Beginn der Neuzeit vor stärkerer Bejagung durch den Menschen hervorgerufen worden sein. An solche Standorte könnte sich die Fauna angepasst haben. Durch die Schaffung von sekundär offenen Bereichen schuf der Mensch ebenfalls offene Bereiche, in die dann eine solche Fauna eindringen konnte.

Das in Kapitel D 4.3.2 beschriebene Vorkommen einzelner Arten in Offenland oder Wald hängt direkt mit dem Ernährungstyp der betreffenden Art zusammen. Benthische Lebensgemeinschaften ändern sich mit den Lebensbedingungen längs eines Gradienten, wobei die Struktur der Lebensgemeinschaft diesem Gradienten

angepasst ist und ein Kontinuum bildet, so dass die Verteilung einzelner Ernährungstypen typisch für gewisse Gewässerabschnitte ist (River-Continuum-Concept nach VANNOTE et al. 1980). Hiernach findet sich im Oberlauf insgesamt die höchste „Diversität“ an Ernährungstypen. Da das Verhältnis Produktion zu Respiration < 1 ist und an Quellen POC (Falllaub) vorherrscht, finden sich im Krenon viele Zerkleinerer bzw. Detritivore und im Verhältnis zu anderen Abschnitten etwas weniger Filtrierer (VANNOTE et al. 1980). Beide zusammen haben das Übergewicht. Nach BOHLE (1995) überwiegen in Helokrenen Substratfresser, Zerkleinerer und Detritusfresser, in Rheokrenen Filtrierer und Weidegänger. Vor allem Gammariden, Plecopteren und Trichopteren spielen als Zerkleinerer im Nahrungsnetz eine zentrale Rolle, da sie Falllaub aufschließen und für andere Tiere zugänglich machen. Auf den aus verdaulichem Falllaub bestehenden Kotballen siedelt sich auf vergrößerter Oberfläche der Blattstückchen Periphyton aus Algen, Bakterien, Pilzen und Protozoen an. Für die Folgenutzer sind diese Mikroorganismen oft Hauptbestandteil der Nahrung (BOHLE 1995).

Oft sind Jugendstadien Detritusfresser, während ältere Entwicklungsstadien zu anderer Ernährungsweise übergehen, so bei vielen Köcher- und Steinfliegen. Filtrierer sind etwa Simuliiden, die auf stärkere Strömung angewiesen sind, oder Muscheln wie *Pisidium personatum*. Grazer sind Schnecken wie *Bythinella* und Köcherfliegen- bzw. Dipterenlarven, insbesondere Chironomidae (Zuckmücken) und Stratiomyidae (Waffenfliegen). Phytophage sind in erster Linie Käfer sowie Stelz- und Zuckmückenlarven. Beutegreifer, welche in allen Fließgewässerabschnitten etwa den gleichen Anteil ausmachen, sind Strudelwürmer, Libellenlarven, Steinfliegen, einige Köcherfliegen und Zuckmücken, Stelmücken (z. B. *Pedicia rivosa*), Wasserwanzen, Käfer (z. B. *Agabus guttatus*), Wassermilben sowie Salamanderlarven als Wirbeltiere.

Die Gesamtbewertung der Quellstruktur nach dem entwickelten Verfahren zeigt höchst signifikante Korrelationen und deutliche Zusammenhänge mit der Taxa- bzw. Quelltaxazahl. Die Zusammenhänge mit der Fauna sind deutlicher als der anderer Strukturparameter dieser Arbeit. Dementsprechend arbeitet das Strukturverfahren in Bezug auf Quelllebensgemeinschaften richtig und eignet sich somit gut zur ökologischen Bewertung von Quellen. Dies gilt auch in Bezug auf die fünf Bewertungsklassen, wobei die durchschnittlich höchsten Taxa- und Quelltaxazahlen bei naturnahen (Klasse 1) und bedingt naturnahen Quellen (Klasse 2) gefunden wurden, so dass zwischen den Klassen 1 und 2 praktisch keine Unterschiede auftraten (Abb. D4/31). Die Schädigungsklasse mit den stark geschädigten Quellen (Klasse 5) hebt sich stark von den anderen Klassen ab, da hier die Besiedlung deutlich geringer ist. Geschädigte Quellen der Klasse 4 besaßen dagegen noch eine recht hohe Taxazahl. Diese Quellen sind also trotz ihrer Schädigungen oft ökologisch höherwertig und entsprechend empfindlich, was man optisch meist kaum erkennen kann. Dies ist etwa bei Umgestaltungsmaßnahmen zu beachten. Dass die Spannweite der Werte in Abbildung D4/31 bei bedingt naturnahen Quellen am größten waren zeigt, dass eine sehr geringe Störung oder eine Störung, die aufgrund ihres Alters nur noch geringe Auswirkungen zeigt, neben negativen auch positive Effekte auf die Besiedlung haben kann.

Die durchgeführte Varianzanalyse, die sowohl die additive Wirkung der Faktoren als auch deren Interaktionseffekt berücksichtigt, bestätigte weitgehend die bisherigen Analysen und ergänzte sie, wobei die Schüttung eine stärkere Bedeutung erhielt. Hauptfaktoren für die Taxazahl sind die Anzahl der Substrate und besonderer Strukturen sowie der Infrastruktureinrichtungen und das Umfeld der Quelle. Für die Quellzönose waren die gleichen Faktoren und zusätzlich die Faktoren Schüttung, Fassung und Wasser-Land-Verzahnung wichtig. Dies bedeutet zum Beispiel bei der Schüttung, dass für die (nicht quellspezialisierten) Gesamttaxa die Quellschüttung und deren Dynamik relativ bedeutungslos ist, da sie ja in den Quellbach ausweichen kann, während sie für die eigentliche Quellfauna sehr wichtig ist, da sie die Lebensbedingungen prägt und die Habitatgrößen festlegt. Ähnliches gilt für die Fassung und die Wasser-Land-Verzahnung, die Größe und Zahl der Mikrohabitate bestimmt. Der wichtigste Parameter, der die Quelltaxazahlen am deutlichsten widerspiegelt, ist die Bewertung durch das Quellstrukturverfahren, was zeigt, dass durch das Bewertungsverfahren eine Beurteilung der Lebensraumqualität von Quellen sehr gut möglich ist.

Bei den bestimmenden Faktoren handelt es sich um komplexe Verhältnisse, so dass einzelne Faktoren nur schlecht herausgegriffen werden können. Insgesamt spiegelt sich zwar die Struktur und die Hydrochemie in der faunistischen Besiedlungsstruktur wider, die Auswertungen lassen sich aber nur teilweise zur Deckung bringen. Ähnliche Ergebnisse zeigen sich bei BIRINGER (1989) und NIERYCHLO (1989), was die Komplexität der Besiedlungsbedingungen demonstriert. So überlagern bei ungefassten Quellen der pH-Wert oder weitere gewässerchemische Faktoren die Strukturparameter.

Einige bisher gewonnen Ergebnisse zur Überlagerung von Schädigungen an Quellen sind als Modell in Form einer grobschematischen Übersicht in Abbildung E4/4 zusammengefasst. Hierbei werden drei besiedlungsbeschränkende Faktoren berücksichtigt, welche meist anthropogen verursacht sind, lediglich chemische Überprägungen haben meist natürliche Ursachen. Eine schwache Versauerung führt dabei nicht zu einer Verminderung der Besiedlung, es kommt lediglich zu einer Verschiebung des Artenspektrums, so dass quelltypische Arten zunehmen dürften. In der Abbildung wird jeweils eine ausgewählte Beispielart genannt, die bei dem entsprechenden Faktor ausfällt, in den Schnittmengen fallen beide oder alle drei Arten aus.

Ausfallende Arten bei den Faktoren:

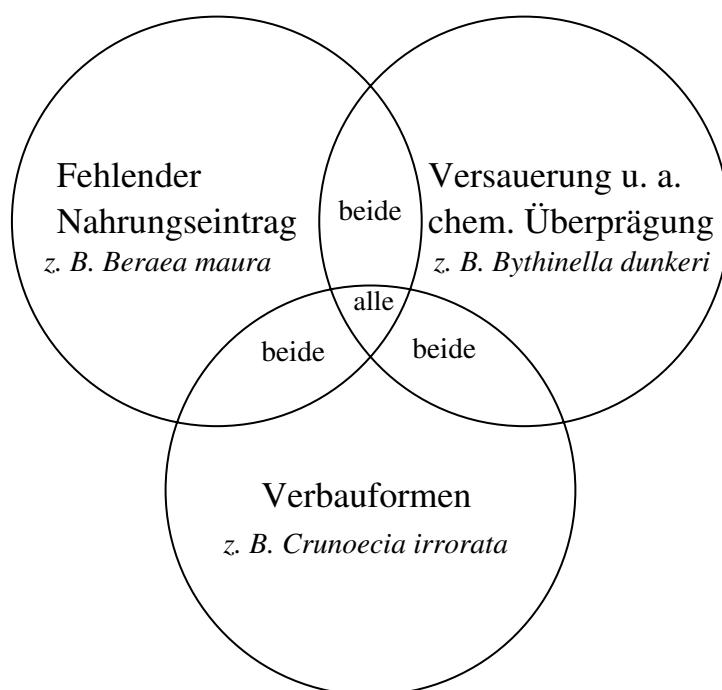


Abb. E4/4: Darstellung der Auswirkung von Schädigungen auf Quellzoozöosen als Modell

E 4.3.3 Untersuchung ausgewählter Quellen der Pfalz

Bei der Untersuchung ausgewählter Quellen in der Pfalz gelang es sehr gut, durch mehrmalige faunistische Beprobungen zu verschiedenen Jahreszeiten das Arteninventar der anderen Untersuchungen zu ergänzen und für Quellen verschiedener Hemerobiegrade darzustellen. Hierbei bestätigten sich die allgemeinen Ergebnisse, außerdem wurde gezeigt, dass selbst deutlich durch Fassungen geschädigte Quellen noch recht gut und auch quelltypisch besiedelt sein können. Dies trifft auf den Naubrunnen (Nr. 0151) und besonders auf den Moosalbsprung (Nr. 0178) zu, die immerhin noch 34 bzw. 40 Taxa und 9 bzw. 16 Quelltaxa aufwiesen. Dies zeigte sich auch in der Untersuchung von SCHINDLER, GUTENSOHN & HAHN (2002), wo eine Reihe von alten gefassten Quellen sowie verfallene Fassungen im Pfälzerwald eine quelltypische Besiedlung aufwiesen. Dies ist beim Quellschutz zu berücksichtigen, da auch solche sekundären Biotope ökologisch wertvoll sein

können. Es zeigte sich bei stärker geschädigten Quellen, dass sich die meisten Arten am naturnahen Ablauf fanden, der bei solchen Quellen von großer Bedeutung ist. Hier fanden sich auch dann noch quelltypische Arten, wenn dieser weit vom eigentlichen Austritt entfernt war, z. B. bei Kanalisierung mit fehlender Erwärmung des Wasserkörpers an Quelle Nr. 0151. Quelle Nr. 0178 besitzt in ihrer Nähe eine weitere naturnahe Quelle, von der aus die Wiederbesiedlung der Fassung stattfinden konnte.

Neue und intakte Fassungen waren in der Regel äußerst dürrtig besiedelt, während sich eine sehr gute Besiedlung von Quellen mit alten und verfallenen Fassungen und deren Randbereichen ergab, die als mäßig beeinträchtigt oder sogar bedingt naturnah beurteilt wurden. Dies waren insbesondere die Sturzquelle an der Weihermühle (Nr. 2501), die Quelle Nr. 0142 im Spendeltal sowie die Unterhammerquelle (Nr. 0160). Die einzelnen Taxa- und Quelltaxazahlen sind im Anhang genannt. Die mäßig beeinträchtigte Quelle Nr. 0146 bei der Ortschaft Schwarzengraben stellt wegen der Verockerung einen Sonderfall dar. Dies hatte zwar eine geringere Besiedlung zur Folge, trotzdem waren noch 28 Taxa und 12 Quelltaxa vorhanden. Der Ocker kann eigentlich nur auf erhöhte Mangangehalte zurückgeführt werden, wahrscheinlich vermindert die Fassung durch stehendes Wasser im Schacht den Sauerstoffgehalt. Die drei besten Quellen von Donnersberg, Westrich und Pfälzerwald wiesen für eine Makrozoobenthosbesammlung sehr hohe Artenzahlen auf. Interessant ist, dass die völlig unbeeinträchtigte und noch unversauerte Quelle am Gerbacher Kopf (Nr. 0147) „nur“ 46 Taxa und 19 Quelltaxa besaß, während die am Quellbach beeinträchtigte Quelle am Mühlkopf (Nr. 0152) die höchsten Besiedlungszahlen aller Quellen aufwies (62 Taxa und 21 Quelltaxa). Die weitgehend unbeeinträchtigte Felsquelle nördlich Diemerstein (Nr. 2304) liegt mit 59 Taxa und 21 Quelltaxa knapp dahinter. Dies könnte mit dem niedrigen pH-Wert in Quelle Nr. 0147 zusammenhängen.

Dass viele der naturnahen Quellen nach dem faunistischen Verfahren nur in die zweit- oder sogar drittbeste Klasse fallen, ist nicht einfach zu erklären. Es stellte sich heraus, dass gerade kürzer und nur einmalig beprobte, naturnahe Quellen mit wenigen Taxa nach dem Verfahren nach FISCHER oft in die beste Klasse fielen (Untersuchung im südlichen Pfälzerwald), während sehr intensiv beprobte, taxareiche Quellen die beste Klasse verfehlten. Dies könnte mehrere Ursachen haben. Zum Einen wurde das Verfahren für eine schnelle Kurzbewertung entwickelt und gerade in Kurzuntersuchungen getestet (Fischer 1996a). Zum Anderen dürfte mit der intensiveren Beprobung der Ubiquistenanteil ansteigen. Wenn die meisten aquatischen und quellasoziierten Arten bereits gefunden wurden und nach weiteren Arten gesucht wird, treten mehr Arten aus Randbiotopen hinzu. Dass der Ubiquistenanteil mit der Intensität der Beprobung größer wird, wurde von Dr. J. Fischer bestätigt (FISCHER, mündl. Mitteilung). Zwar lag der Anteil der Quellfauna bei den gut untersuchten Pfalzquellen im Schnitt höher als bei den anderen Quellen, er war aber bei zwei der drei naturnahen Pfalzquellen relativ gering (34 und 36 %). Die naturnaheste Quelle wies mit 41 % einen hohen Quellspezialistenanteil auf, dieser wurde jedoch interessanterweise noch von einer Quelle übertroffen: von der verockernten, geschädigten Quelle Nr. 0146 (43 %). Diese wies dafür die geringsten Taxazahlen auf, die deutlich geringer als bei den anderen acht Quellen waren. Von allen neun Quellen wiesen im Schnitt die bedingt naturnahen Quellen die höchsten Quelltaxaanteile auf (39 %). Insgesamt lagen die Quelltaxaanteile aber dicht beieinander (34 bis 43 %), lediglich der stark geschädigte Naubrunnen besaß nur einen Anteil von 26 %.

Bei der Pfalzuntersuchung wurde zudem deutlich, dass das Fehlen von *Gammarus fossarum* sehr gut als Versauerungszeiger fungiert (BREHM & MEIJERING 1982). Dagegen spiegelt *Crunoecia irrorata* mit ihrer Häufigkeit sehr gut die strukturelle Naturnähe von Quellen wider. Weiterhin wurden durch die Intensität der Beprobung viele Erstdnachweise und seltene Arten gefunden (*Hydraena subimpressa*, *Hydroporus longulus*, *Chaetopterygopsis maclachlani*, *Adicella filicornis*, *Stenophylax vibex*, *Tinodes assimilis*, *T. unicolor*, *Szaboieiella hibernica*, *Telmatoscopus pseudolongicornis*, *Tonnoiriella pulchra*). Auch zeigte sich, dass die Art *Ptilocolepus granulatus* eine Charakterart stärker schüttender *Fontinalis*-Quellen im Pfälzerwald ist.

Bei der Prüfung der Abnahme quellassoziierter Arten mit dem Abstand vom Quellaustritt trat das Problem der bis weit über 100 m Fließlänge gestreckten Besiedlung durch die kaltstenotherme Quellschnecke *Bythinella dunkeri* auf (mittlere Häufigkeitsklasse). Die etwas stärkere Schüttung der Quelle erklärt hierbei das Vorkommen von *B. dunkeri* auf solch einer langen Strecke nicht. Hier gibt der Hinweis von JUNGBLUTH Aufschluss über die mögliche Ursache. Er schreibt, dass *Bythinella* bereits weniger Meter nach dem Quellaustritt zurückgeht, falls kein Grundwasserzstrom an der Gewässersohle vorhanden ist (JUNGBLUTH 1971, 1972). Gerade ein solcher Grundwasserzstrom an der Gewässersohle ist nun für nicht wenige Fließgewässer des Pfälzerwaldes typisch, so etwa für die beiden Quellbäche der Wieslauter, so dass dieser als Ursache des langgestreckten Vorkommens dieser krenobionten Art in Betracht kommen könnte. Noch wahrscheinlicher ist aber nach eigener Meinung die folgende Ursache. Wie bereits beschrieben, ist die Art nach OSWALD et al. (1991) weniger kaltstenotherm als ursprünglich vermutet und tritt wegen einer Konkurrenzschwäche gegenüber anderen Arten im Hypokrenal zurück. Hier könnte also die fehlende Konkurrenz die Ursache sein, etwa durch andere Grazer oder die auch andernorts beobachtete relative Seltenheit von Mollusken im Pfälzerwald.

E 4.4 Faunistische Verfahren und Referenzquellen

Grundsätzlich wurde versucht, so viele Quellen wie möglich vergleichbar zu untersuchen, um zu statistisch haltbaren Aussagen zu gelangen. Das gilt für den Vergleich faunistischer Gesamtparameter wie Arten- und Quellartenzahl, als auch für die Bewertungsverfahren und die multivariaten Analysen. Das faunistische Bewertungsverfahren von FISCHER (1996a) stellt einen Bewertungsvorschlag für Quellen dar, welcher hier angewendet wurde. FISCHER hat darin bestimmten Arten des Makrozoobenthos aufgrund autökologischer Daten ökologische Wertzahlen zugeordnet, die die krenale Einnischung und die Naturnähe von Quellen reflektieren. Das Verfahren ist fünfstufig und beinhaltet eine Faunenliste mit 319 Taxa. ZOLLHÖFER (1997) hat das FISCHER-Verfahren im Schweizer Jura und Mittelland regionalisiert und getestet. Selbst wurden grundsätzlich sinnvolle Ergebnisse gewonnen, die das eigene Strukturverfahren bestätigten und ergänzten.

Es dominierten Quellen mittleren Hemerobiegrades mit quellverträglicher Besiedlung, gefolgt von bedingt quelltypisch besiedelten Quellen. Bei der landesweiten Untersuchung von SCHINDLER & HAHN (2000) wurde dagegen klar, dass repräsentativ gesehen weniger quelltypische Quellen und mehr quellfremd und sehr quellfremd besiedelte Quellen vorhanden sind. Die Mehrheit der rheinland-pfälzischen Quellen sind demzufolge als quellverträglich besiedelt zu bezeichnen (Klasse 3), es folgen bedingt quelltypisch besiedelte (Klasse 2) und sehr quellfremd besiedelte Quellen (Klasse 5). Naturnah und quelltypisch besiedelte Quellen gab es nur wenige, obwohl die zweite Klasse bedingt quelltypisch besiedelter Quellen groß war. Grundsätzlich ähnliche Ergebnisse als das FISCHER-Verfahren zeigte der modifiziert errechnete Krenon-Typie-Index, allerdings dominieren statt der häufigen Klassen 3 und 2 im FISCHER-Verfahren die Klassen 4 und 3 im Krenon-Typie-Index (s. ff). Das Verfahren von FISCHER (1996a) entspricht dabei auch einem langszonalen Krenon-Typie-Ansatz, weshalb es hier besonders berücksichtigt wurde.

Abbildung D4/35 zeigt, dass die höchsten Taxazahlen bei quellverträglich besiedelten Quellen (Klasse 3) vorhanden waren, während die höchsten Quelltaxazahlen bei bedingt quelltypisch besiedelten Quellen (Klasse 2) vorkamen. Diese interessanten Ergebnisse demonstrieren, dass artenreiche Quellen nicht unbedingt quelltypisch besiedelt sein müssen. Quelltypisch besiedelte Quellen der Klasse 1 zeigten sogar eine recht niedrige Taxazahl (Abb. D4/35). Bei Quellen der Klasse 1 entsprach die Quelltaxazahl in etwa der der Klasse 3, was nur schwer erklärbar ist. Eindeutig ist aber, dass sich erneut eine große Kluft zwischen den beiden stärksten Schädigungsklassen zeigt, so dass sehr quellfremd besiedelte Quellen der Klasse 5 sehr wenige Taxa enthielten. Quellfremd besiedelte Quellen der Klasse 4 unterschieden sich hingegen nicht sehr stark von den anderen Klassen, insbesondere bei den Taxazahlen. Dagegen waren die Quelltaxa der gleichen Klasse 4 bereits vermindert. Insgesamt ist festzuhalten, dass Artenzahlen in naturfernen Quellen hoch sein können.

nen, wobei dies nicht unbedingt quelltypische Arten sind, welche in naturfernen Quellen stärker zurückgehen. Quelltypisch besiedelte Quellen der Klasse 1 lagen hauptsächlich im Pfälzerwald (SCHINDLER, GUTENSOHN & HAHN 2002) und entsprachen Quellen mit etwas geringerer Untersuchungsintensität. Hier wurde bereits erwähnt, dass besser untersuchte Quellen im Verhältnis teilweise relativ schlecht abschnitten, so dass selbst nach dem Strukturverfahren als naturnah eingestufte und quelltaxareiche Quellen oft nur in die zweit- oder gar drittbeste faunistische Klasse fielen.

Insgesamt sind also Quellen der Klasse 1 nach dem FISCHER-Verfahren im Vergleich zum Quellstrukturverfahren deutlich seltener. Die relativen Verschiebungen von Abbildung D2/2 (Strukturbewertung) zu Abbildung D4/36 (faunistische Bewertung, rechts) sind aber recht gering. Die meisten Quellräume wurden ähnlich oder gleich bewertet, zumindest was ihre relative Lage zu den anderen Quellräumen betrifft. Generell zeigt sich beim Vergleich der Abbildung D2/3 mit Abbildung D4/36 (links), dass die faunistische Bewertung deutlich öfter zu mittleren Klassen führte als die Strukturbewertung, deren Klassen etwa gleich verteilt waren.

Die faunistische Bewertung filtert ausschließlich naturnah besiedelte Referenzquellen aus einer Menge von Quellen verschiedener Hemerobiegrade heraus, gleichgültig, welche Faktoren die Besiedlungsveränderung bewirken. Trotzdem können solche naturnah besiedelten Quellen strukturell geschädigt sein, was natürlich besonders interessant ist. Die Schädigungen solcher Quellen waren häufig durch alten Verbau und alte Fassungen (auch Brunnenstuben), aber auch durch die extensive Grünlandnutzung im Umfeld bedingt, in Einzelfällen auch durch einen Kahlschlag in Nadelwald und einen alten Aufstau ohne erkennbare Nutzung. Diese Biotope sind häufig durch langsame Veränderungen in Richtung Naturnähe ohne größere Störungen oder gleichbleibend geringe Störungen geprägt, so dass Besiedlungsvorgänge stattfinden konnten.

Es wurde versucht, zwei faunistische Indices für das Makrozoobenthos anlehnend an die Wasserrahmenrichtlinie der EU zu verwenden, die sich auf biozönotische Fließgewässerregionen beziehen (BISS et al. 2002). Die beiden Verfahren sind noch nicht entwickelt und sind wie das von FISCHER zonenspezifische Verfahren, die zur Bewertung der ökologischen Qualität mit autökologischen Artangaben in Form ökologischer Wertzahlen bzw. Ökologie-Werten (ECO-Werte) arbeiten. Der Versuch lieferte unterschiedliche Ergebnisse (Abb. D4/37), wobei die Verfahren modifiziert wurden, da die Datenlage für Quellen zu schlecht und der Aufwand zur Ermittlung von ECO-Werten zu groß gewesen wäre. Der erste Index, der dem Rhithron-Typie-Index nach BISS et al. (2002) vergleichbar ist, wird als Krenon-Typie-Index (KTI) bezeichnet, der zweite entspricht dem Benthos-Index. Die beiden Indices basieren normalerweise auf den Daten von SCHMEDITJE & COLLING (1996), wonach Zonierungspunkte der jeweiligen Fließgewässerregion für die betreffenden Taxa vergeben werden. Schwierigkeiten lagen hier vor allem bei der Einstufung einiger Arten in die Fließgewässerregion Krenal (fehlende Daten für quelltypische Taxa). Außerdem waren 48 Taxa in der SCHMEDITJE & COLLING-Liste nicht enthalten (rund ein Sechstel der nachgewiesenen Fauna), was häufig Quelltaxa betrifft. So hätten ECO-Werte für 292 Taxa neu festgelegt werden müssen. Aus diesen Gründen wurden die beiden Indices in veränderter Form berechnet, indem die Berechnung mit den vollständigeren ÖWZ-Werten aus der ergänzten FISCHER-Liste und beim KTI mit einer eigens angepassten Wertklasseneinteilung erfolgte. Letztere wurde anhand der Ergebnisverteilung des KTI erstellt (vgl. Anhang). Hier ist die Aufnahme quelltypischer Taxa in die Liste von SCHMEDITJE & COLLING mit ECO-Wert-Festlegung empfehlenswert.

Letztendlich hat sich von den beiden Verfahren nur der KTI als brauchbar herausgestellt, welcher viele Quellen der Klasse 4 (unbefriedigender ökologischer Zustand) und anderer mittlerer Klassen zeigte. Die Ergebnisse des KTI deckten sich teilweise mit denen des Strukturverfahrens, wo Klasse 4 ebenfalls die häufigste Klasse war. Das FISCHER-Verfahren enthält vor allem Quellen der Klasse 3 (quellverträglich) und ferner der Klasse 2 (bedingt quelltypisch). Der Krenon-Typie-Index weist eine mit dem FISCHER-Verfahren vergleichbare Zahl Quellen der Klasse 1 auf. Die Berechnung des Benthos-Index scheint dagegen zu unbrauchbaren

Resultaten zu führen. Hier lagen fast alle Quellen in Klasse 2, während sie bei den anderen Verfahren gleichmäßiger auf die Klassen verteilt waren.

Das Verfahren nach FISCHER lieferte insgesamt die mit der Strukturbewertung vergleichbarsten Ergebnisse und die besten Korrelationen mit dem Strukturverfahren sowie mit der Anzahl Quelltaxa, vielleicht, weil es wie das Strukturbewertungsverfahren speziell für Quellen entwickelt wurde. Aber auch der Krenon-Typie-Index zeigte brauchbare Ergebnisse, welcher ebenfalls hätte ausgewählt werden können. Mit ihm werden die untersuchten Quellen schlechter bewertet als mit dem FISCHER-Verfahren, dessen Resultate aber trotzdem realistisch sein dürften. Wünschenswert ist in jedem Fall eine besondere Gewichtung der Quellspezialisten bei Bewertungsfragen im Quell- und Quellbachbereich durch eine bessere Datenlage. Hier ist die Weiterentwicklung des Krenon-Typie-Index zu fordern, ähnlich dem hier beschriebenen Ansatz. So bleiben Quellen bei einer biozönotisch indizierten Fließgewässerbewertung nicht ausgespart, was der Entwicklung in der zukünftigen Gewässerüberwachung nach EU-WRRL entgegenkommt. Gerade Quellen bieten über ihre Schnittstelle zwischen Grund- und Oberflächenwasser die Möglichkeit, einen Beitrag zur geforderten Nachhaltigkeit zu leisten - auch im Sinne der Grundwasserrichtlinie der EU (SCHINDLER & HAHN 2002b).

Das faunistische Bewertungsverfahren nach FISCHER (1996a) zeigte höchst signifikante Korrelationen der ökologischen Werteklassen mit der Anzahl der Substrate und besonderer Strukturen, mit dem Umfeld der Quelle und deutlichere Zusammenhänge mit der Strukturbewertungszahl des Verfahrens und dessen Bewertungsklassen, außerdem mit dem Gesamteindruck sowie als stärkstem Zusammenhang mit der Anzahl der Quelltaxa. Die Varianzanalyse beachtet Folgeprobleme wie die Verminderung der Substratzahlen durch die Fassung einer Quelle. Aus diesen Gründen sind für die Fauna besonders die bei der Varianzanalyse genannten Strukturparameter wichtig. Die Varianzanalyse zeigte ähnliche Ergebnisse wie das Strukturbewertungsverfahren. Hier fällt besonders die Schüttung und die Anzahl der Quelltaxa auf. Dass diese besonders mit der faunistischen Bewertung zusammenhängen, ist leicht zu erklären und zeigt erneut, dass die Schüttung, die mit der Kleinhabitatausbildung verbunden ist, bei der Besiedlung eine wichtige Rolle spielt. Der Parameter Fassung wirkt sich in der Varianzanalyse vermutlich deswegen nicht ganz so stark aus, weil es viele alte Fassungen gibt, die mittlerweile wiederbesiedelt sind und eine größere Taxazahl haben. Die Bewertung von Fassungen ist deswegen nur über deren Alter und Zustand möglich.

Die faunistische Bewertung der Unterschiede von Fassungen zeigt besonders deutliche Unterschiede zwischen dem Alter und dem Unterhaltungszustand von Rohrfassungen. Dies ist etwas verwunderlich, da doch die Fassung nur aus dem Rohr besteht, während der Ablauf mehr oder weniger naturnah verbleibt. Hier ist jedoch anzumerken, dass Rohrfassungen neueren Zustandes oft von Unterhaltungsmaßnahmen wie der Räumung eines Grabens oder der Entfernung natürlicher Vegetation oder Substrate begleitet werden, was die schlechtere Bewertung erklären könnte. Die sehr gute Bewertung von verfallenen Rohrfassungen beweist deren ökologische „Harmlosigkeit“, wenn längere Zeit keine Unterhaltungsmaßnahmen mehr stattfinden.

Fasst man die beiden besten Bewertungsklassen des faunistischen und des Strukturverfahrens zusammen, fällt die Strukturbewertung insgesamt gesehen schlechter aus als das FISCHER-Verfahren. Ähnliches ist übrigens auch im Fließgewässerbereich zu beobachten, wo etwa die Strukturgüte im Schnitt schlechtere Ergebnisse liefert als biologische Verfahren. Ursache ist der (noch) starke Ausbauzustand unserer Fließgewässer und Quellen, während die Gewässergüte (mittlerweile) oft ein besseres Niveau erreicht. Der Fauna scheint die schlechte Struktur unserer Fließgewässer jedoch nicht in jedem Fall abträglich zu sein, sie findet sich trotzdem in beachtenswerter Artenzahl in ausgebauten Gewässern, wobei der Ausbau aber oft länger zurückliegt. Diese Tatsache findet allerdings bei der Strukturgütebewertung nach wie vor keine Beachtung. Der gleiche Sachverhalt scheint auch in Quellen vorhanden zu sein, da trotz schlechter Struktur oft eine relativ reichhaltige (Quell-)Fauna vorhanden ist. Dies zeigt sich in Klasse 4 der Strukturbewertung mit recht hohen

Artenzahlen und ist mit dem teilweise recht hohen Alter von Fassungen in Verbindung zu bringen, wie sich in der Pfalz-Untersuchung zeigte. Das eben Gesagte gilt nicht für den Krenon-Typie-Index, wo über 25 % der Quellen schlechter abschneiden als bei der Struktur. Trotzdem ist die Anzahl der Quellen aus der besten Klasse mit der des FISCHER-Verfahrens fast identisch.

Die vorgeschlagenen 56 faunistisch-strukturellen Referenzquellen, deren ökologischer Zustand als gut bis sehr gut zu bezeichnen ist, bilden die Schnittmenge der beiden besten strukturellen und faunistischen Klassen. Sie sollten als ökologische wertvolle Quellbiotope besonderen Schutz genießen und können prinzipiell für die Ausweisung als Naturdenkmal vorgeschlagen werden.

Die beiden angewendeten multimetrischen Verfahren der Clusteranalyse und der multidimensionalen Skalierung (MDS) sind in der Limnologie üblich und bewährt und wurden bereits bei Quellen angewendet (GATHMANN 1994). Die früher übliche Hauptkomponentenanalyse wird mittlerweile durch die robustere MDS bzw. die Korrespondenzanalyse (CA) ersetzt (GATHMANN 1994). Mit der Clusteranalyse und der multidimensionalen Skalierung der faunistischen Daten wurde anhand der 56 Referenzquellen die strukturelle Quelltypologie getestet. Allerdings gelang in der Clusteranalyse der strukturellen Daten nur teilweise eine Trennung der Basisquelltypen, teilweise lagen mehrere Quelltypen zusammen in einer Gruppe. Außerdem waren die Unterschiede zwischen den insgesamt großen Gruppen eher gering.

Bei der Hydrochemie wurde nur eine Clusteranalyse erstellt, da die multidimensionale Skalierung der gleichen Daten aufgrund der unzureichenden Datenlage nicht möglich war. Grund dafür war, dass bei den Quellen aus der Untersuchung von SCHINDLER, GUTENSOHN & HAHN (2002) nur die Vor-Ort-Parameter erhoben wurden. Für die multidimensionale Skalierung konnten demzufolge auch nur die Vor-Ort-Parameter benutzt werden, was für diese statistische Methode zu wenig Daten lieferte. Das erstellte Dendrogramm der Clusteranalyse (Abb. D4/43) zeigt viele Gruppen, hinter denen vor allem der pH-Wert, die Wasserhärte, die Leitfähigkeit und die Sauerstoffsättigung stehen. Die einzelnen Gruppen wurden bereits beschrieben. Auch die multidimensionale Skalierung der Naturräume mit den aggregierten hydrochemischen Daten aus SCHINDLER & HAHN (2000) wurde bereits in Kapitel D 4.4 interpretiert. Die Anordnung der Naturräume nach den Daten von SCHINDLER & HAHN (2002b) wurde für die Differenzierung von Quellräumen und für die Leitartenabgrenzung benutzt.

Bei den multivariaten Analysen der Fauna liegen auch in der MDS die bereits in der Clusteranalyse berechneten Gruppen ungefähr zusammen, so dass die beiden Methoden ähnliche Ergebnisse zeigen. Allerdings gibt es stärkere Überlappungen in der MDS, so dass eine eindeutige Trennung von Gruppen nicht möglich ist. Quelltypgruppen, welche in Abbildung D4/46 direkt ablesbar sind, zeigen trotzdem gewisse Häufungen, so dass etwa Tümpelquellen (grün) im unteren Bereich liegen. Auffällig ist auch die Gruppe von Karbonat- bzw. Kalksinterquellen links oben (Kreis). Als wichtig für die Fauna können demzufolge die Faktoren Quelltyp, Kalkgehalt, pH-Wert und die Schüttung abgeleitet werden.

Ebenfalls keine eindeutige Trennung der Fauna ergab sich bei LINDEGAARD et al. (1998), der ähnliche Methoden anwandte. Dies beschreibt auch ZOLLHÖFER (1997), der seine faunistischen Daten einschränkte, indem er Ubiquisten und seltene, stenöke Arten bei den multivariaten Analysen wegließ, um zu eindeutigeren Ergebnissen zu gelangen. Ohne diese Einschränkung war nach seinen Angaben der Anteil nichtsteter Taxa zu groß, um die gesamte Artenliste durch eine Clusteranalyse zu bearbeiten (ZOLLHÖFER 1997). Mit diesen Einschränkungen war eine Trennung der regionalen Fauna für seine fünf beschriebenen Quelltypen möglich. Bei GATHMANN (1994) ergab sich eine gute Trennung nach der Hydrologie, was selbst bestätigt wurde, da etwa fast alle periodischen Quellen in der ersten Gruppe der sauren Sickerquellen lagen. GATHMANN (1994)

nennt deswegen auch die Hydrologie als wichtigstes Differenzierungskriterium, stellt aber grundsätzlich eine faunistische Quelltypologie nach dem Muster bisheriger Fließgewässertypologien in Frage.

Eine Trennung von Quelltypen ist wahrscheinlich nur in geologisch einheitlichen Gebieten möglich (vgl. HAHN 2000), was im Folgenden versucht wurde. Ein Problem ist allerdings, dass durch ähnliche hydrologische Verhältnisse und die Häufung gleicher oder ähnlicher Quelltypen auch die Besiedlung nicht sehr unterschiedlich ist. Bei der multidimensionalen Skalierung der faunistischen Daten mit den Basisquelltypen und den Naturräumen bzw. Grundwasserlandschaften (Abb. E4/48 und E4/49) ergaben sich zwischen vielen Grundwasserlandschaften und Naturräumen z. T. deutliche Unterschiede bei der Besiedlung verschiedener Quelltypen. Dies ist besonders deutlich bei den verschiedenen Quelltypen des Donnersbergs bzw. den Rotliegend-Magmatiten der Fall. Aber auch beim Pfälzerwald unterscheiden sich vor allem gefasste und Sickerquellen von den Sturz- und Tümpelquellen, welche ähnlich besiedelt sind. Faunistisch gesehen sind die Unterschiede der Quellen im mittleren Buntsandstein allerdings nicht sonderlich groß. Bei den Tonschieferquellen unterscheiden sich Sickerquellen von Sturzquellen, welche näher bei den Wanderquellen stehen. Die Quelltypen werden aber grundsätzlich stark durch die geochemischen Grundwasserlandschaften überlagert.

Die multivariaten Methoden für Struktur, Hydrochemie und Fauna ergänzen sich, sind aber nur teilweise in Einklang zu bringen. Hierbei ist zu beachten, dass Quelltypen, die nicht in die Gruppen zu passen scheinen, häufig einem Mischtyp angehören. Insgesamt ergab sich eine ähnliche Besiedlung der Quellen einer Grundwasserlandschaft, wobei GATHMANN (1994) ebenfalls eine Vergesellschaftung benachbarter Standorte in einer Region ausmachte. Auch ZOLLHÖFER (1997) wies nach, dass die Faunenunterschiede verschiedener Regionen größer sind als die Unterschiede in der Fauna verschiedener Quelltypen innerhalb einer Region. Er nennt es deshalb schwierig, wenn nicht gar unmöglich, eine überregionale gültige Quelltypologie zu entwerfen, die auf faunistischen Daten basiert (ZOLLHÖFER 1997). Außerdem betont er, dass sich bisher keine auf Ökologie und Geomorphologie basierende Quelltypologie durchgesetzt hat, die über die klassische „Dreifaltigkeit“ der Rheo-, Helo- und Limnokrenen von STEINMANN (1915) und THIENEMANN (1924) hinausgeht. Auch bei der großräumigeren Untersuchung von NIERYCHLO (1989) im Saarland ergab sich keine unterschiedliche Besiedlung der drei Hauptquelltypen, vermutlich, da verschiedene Grundwasserlandschaften untersucht wurden.

Zusammenfassend sind bei den eigenen Ergebnissen als wichtigste Faktoren für die Fauna die Grundwasserlandschaft und deren Hydrologie und Hydrochemie sowie der Quelltyp in Verbindung mit dem Substrat zu nennen. Als wichtigste Faktoren für die Besiedlung nennt ZOLLHÖFER (1997) die Substratbindung zusammen mit Höhenzonierung und Gewässerchemismus. HAHN (2000) beschrieb als wichtigste Besiedlungsfaktoren im geologisch einheitlichen Pfälzerwald Substrat und Säurezustand der Quellen. Tümpel- und Sickerquellen wiesen dort als lenitische Quellen eine ähnliche Besiedlung auf, während Sturzquellen unterschiedlich besiedelt waren und sich auf versauerte und unversauerte Quellen auftrugen (HAHN 2000). Unversauerte Quellen wiesen eine rithrophile Fauna auf, während versauerte Quellen eine stärker quellassozierte Fauna besaßen, was auf Säureanpassungen der Quellfauna hinweist. Die eigenen Resultate bestätigen weitgehend die genannten Erkenntnisse und fügen sich in dieses Bild ein. Dies betrifft besonders die Säureanpassungen der Quellfauna. Eine eindeutige Trennung der Fauna ergab sich am ehesten auf Ebene der Grundwasserlandschaft und weniger bei morphologischen Quelltypen, welche eher innerhalb einer hydrogeologischen Einheit von Bedeutung sind. Demnach müssten sehr viele faunistische Quelltypen beschrieben werden.

E 4.5 Referenzzönosen und Leitarten

Als Leitarten eignen sich nur Arten aus naturnahen Quellen, wobei quellassozierte Taxa im Mittelpunkt stehen. Bei Berücksichtigung der Dominanzverhältnisse können besonders häufige Taxa als Leitformen,

seltenere, aber hochstenöke (krenobionte) Taxa als Charakterformen bezeichnet werden (BRAUKMANN 1987). Häufige krenobionte Taxa waren vor allem *Crunoecia irrorata*, *Bythinella dunkeri*, *Niphargus sp.* und *Pisidium personatum*. Sie sind prinzipiell als Leitformen geeignet. Etwas seltener kamen noch *Salamandra salamandra*, *Beraea maura*, *Agabus guttatus*, *Beris sp.* und *Thaumalea sp.* hinzu. *Crenobia alpina* und *Oxycera sp.* waren noch etwas seltener. An krenophilen Arten dominierten *Polycelis felina*, *Sericostoma personatum*, *Nemurella pictetii*, *Beraeidae indet.* und *Anacaena globulus*, ferner *Pedicia sp.*, *Plectrocnemia geniculata*, *Potamophylax nigricornis* sowie seltenere Köcherfliegen. Auch weniger häufige Charakterarten können häufigere Leitformen ergänzen, was speziell für relativ unstetige Quellarten zutrifft. So eignen sich als Charakterarten sehr viele der in Kapitel D 4 genannten krenobionten Taxa. Begleiter sind dagegen mehr eurytope Arten, die in allen Choriotoptypen mit ähnlicher Häufigkeit vorkommen (BRAUKMANN 1987).

GAUTERIN (1999) beschreibt Leitzönosen für einzelne Quellen, was nach GATHMANN (1994) nicht zulässig ist. Demnach verbietet einerseits die Vielfältigkeit der morphologischen Erscheinungsformen und abiotischen Milieubedingungen von Quellen und andererseits die insuläre, notwendig auf viele Einzelstandorte verteilte Verbreitung der in ihnen vorkommenden Organismen die Ausweisung einer einzelnen Quelle als einen Prototypen (GATHMANN 1994). ZOLLHÖFER (1997) betont, dass viele Kennarten in Quellen nur geringe Stetigkeiten aufweisen, so dass ein fehlendes Vorkommen nicht überbewertet werden darf. Die Zoozönosen der drei relativ naturnahen, intensiver untersuchten Quellen von Donnersberg, Westrich und Pfälzerwald wären zwar sehr gut für die Beschreibung von Referenzzönosen geeignet, jedoch ist dies wegen der Einzelaufnahme und dem unsteten Vorkommen von Quellarten nur bedingt sinnvoll, da auch andere naturnahe Quellen des gleichen Naturraums eine verschiedene Besiedlung aufweisen können. Im Anhang sind die Zoozönosen dieser drei Quellen allerdings aufgelistet und können zur Orientierung herangezogen werden. Es ist also eher sinnvoll, Referenzzönosen für größere Regionen zu beschreiben, was im Folgenden versucht wird. Auch hierbei ist es fraglich, in wieweit sich die Leitzönosen in einer Einzelquelle wiederfinden.

Da sich bei der Fauna zeigte, dass insbesondere die Grundwasserlandschaften von Bedeutung sind, wurde versucht, Referenzzönosen für vier mehr oder weniger silikatische Grundwasserlandschaften zu beschreiben. Hierbei wurde es nur als sinnvoll erachtet, wenige sehr stete Quellarten auszuwählen, welche für die Naturnähe eines Quellbiotops stehen. In Karbonatquellen wird neben den bereits erwähnten Leitarten *Polycelis felina* durch *Crenobia alpina* ersetzt, die als Leitart kalkreicherer Quellen zu bezeichnen ist (GAUTERIN 1999). Die Besiedlung der vier Grundwasserlandschaften war nur schwer zu trennen, wobei bei der unterschiedlichen Rangfolge der einzelnen Stetigkeiten der Säurestatus der Quelle eine große Rolle spielen dürfte. Diese Rangfolge wird von den Puffereigenschaften des Gesteins bestimmt, da säureempfindliche Arten durch säureresistente Arten ersetzt werden. So ist z. B. im Taunusquarzit *Bythinella dunkeri* sehr selten. Trotz der unterschiedlichen Rangfolgen wurden die beiden Leitformen *Crunoecia irrorata* und *Polycelis felina* für silikatische Quellen in den Hauptmittelgebirgen von Rheinland-Pfalz ausgewählt. *Polycelis felina* eignet sich als krenophile Art allerdings ebenso gut für Quellbäche. Die etwas seltenere *Bythinella dunkeri* tritt dagegen ausschließlich in Quellen auf, ähnlich *Niphargus sp.*, welcher auch im Grundwasser lebt. Bei Nachweis dieser Arten ist von einer naturnahen und quelltypischen Besiedlung auszugehen, insbesondere bei *B. dunkeri* als stenökster Quellart, die zusätzlich eine fehlende Versauerung anzeigt. Sie erfüllt die Ansprüche einer Leitart insgesamt am besten, wenn sie auch nicht ganz so häufig ist wie *Crunoecia irrorata*.

Grundsätzlich sind auch nach LASAR (1987) naturnahe Biozönosen bei einer größeren Häufigkeit von *Bythinella dunkeri* und auch *Gammarus fossarum* bzw. deren Kombination zu erwarten. *Gammarus fossarum* ist eine Art, die anthropogene Beeinträchtigungen der Struktur wie Wanderhindernisse, Nadelholzmonokulturen und Versauerung nicht erträgt, was auch LASAR (1987) bestätigte. Ein wichtiger Punkt ist hier die Ernährung von Fallaub, die durch anthropogene Einflussfaktoren eingeschränkt oder verhindert wird (KOCH 1989b), was etwa in Fichten-Monokulturen der Fall ist (HERING et al 1993). Der Art kommt somit eine wichtige

Indikatorfunktion in Quellen zu, auch wenn sie nicht quellassoziiert ist. LASAR gibt weiterhin an, dass bei einer höheren Abundanz grundwasserspezifischer Taxa wie *Niphargus sp.* die Bedingungen im oberirdischen Gewässerabschnitt ungünstig für Oberflächenarten sind. Dies konnte selbst etwa am Donnersberg festgestellt werden, wo in grobem Schotter Bachschwinden die Durchgängigkeit unterbrechen und viele Quellen periodisch austrocknen. Die Stygofauna und einige Mollusken tolerieren hingegen eine mehr oder weniger unregelmäßige Wasserführung, was allerdings weniger für *Bythinella* gilt. Hierbei ist zu beachten, dass das Vorkommen jeder Art an eine komplexe Vielfalt abiotischer und biotischer Faktoren geknüpft ist, während ihr Fehlen oft in einem einzigen Faktor begründet ist, z. B. durch einen niedrigen pH-Wert.

Artenkombinationen für eine periodische oder perennierende Schüttung oder für unversauerte oder versauerte Quellen oder gar bestimmte Choriotoptypen sind nur kleinräumig und für Einzelfälle beschreibbar, da die Bedingungen in verschiedenen Quellen zu individuell sind. Die Beschreibung einer kompletten Leitzönose wird deshalb als nicht sinnvoll erachtet. Trotz der Vielfältigkeit einzelner Quellen kann aber eine überregionale Quelltypologie, wie in GAUTERIN (1999) beschrieben, sinnvoll sein, wenn sich auf wenige Leitarten konzentriert wird, die sich in naturnahen Quellen wiederholen. Diese Leitformen wurden in vorliegender Arbeit für die vier Grundwasserlandschaften genannt, insbesondere für rheinland-pfälzische Silikatquellen.

Es war nicht möglich, einzelne Charakterarten für verschiedene Quelltypen zu nennen, eventuell auch deswegen, weil in einer Grundwasserlandschaft meist nur ein Quelltyp dominiert. Da viele naturnahe Referenzquellen im Laubwald liegen, ergaben sich ähnliche Besiedlungsmuster, da die Faunendiversität in der Regel eine Funktion der Habitatdiversität ist und in einer hydrogeologischen Einheit die Diversitätsunterschiede in Laubwaldquellen nur gering sind (vgl. LASAR 1987). Offenlandquellen, die in naturnaher Form praktisch nicht mehr vorliegen, sind als sekundäre Ersatzbiotope separat zu behandeln. Hier ist zu klären, in wie weit deren Besiedlung mit naturnahen Offenlandquellen übereinstimmt, so dass Leitbilder für Offenlandquellen nur schwer ermittelbar sind. Dies gilt auch für ephemere Quellen, welche allgemein häufig sind.

Die Arbeit zeigt insgesamt, dass die Besiedlung von Quellen ein sehr komplexer Vorgang ist und bei den Besiedlungsfaktoren viele fließende Übergänge existieren, so dass die Beschreibung vollständiger Typuszönosen zumindest sehr schwierig ist oder gänzlich in Frage gestellt werden kann. Letztliches Ziel aber ist die Beschreibung naturnaher Quellbiotope als Voraussetzung für die ökologische Aufwertung von Quellen (vgl. SCHINDLER & HAHN 2002b). Hier ermöglicht bereits eine einfache Strukturkartierung die Bewertung einer Quelle und die Ableitung von Maßnahmen. Und da bereits durch kleine Eingriffe ein deutlicher Schub in Richtung Naturnähe einsetzen kann, z. B. durch eine schonende und sukzessive Fichtenentnahme oder das Ersetzen einer Verrohrung durch eine Furt, sollte eine Umsetzung von Quellschutzmaßnahmen nicht durch methodische Probleme bei der Leitzönosenermittlung aufgehalten werden. Neben der Renaturierung geschädigter Quellen ist insbesondere der Schutz noch intakter Quellbiotope anzustreben, da die letzten naturnahen Quellbiotope weit auseinanderliegen und mit zunehmendem Artenschwund zu rechnen ist. Hier soll die vorliegende Arbeit einen Beitrag leisten, damit naturnahe Quellstrukturen wieder bewusst gemacht werden und das Netz dieser besonderen Fließgewässerbiotope wieder engmaschiger wird.

F Zusammenfassung

Basierend auf den Daten von 334 natürlichen und anthropogen veränderten Quellen aus allen Grundwasserlandschaften von Rheinland-Pfalz, analysiert die vorliegende Arbeit Zusammenhänge zwischen Eigenschaften des Einzugsgebietes wie Geologie und Landnutzung, des Umfeldes, der Morphologie und Struktur und der Hydrochemie hinsichtlich der besiedlungsrelevanten Faktoren für die Quellfauna. Dabei lag ein Schwerpunkt auf der aquatischen Makrofauna, die sowohl die Wasser- als auch die Strukturqualität widerspiegelt und große Bedeutung für die Beurteilung von Quellbiotopen hat. Fragen der Arbeit waren neben der naturräumlichen Verteilung von Quellarten mögliche Anpassungen an die Versauerung, die Frage nach der Besiedlung von Quellfassungen und nach Auswirkungen anthropogener Umfeldveränderungen. Es wurden Schlüsselparameter bei den Strukturmerkmalen hinsichtlich der Naturnähe herausgearbeitet und die Quellen morphologisch und faunistisch bewertet und die Ergebnisse verglichen. Außerdem wird eine morphologische Typologie der Quellen des Landes gegeben und Referenzquellen herausgefiltert und ausgewertet. Weiterhin werden faunistische Referenz- bzw. Leitarten für ausgewählte Quellräume vorgeschlagen.

Infolgedessen bildet die Arbeit einen Ansatz für die morphologische und faunistische Leitbildentwicklung in Rheinland-Pfalz. Ein wichtiger Teil ist das eigene, kompakte Kartier- und Bewertungsverfahren zur Quellstruktur, wo bislang noch ein Defizit bestand. Dieses Verfahren erfasst in einem Erfassungsbogen alle ökologisch bedeutsamen Strukturparameter und bewertet diese in einem fünfstufigen System. Die Ergebnisse dieser Arbeit sollen die Grundlagen für die Umsetzung von Quellschutzmaßnahmen liefern, so dass im Sinne der Naturschutzforschung auch naturschutzfachliche Aspekte in die wissenschaftlichen Analysen eingehen.

Die beprobten Quellen stellen nur einen sehr geringen Anteil der Quellen in Rheinland-Pfalz dar. Knapp zwei Drittel der vorwiegend perennierenden Quellen lagen im Wald, etwa 59 % von ihnen waren gefasst. Trotz des hohen Bewaldungsgrades befand sich nach dem Strukturverfahren nur noch etwa ein Drittel in naturnäherem Zustand (Klasse 1 und 2). Etwa zwei Drittel der Quellen waren mehr oder weniger beeinträchtigt bis stark geschädigt. Die landesweit repräsentative Strukturbewertung ergab in der Kartierung etwa 14 % naturnahe, 19 % bedingt naturnahe, 22 % mäßig beeinträchtigte, 24 % geschädigte und 21 % stark geschädigte Quellen. Geschädigte und gefasste Quellen häuften sich in anthropogen überprägten Regionen wie in Flächen mit intensiver Landwirtschaft und um Siedlungsräume. Nadelholzmonokulturen bildeten eine weitere Schädigungsursache. Fassungen, Verrohrungen, Betonverbau waren ökologisch besonders bedeutsam, aber auch Ablagerungen, Aufstau und starker Besucherdruck hatten Verschlechterungen der Struktur zur Folge. Die Größe der Quellbiotope war bei gefassten Quellen und in Regionen mit intensiver Landwirtschaft am geringsten. Die Analyse anthropogener Strukturveränderungen zeigte, dass Alter und Zustand einer Fassung sehr starken Einfluss auf die Besiedlung haben und alte und verfallene Fassungen oft eine bessere Strukturbewertungsklasse aufweisen als neue Fassungen mit stärkerer Unterhaltung. Außerdem lagen naturnahe Quellen häufig in Laub- und Mischwald sowie in extensivem Grünland und wiesen viele Substrattypen und besondere, quelltypische Strukturen auf. Folgen von Wasserentnahmen wurden nicht quantifiziert, trotzdem ergaben sich Hinweise auf das Versiegen von Quellen im Umfeld von Entnahmestellen.

Die morphologische Quelltypologie schlug in elf abgegrenzten hydrogeologischen Quelltypenräumen vier Basisquelltypen und fünf geochemische Sondertypen vor, die sich in erster Linie auf gängige Quelltypen stützen. Die Wanderquelle wurde neu hinzugenommen. Die landesweite Verteilung der Quelltypen ergab bei ungefassten Quellen ungefähr 57 % Sicker-, 32 % Sturz-, 9 % Tümpel- und 2 % Wanderquellen. Wanderquellen dürften aber noch öfter vorkommen. Das Relief und die Substrateigenschaften, die durch die Geologie bestimmt werden, sind entscheidende Faktoren für die Typologie. Waren Sturzquellen vor allem im Buntsandstein zu finden, dominieren Sickerquellen im Tonschiefer des rheinischen Schiefergebirges beider-

seits des Rheins. Außerdem wurden 85 charakteristische Strukturreferenzquellen für Rheinland-Pfalz benannt, welche typische, naturnähere Beispiele in den einzelnen Quelltypenräumen darstellen.

Schüttung und Morphologie der Quellen sind von Naturraum und Grundwasserlandschaft abhängig, so dass Buntsandsteinquellen ergiebiger und konstanter schütteten als Tonschieferquellen. Letztere sind zwar häufiger (größere Quelldichte), oft aber periodisch. Die mittlere Schüttung aller Quellen lag bei 2,9 l/s, am stärksten schütteten Hangfußquellen. Im Winterhalbjahr von Dezember bis Mai war die Schüttung deutlich höher als im Sommerhalbjahr von Juni bis November. Neben den hydrochemischen Eigenschaften spiegeln Quellen auch die Hydrologie ihrer Einzugsgebiete wider, welche stark von dessen Nutzung und Bodeneigenschaften abhängig ist. Die Hydrochemie unterlag in einzelnen Quellen nur geringen jahreszeitlichen Schwankungen, in verschiedenen hydrogeologischen Einheiten differierten aber die chemischen Parameter recht stark. Die Wassertemperatur der Quellen lag im Schnitt bei 9,1 °C, wobei Isothermie nur bei stärker schüttenden Quellen im Hauptwasserkörper zu erwarten ist, während die mittlere Sauerstoffsättigung generell mit 86 % recht hoch war, da sich das Quellwasser nach dem Austritt schnell mit Luftsauerstoff sättigt. Der pH-Wert ist stark von den Puffereigenschaften der Böden abhängig und im Quellwasser versauerungsgefährdeter Gebiete wie dem Hunsrück mit devonischem Quarzit und dem Pfälzerwald mit Buntsandstein häufig sehr niedrig. Der Median aller Quellen lag bei pH 6,6. und reichte von pH 7,6 im Schichtstufenland bis zu pH 5,7 im Südlichen Hunsrück. Versauerungskorreliert waren verschiedene Metallionen wie Aluminium und Mangan. Ebenfalls abhängig von der Geologie waren Karbonathärte, Leitfähigkeit, Kalzium und Magnesium, die örtlich stärker schwankten. Mit den Bodeneigenschaften gekoppelt ist auch der Nitratgehalt, dessen Erhöhung anthropogen bedingt ist, besonders in intensiv landwirtschaftlich genutzten Räumen. Nach der EU-Grundwasserrichtlinie führt Grundwasserversauerung und Nitratreintrag zu einer Beeinträchtigung der Grundwasserkörper und somit zu einem Handlungsbedarf, wobei Quellen wichtige Messpunkte bilden.

Quellen weisen als hochdiverse Lebensräume eine stark spezialisierte Fauna (konkurrenzschwache Arten, endemische Glazialrelikte) mit kleineren Populationen in isolierter Lage auf, was die Neubesiedlung nach Störungen erschwert. Bei der Untersuchung der 310 Quellen wurden insgesamt 292 Arten bzw. höhere Taxa des Makrozoobenthos nachgewiesen. Es wurden 89 quellasoziierte Taxa gezählt, hiervon waren 24 krenobiont und 65 krenophil. Der Anteil der quellasoziierten Fauna an der Gesamtf fauna lag bei über 30 %. Es fanden sich 19 Erstnachweise für Rheinland-Pfalz, 9 besondere Nachweise (seltene Arten) und 19 Rote-Liste-Arten. Erstnachweise fanden sich in den noch wenig bearbeiteten Dipteren Gruppen, vor allem bei den Psychodidae, Limoniidae und ferner bei den Simuliidae. Bei den Köcherfliegen wurden etliche seltene Arten gefunden, welche bisher in Rheinland-Pfalz kaum gefunden wurden. Häufigere krenobionte Taxa waren *Crunoecia irrorata*, *Bythinella dunkeri*, *Niphargus sp.*, *Pisidium personatum*, *Salamandra salamandra*, *Thaumalea sp.*, *Agabus guttatus*, *Crenobia alpina*, *Oxycera sp.* und *Beraea maura*. Die durchschnittliche Taxazahl pro Quelle betrug 11, die maximale 62 Taxa. Hinsichtlich der Besiedlung wurden deutliche Unterschiede zwischen den Naturräumen festgestellt, wobei auch biogeographische Aspekte von Bedeutung sind.

Die Zusammensetzung der Zoozönosen wird durch die Geologie, die Hydrochemie, die Schüttungsverhältnisse, die Landnutzung im Einzugsgebiet sowie die Strukturvielfalt an der Quelle beeinflusst, was anhand wichtiger Quellarten dargestellt wird. Einzelne Faktoren mit Einfluss auf die Besiedlung wurden und ihrer Auswirkung getestet. Als wichtig stellten sich bei der Hydrochemie der pH-Wert und die Leitfähigkeit sowie die Carbonathärte heraus. Ein Beispiel für das komplexe Faktorenggefüge der Besiedlungsbedingungen in Quellen ist die Versauerung, die grundsätzlich besiedlungsbeschränkend ist. Sie tritt besonders in Hochlagen pufferarmer Mittelgebirge wie Hunsrück und Pfälzerwald auf und überlagert strukturelle Faktoren. Bei niedrigen pH-Werten kommt es zu hohen Konzentrationen versauerungskorrelierter Inhaltsstoffe wie Aluminium oder Mangan. Niedrige pH-Werte äußern sich in verminderten Taxazahlen, da unterhalb von pH 5,5 säureempfindliche Arten ausfallen. Allerdings sind einige Quellorganismen offensichtlich an eine gewisse Ver-

sauerung angepasst, was z. B. für *Crunoecia irrorata* gilt. In versauerten Quellen waren generell zwar weniger Taxa enthalten, der Anteil der Quelltaxa war aber recht hoch, was die These einer versauerungsangepassten Quellfauna bestätigt. Außerdem ergab die Untersuchung, dass gefasste Quellen weniger Taxa und Quelltaxa aufweisen, was insbesondere für neue und intakte Fassungen gilt. Es stellte sich heraus, dass eine Reihe von alten gefassten sowie verfallene Fassungen quelltypisch besiedelt waren und oft eine hohe Quelltaxazahl vorlag, so dass diese als sekundär ökologisch wertvoll zu bezeichnen sind. Weitere Schädigungen, die eine Verminderung der Taxazahl als auch eine negative Quellstrukturbewertung zur Folge hatten, sind verschiedene Formen des Verbaus wie Verrohrungen oder Trittschäden. Strukturell unveränderte und unversauerte Quellen besaßen im Schnitt höhere Taxazahlen, wobei viele Substrattypen, Strömungszustände und besondere Strukturen positive Auswirkungen hatten. Die Umfeldnutzung und die Größe des Quellbereichs spielen ebenfalls eine wichtige Rolle für die Besiedlung, so dass Quellen in Laub- und Mischwald sowie in extensivem Grünland am besten besiedelt waren. Dies gilt auch für die Quelltaxa. Die stärksten statistischen Zusammenhänge mit der faunistischen Besiedlung hatten die Bewertungsergebnisse des Strukturverfahrens.

Im faunistischen Bewertungsverfahren nach FISCHER dominierten Quellen mittleren Hemerobiegrades. Die Besiedlungszahlen bestätigten grundsätzlich die Ergebnisse des FISCHER-Verfahrens. Es existiert ein Bruch zwischen Quellen der stark geschädigten Klasse mit sehr wenigen Arten und den anderen Klassen. Das Verfahren korrelierte mit der Schüttung, der Anzahl Substrattypen, besonderer Strukturen (mikrohabitatbestimmende Faktoren) und der Anzahl Quelltaxa und besonders mit der Strukturbewertung. Von den beiden weiteren getesteten faunistischen Verfahren lieferte der modifizierte Krenon-Typie-Index brauchbare Ergebnisse, was beim Benthos-Index nicht der Fall war. Ersterer zeigte eine pessimistischere Bewertung der Quellen als das FISCHER-Verfahren. Insgesamt waren die stärksten faunistischen Schädigungen auf landwirtschaftliche Veränderungen zurückzuführen. Die mit den geschilderten Verfahren herausgefilterten naturnäheren Quellen wurden multivariaten statistischen Methoden unterzogen, die der Ermittlung von Besiedlungsfaktoren und der Leitbildentwicklung dienten. Es ergab sich eine unterschiedliche Besiedlung bei verschiedener Hydrogeologie und Hydrochemie sowie bei verschiedenen Quelltypen. Allerdings waren die Ergebnisse nicht eindeutig, so dass die Trennung der Quelltypen nur teilweise gelang und die Quelltypen von den Grundwasserlandschaften überlagert waren. Die Faunenunterschiede verschiedener Regionen sind größer als die einer Region, so dass morphologische Quelltypen faunistisch nur innerhalb einer hydrogeologischen Einheit von Bedeutung sind. Es wurden regionale faunistische Leitarten für vier Grundwasserlandschaften genannt, wobei sich auf wenige hochstete Quellarten beschränkt wurde. Die Arbeit zeigt, dass faunistisch orientierte Leitbilder nur unter Schwierigkeiten anzugeben sind und vollständige Typuszönosen für größere Gebiete grundsätzlich in Frage zu stellen sind. Sehr häufige grundsätzliche Leitarten für Quellen silikatischer Mittelgebirge in Rheinland-Pfalz sind *Crunoecia irrorata*, *Bythinella dunkeri*, *Niphargus sp.* und *Pisidium personatum*, seltenere Leitarten sind *Salamandra salamandra*, *Beraea maura*, *Agabus guttatus*, *Beris sp.* und *Thaumalea sp.* hinzu. Je nach Kalkgehalt und Biogeographie ist noch *Crenobia alpina* zu ergänzen.

Die Ergebnisse dieser Arbeit schaffen Voraussetzungen für den Schutz von Quellen, insbesondere bei der Bewertung von Quellbiotopen. Es bleiben aber noch Fragen offen, speziell hinsichtlich genauer Leittypen. Da Quellbiotope zu den am stärksten bedrohten Lebensräumen Mitteleuropas gehören, ist weiterer Forschungsbedarf gegeben. Neben der Renaturierung geschädigter Quellen ist insbesondere der Schutz noch intakter Quellbiotope vorrangig.

G Literaturverzeichnis

a) Zitierte Literatur:

- AESCHBACH-HERTIG, W., KIPFER, R., HOFER, M., IMBODEN, D.M., WIELER, R. & SIGNER, P. (1996): Quantification of gas fluxes from the subcontinental mantle: The example of Laacher See, a maar lake in Germany. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol. 60, No. 1, 31-41
- AG BODEN (1994): *Bodenkundliche Kartieranleitung*. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe und den Geologischen Landesämtern der Bundesrepublik Deutschland, Hannover
- ALBERT, H. (2000): *Kritischer Rationalismus. Vier Kapitel zur Kritik illusionären Denkens*. Tübingen
- ALF, A. & BRAUKMANN, U. (1992): *Handbuch Wasser 2: Biologisch-ökologische Gewässeruntersuchung, Arbeitsanleitung*. Zentraler Fachdienst Wasser - Boden - Abfall- Altlasten bei der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe
- ANDREE, C., LISCHEWSKI, D. & TIMM, T. (1996): *Bewertungsverfahren Umfeld und Chemismus an Quellen*. *Crunoecia* 5, 215-226, Verlag Natur und Wissenschaft, Solingen
- AURAND, K. (1991): *Die Trinkwasser-Verordnung, Einführung und Erläuterungen für Wasserversorgungsunternehmen und Überwachungsbehörden*. Erich Schmidt-Verlag, Berlin
- BAUMGARTNER, A. & LIEBSCHER H.-J. (1996): *Allgemeine Hydrologie. Lehrbuch der Hydrologie, Band 1*, Gebrüder Borntraeger, Berlin
- BAUR, A. (1989): *Brunnen - Quellen des Lebens und der Freude. Technik, Geschichte, Geschichten*. Oldenbourg, München
- BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT (2003): *Aktionsprogram Quellen in Bayern. Faltblatt der Projektgruppe Aktionsprogramm Quellen*, München
- BEIERKUHNEIN, C. (1996): *Biomonitoring mit Quellen der silikatischen Mittelgebirge*. *Crunoecia* 5, 141-151. Verlag Natur und Wissenschaft, Solingen
- BEIERKUHNEIN, C. & GRÄSLE, G. (1993): *Zum Temperaturverhalten von Waldquellen des Frankenwaldes (Nordost-Bayern)*. *Crunoecia* 2, 5-14. Verlag Natur und Wissenschaft, Solingen
- BENECKE, P. (1997): *Die Versauerung bewaldeter Wassereinzugsgebiete*. *Geowissenschaften in unserer Zeit* 5, 19-26, VCH Verlagsgesellschaft Weinheim
- BIRNINGER, D. (1989): *Biogeographische Bewertung saarländischer Quellen-Ökosysteme. Typologisierungsmöglichkeiten der Quellen (Schwerpunkt chemisch-physikalische Parameter)*. Diplomarbeit, Universität Saarbrücken
- BISS, R. (1999): *Quellen und Quelbereiche. 1. Aufl. Biotope in Baden-Württemberg* 12, Landesamt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe
- BISS, R., KÜBLER, P., PINTER, I. & BRAUKMANN, U. (2002): *Leitbildbezogenes biozönotisches Bewertungsverfahren für Fließgewässer in der Bundesrepublik Deutschland - Ein erster Beitrag zur integrierten ökologischen Fließgewässerbewertung*. Umweltforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Forschungsbericht 29824777, Berlin
- BLAUSCHECK, R. (1992): *Quellen - Naturschutz von Anfang an*. Naturschutzzentrum Hagen (Hrsg.), Essen
- BOHLE, H. W. (1995): *Limnische Systeme*. Thieme, Stuttgart
- BOTOSANEANU, L. (1998): *Studies in Crenobiology. The biology of springs and spring brooks*. Brill, Backhuys, Leiden

G Literaturverzeichnis

- BRAUKMANN, U. (1987): Zoozöologische und saprobiologische Beiträge zu einer allgemeinen regionalen Bachtypologie. Ergebnisse der Limnologie, Heft 26, Schweizerbart, Stuttgart
- BRAUKMANN, U. (1993): Biologische Indikation und Kartierung des Säurezustandes kleiner Fließgewässer in Baden-Württemberg. Deutsche Gesellschaft für Limnologie, Zusammenfassung der Jahrestagung 1993, S. 70
- BRAUKMANN, U. (1998): Zoozöologische Typisierung von Fließgewässern in Baden-Württemberg. In: Integrierte ökologische Gewässerbewertung - Inhalte und Möglichkeiten, Oldenbourg München
- BREHM, J. & MEIJERING, M.P.D. (1982): Zur Säureempfindlichkeit ausgewählter Süßwasserkrebse (Daphnia u. Gammarus, Crustacea). Archiv für Hydrobiologie Band 95, 17-27
- BUND, LANDESVERBAND RHEINLAND-PFALZ (1999): Quellen im Biosphärenreservat Pfälzerwald. Faltblatt, BUND, Landesverband Rheinland-Pfalz e.V., Ministerium für Umwelt und Forsten, Biosphärenreservat Naturpark Pfälzerwald
- BURMEISTER, H. (1992): Trichoptera. Informationsbericht d. Bayer. Landesamts für Wasserwirtschaft 2/88, 185-227 (2. Aufl.), München
- CREMA, S., FERRARESE, U, GOLO, D., MODENA, P., SAMBUGAR, B. & GERECKE, R. (1996): Ricerche sulla fauna bentonica ed interstiziale di ambienti sorgentizi in area alpina e pre-alpina (A research on benthonic and interstitial fauna in Alpine and pre-Alpine springs). Centro di Ecologia Alpina, Report N. 8, Trento
- DEPARTMENT OF LAND & WATER CONSERVATION (2002): The NSW State Groundwater Dependent Ecosystems Policy. Department of Land & Water Conservation, Sydney (Australia)
- DIN 38410 (1990): Biologisch-ökologische Gewässeruntersuchung, Teil 2. Gruppe M, M2, Bestimmung des Saprobienindex, DIN zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung, 1-18
- DIN 4049 (1994): Wasserwesen - Begriffe, Normen. Beuth, Berlin et al., DIN Taschenbuch 211
- DWD, DEUTSCHER WETTERDIENST (1957): Klimaatlas Rheinland-Pfalz. Bad Kissingen, Erl. AT-019
- DWD, DEUTSCHER WETTERDIENST (1996): Klimadaten von Deutschland. Offenbach
- DWD, DEUTSCHER WETTERDIENST (1999): Witterungsreport 1999. Offenbach
- EBHARDT, G. (1980): Häufigkeitsverteilung, Autokorrelation und Jahresgang der Abflüsse badischer Quellen. Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft 131, 255-268, Hannover
- EISENBEIS, G. & WICHARD, W. (1985): Atlas zur Biologie der Bodenarthropoden. G. Fischer Stuttgart
- EU, KOMMISSION DER EUROPÄISCHEN GEMEINSCHAFTEN (1998): Richtlinie 98/93/EG des Rates vom 03.11.1998 über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch. Amtsblatt der EG Seite L 330/32 vom 05.12.1998
- EU, KOMMISSION DER EUROPÄISCHEN GEMEINSCHAFTEN (2003): Entwurf: Vorschlag für eine Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates zum Schutz des Grundwassers vor Verschmutzung. Brüssel
- EU, KOMMISSION DER EUROPÄISCHEN GEMEINSCHAFTEN (2000): Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik, Luxemburg.
- FERRINGTON, L. C. JR. (ED) (1995): Biodiversity of aquatic insects and other invertebrates in springs. Journal of the Kansas Entomological Society 68, 2, Suppl. Special Publ. No. 1
- FIEDLER-WEIDMANN, B. & HAHN, H. J. (1996): Quellbiotopkartierung im Buntsandstein des Pfälzerwaldes. Fachgutachten des Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland, Landesverband Rheinland-Pfalz e. V. im Auftrage des Ministeriums für Umwelt und Forsten Rheinland-Pfalz
- FINCK, P., HAMMER, D., KLEIN, M., KOHL, A., RIECKEN, U., SCHRÖDER, E., SSYMANK, A. & VÖLKL, W. (1992): Empfehlungen für faunistisch ökologische Datenerhebungen und ihre naturschutzfachliche Bewertung im Rahmen von Pflege und Entwicklungsplänen für Naturschutzgroßprojekte des Bundes. Natur u. Landschaft, 67 (7/8): 329-340

- FISCHER, F. (1991): Faunistische und ökologische Untersuchungen an Waldquellbiotopen im Marburger Raum. Diplomarbeit am Fachbereich Biologie der Philipps-Universität, Marburg
- FISCHER, F. (1996c): Repräsentativer Überblick über Stand, Bedarf und Tätigkeit in der Quellforschung in Deutschland - Literatur-Review. Literaturstudie innerhalb des Verbundprojektes REGNAL, Fachber. Biologie-Zoologie, Philipps-Universität Marburg
- FISCHER, J. (1993): Hygropetrische Faunenelemente als Bestandteile naturnaher Quellbiotope. *Crunoecia* 2, 69 - 78. Verlag Natur und Wissenschaft, Solingen
- FISCHER, J. (1994): Zum Vorkommen von Eintagsfliegen in Quellen der deutschen Mittelgebirgsregion. *Crunoecia* 3, 49-53. Verlag Natur und Wissenschaft, Solingen
- FISCHER, J. (1996a): 1. Bewertungsverfahren Fauna.. *Crunoecia* 5, 227-240. Verlag Natur und Wissenschaft, Solingen
- FISCHER, J. (1996b): Kaltstenothermie - einziger Schlüssel zum Verständnis der Krenobionten?. *Crunoecia* 5, 91-96. Verlag Natur und Wissenschaft, Solingen
- FISCHER, J. & SCHNABEL, S. (1995): Die Besiedlungsstruktur naturnaher Waldquellen am Beispiel der Diptera. *Crunoecia* 4, 55-60. Verlag Natur und Wissenschaft, Solingen
- FISCHER, J., FISCHER, F., SCHNABEL, S. WAGNER, R. & BOHLE, H. W. (1998): Die Quellfauna der hessischen Mittelgebirgsregion. Besiedlungsstruktur, Anpassungsmechanismen und Habitatbindung der Makroinvertebraten am Beispiel von Quellen aus dem Rheinischen Schiefergebirge und der osthessischen Buntsandsetinlandschaft. In: BOTOSANEANU, L. (Hrsg.): *Studies in Crenobiology. The biology of springs and spring brooks*, Brill, Backhuys, Leiden, S. 183 - 197
- FISCHER, J., HERING, D., HOFFMANN, A., WIDDIG, T. & BOHLE H.-W. (1992): Beitrag zur Kenntnis der Wasserinsektenfauna Nordwest-Hessens, Teil 1: Köcherfliegen (Trichoptera). *Lauterbornia* 12, 21-55
- FISCHER, J., SCHNABEL, S. & WAGNER, R. (1995): Die Dipterenemergenz naturnaher Waldquellen im Gladenbacher Bergland (Hessen). *Studia dipterologica* 2, 27 - 50
- GATHMANN, O. (1994): Faunistische und zooökologische Untersuchungen an Quellen in der Rhön. Diplomarbeit am Fachbereich Biologie der Philipps-Universität, Marburg
- GAUTERIN, H. (1999): Vorschlag zu einer überregionalen faunistischen Quelltypologie mit einer Beschreibung der *Crenobia alpina-Bythinella dunkeri*-Zönose. In: *Crunoecia* 6, 67-72
- GFQ, GESELLSCHAFT FÜR QUELLÖKOLOGIE UND QUELLSCHUTZ (1993): Hinweise zur Besammlung und Bewertung von Quellen. Gesellschaft für Quellökologie und Quellschutz, LÖLF NRW, Naturschutzzentrum Recklinghausen
- GFQ, GESELLSCHAFT FÜR QUELLÖKOLOGIE UND QUELLSCHUTZ (HRSG.) (1992-1999): *Crunoecia*, Zeitschrift der Gesellschaft für Quellökologie und Quellschutz NRW. Verlag Natur und Wissenschaft, Solingen
- GÜLICH, J. (1998): Voruntersuchungen zur Errichtung eines Quellschutz-Lehrpfades im östlichen Teil des Leuscheid. Unveröff. Bericht im Auftrag der BUND-Kreisgruppe Altenkirchen und der Verbandsgemeinde Altenkirchen
- GÜMBEL, D. (1976): Emergenz-Vergleiche zweier Mittelgebirgsquellen. *Schlitzer Produktionsbiologische Studien* 18. Archiv für Hydrobiologie, Supplement 50, 1-53
- HAHN, H. J. (2000): Studies on classifying of undisturbed springs in Southwestern Germany by macrobenthic communities. *Limnologica* 30, 247-259
- HAHN, H. J. & SCHINDLER, H. (2001): Wasser im Pfälzerwald als Lebensraum, Wirtschafts- und Kulturgut. *Annales scientifiques de la Réserve de Biosphère transfrontalière Vosges du Nord - Pfälzerwald* - 9, 39-61
- HAHN, H. J., PREUSS, G. & FRIEDRICH, E. (1998): Wie sauer ist das Wasser im Pfälzerwald wirklich? Betrachtungen zum Versauerungsgeschehen im Pfälzerwald. *Mitt. d. Pollichia* 85, 19 - 34
- HAYBACH, A. (1992): Faunistische und ökologische Untersuchungen an ausgewählten Fließgewässern im Nordpfälzer Bergland. Diplomarbeit der Universität Mainz, FB Biologie (unveröff.)

- HEBAUER, F. (1980): Beitrag zur Faunistik und Ökologie der Elminthidae und Hydraenidae in Ostbayern (Coleoptera). Mitt. Münch. Ent. Ges. 69, 29-80, München
- HEBAUER, F. (1992): Rote Liste gefährdeter Wasserkäfer (Hydradephaga, Palpicornia, Dryopoidea) Bayerns. Bayer. Landesamt für Umweltschutz (Hrsg.), Schriftenreihe 111 (Beiträge zum Artenschutz) 15, 110-115, München
- HEBAUER, F. (1994): Entwurf einer Entomosoziologie aquatischer Coleoptera in Mitteleuropa. Lauterbornia 19, 43-57
- HEBLIK, D., KLEIN, F. & KÖSTER, U. (1992): Lebensraum Quelle. Naturschutzzentrum Hessen e.V., Wetzlar
- HENNINGS, H. H. & SCHEFFER, B. (2000): Zum Nitrataustrag ins Grundwasser - Stand der Erkenntnisse. Wasserwirtschaft 90, 7-8
- HERING, D., REICH, M. & PLACHTER, H. (1993): Auswirkungen von gleichaltrigen Fichten-Monokulturen auf die Fauna von Mittelgebirgsbächen. Z. f. Ökologie und Naturschutz 2, 31-42, G. Fischer, Stuttgart
- HEWELT, D., ALBERTI, O. & BRAUN, U. (1998): Quellenkartierung im Kaltbachtal bei Nassau. Zweckverband Naturpark Nassau, unveröff. Bericht, Nassau
- HINTERLANG, D. (1992): Vegetationsökologie der Weichwassergesellschaften zentraleuropäischer Mittelgebirge. Crunoecia 1, 25-37. Verlag Natur und Wissenschaft, Solingen
- HINTERLANG, D. (1993): Bewertungsverfahren Flora und Vegetation an Quellen. Crunoecia 2, 25-37. Verlag Natur und Wissenschaft, Solingen
- HINTERLANG, D. (1996): Quellbewertung - Verfahrensteil Flora und Vegetation, erste Fortschreibung. Crunoecia 5, 241-253. Verlag Natur und Wissenschaft, Solingen
- HINTERLANG, D. & LISCHEWSKI, D. (1993): Quellbewertungsverfahren - Konzeption, Stand der Entwicklung und Ausblick. Crunoecia 2, 15-23. Verlag Natur und Wissenschaft, Solingen
- HOCH, K. (1956): Wasserkäfer aus der Quellregion einiger Hunsrück- Bäche bei Kastellaun. Decheniana 108, 225 - 234
- HOFFMANN, K. (1992): Anthropogene Belastungen ausgewählter Fließgewässer der Rheinpfalz. Dissertation der Universität Mainz
- HOFFSTEN, P.-O. & MALMQVIST, B. (2000): The macroinvertebrate fauna and hydrogeology of springs in central Sweden. Department of Ecology and Environmental Science, Umea University, SE 901 - 87 Umea, Sweden
- HOHENBERGER, E. (1989): Feuchtgebiete. Quellen, Flüsse, Seen, Moore. O. Maier, Ravensburg
- HÖLTING, B. (1989): Hydrogeologie. Einführung in die allgemeine und angewandte Hydrogeologie. Enke, Stuttgart
- HUTTER, C.-P., KONOLD, W. & SCHREINER, J. (1996): Quellen, Bäche, Flüsse und andere Fließgewässer. Weitbrecht in Thienemann, Stuttgart
- HÜTTER, L. A. (1994): Wasser und Waseruntersuchung. 5. Auflage, Verlag Saale und Verlag Sauerländer, Frankfurt am Main; Aarau; Salzburg
- ILLIES, J. (1952): Die Mölle. Faunistisch-ökologische Untersuchungen an einem Forellenbach im Lipper Bergland. Archiv für Hydrobiologie, Supplement 46, 424-612, Stuttgart
- ILLIES, J. (1961): Versuch einer allgemeinen biozönotischen Gliederung der Fließgewässer. Internationale Revue der gesanten Hydrobiologie Nr. 46 (2), 205-213, Berlin
- ILLIES, J. & BOTOSANEANU, L. (1963): Problèmes et méthodes de la classification de la zonation écologique des eaux courantes, considérées surtout du point de vue faunistique.. Mitteilungen der internationalen Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie 12, 1 - 57
- JAX, K. (2003): Wozu braucht der Naturschutz die wissenschaftliche Ökologie? - Die Kontroversen um den Hudson River als Testfall. Natur und Landschaft - 78. Jahrgang, Heft 3

G Literaturverzeichnis

- JUNGBLUTH, H. J. (1971): Untersuchungen an *Bythinella compressa* (Frauenfeld) und *Bythinella dunkeri* (Frauenfeld) (Mollusca: Prosobranchia). Dissertation, Universität Gießen, Gießen
- JUNGBLUTH, H. J. (1972): Die Verbreitung und Ökologie des Rassenkreises *Bythinella dunkeri* (Frauenfeld) (Mollusca: Prosobranchia). Archiv für Hydrobiologie Nr. 70 (2), 230-273, Stuttgart
- KAPPES, H. & CÖLLN, K. (1997): Süßwassermullosken (Mollusca: Gastropoda et Bivalvia) aus dem Ortsbereich und der Umgebung von Gönnersdorf/Eifel. Dendrocopos 24, 119-132
- KAPPES, H., ZAENKER, S. & CÖLLN, K. (2002): Vorkommen von *Niphargus schellenbergi* KARAMAN, 1932 (Crustacea: Amphipoda) in der Eifel. Fauna Flora Rheinland-Pfalz 9, Heft 4. 1203-1210, Landau
- KEILHACK, R. (1953): Lehrbuch der Grundwasser- und Quellenkunde. Berlin
- KOCH, K. (1989a): Die Käfer Mitteleuropas. Ökologie. Bd. 1, Goecke & Evers, Krefeld
- KOCH, K. D. (1989b): Ernährungsökologische Untersuchungen an *Gammarus pulex* L. und *Gammarus fossarum* Koch, 1835 (Crustacea, Amphipoda) in einem Wiesenbach und einem Waldbach. Dissertation. Justus Liebig Universität. Gießen
- KRATOCHWIL, A. & SCHWABE, A. (2001): Ökologie der Lebensgemeinschaften. E. Ulmer, Stuttgart
- KRIETER, M. (1991): Ökosystemare Untersuchungen zur Boden- und Gewässerversauerung im südlichen Taunus und Hunsrück. Habilitationsschrift, Mainz
- KRÜGER, K. (1996): Quellbereiche in Brandenburg. Verein für Natur und Umwelt "Adonishänge" e.V., Lebus
- KURECK, A. (1967): Über die tagesperiodische Ausdrift von *Niphargus aquilex schellenbergi* KARAMAN aus Quellen. Zeitschrift für Morphologie und Ökologie der Tiere Nr. 58, 247-262, Berlin
- LAMPERT, W. & SOMMER, U. (1993): Limnoökologie. Thieme. Stuttgart
- LASAR, R. (1987): Physiographie und Biozönotik naturnaher und anthropogen belasteter Quellen im Bergischen Land. Inaugural-Dissertation der Math.-Naturw. Fakultät der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität, Bonn
- LAUKÖTTER, G., LISCHESKI, D. & HINTERLANG, D. (1992): Quellschutz. Broschüre des Naturschutzzentrums Nordrhein-Westfalen, Recklinghausen
- LAWA (LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT WASSER) (1994): Grundwasser, Richtlinien für Beobachtung und Auswertung; Teil 4: Quellen. Unveröffentlicher Entwurf (E 3/94) zur Grundwasserrichtlinie Quellen
- LAWA (LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT WASSER) (1998): Gewässerstrukturgütekartierung in der Bundesrepublik Deutschland. Mit Arbeitsanleitung
- LFW, LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT RHEINLAND-PFALZ (1989): Grundwasserbeschaffenheit (Grundwassermessnetz). Mainz
- LFW, LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT RHEINLAND-PFALZ (1991): Grundwasserversauerung in Rheinland-Pfalz. Mainz
- LFW, LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT RHEINLAND-PFALZ (1999): Gewässertypenatlas Rheinland-Pfalz. Grundlagen der Gewässerentwicklung in Rheinland-Pfalz, Heft 1, Landesamt für Wasserwirtschaft, Mainz
- LFW, LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT RHEINLAND-PFALZ (2000): Grundwasserbericht 2000 Rheinland-Pfalz. Mainz
- LFW, LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT RHEINLAND-PFALZ (2002): Quelltypenatlas Rheinland-Pfalz. Grundlagen der Gewässerentwicklung in Rheinland-Pfalz, Heft 2, Landesamt für Wasserwirtschaft, Mainz
- LIEDTKE, H. (1981): Die nordischen Vereisungen in Mitteleuropa. Zentrallausschuss für dt. Landeskunde (Forschungen 204, 2. Aufl.), Trier

- LINDEGAARD, C. & THORHUP, J. (1975): The invertebrate fauna of the moss carpet in the Danish spring Ravnkilde and its seasonal, vertical and horizontal distribution. Arch. Hydrobiol. 75, 109 - 139
- LINDEGAARD, C., BRODERSEN, K. P., WIBERG-LAERSEN, P. & SKRIVER, J. (1998): Multivariate analyses of makrofaunal communities in Danish springs and springbrooks. In: BOTOSANEANU, L. (Hrsg.): Studies in Crenobiology. The biology of springs and spring brooks, Brill, Backhuys, Leiden, S. 201-219
- LISCHEWSKI, D. & SCHULTE BOCHOLT, A. (1995): Anforderungsprofil für die Kartierung und Begutachtung von Quellen. Crunoecia 4, 11-19. Verlag Natur und Wissenschaft, Solingen
- LÖLF, LANDESAMT FÜR ÖKOLOGIE, BODENORDNUNG UND FORSTEN NORDRHEIN-WESTFALEN (1994): Quellen - Ökologie, Gefährdung, Bewertung und Schutzkonzepte. LÖBF-Mitteilungen 1
- LUDWIG, H. (1989): Tiere unserer Gewässer. Merkmale, Biologie, Lebensraum und Gefährdung. BLV-Verlag, München
- MACARTHUR & WILSON (1967): The theory of island biogeography. Princeton Univ. Press, Princeton
- MALICKY, H. (1973): Trichoptera (Köcherfliegen). Handbuch der Zoologie. Bd. IV/2, 1-114, Berlin
- MARCINEK, J. & ROSENKRANZ, E. (1996): Das Wasser der Erde. Eine geographische Meeres- und Gewässerkunde. Perthes, Gotha
- MATTHEß, G. & UBELL, K. (1983): Allgemeine Hydrogeologie. Grundwasserhaushalt. Band 1, Borntäger, Berlin
- MAUDEN, R. (1993): Die Auswirkungen von Säureimmissionen und von Waldkalkungen auf das Makrozoobenthos basenarmer Bäche im Hunsrück.. Diplomarbeit der Universität Mainz, FB Biologie, 139 S., Mainz (unveröff.)
- MAUDEN, R. (1994): Der Einfluß der Gewässerversauerung auf die Quellbachzoozönose. Mitteilungen der LÖBF 1, 24 - 28
- MAYER, P., CLEMENS, A. & FISCHER, A. (2002): Biodiversität als Kriterium für Bewertungen im Naturschutz - eine Diskussionsanregung. Natur und Landschaft - 77. Jahrgang, Heft 11
- MEIJERING, M.P.D. & PIEPER, H.G. (1982): Die Indikatorbedeutung der Gattung *Gammarus* in Fließgewässern. Decheniana Beihefte 26, 111-113
- MEYER, W. (1990): Geologie der Eifel. 3. erg. Aufl., Schweizerbart, Stuttgart
- MÜHLENBERG, M. (1993): Freilandökologie. 3. Aufl., Quelle und Meyer, Wiesbaden
- MÜLLER-WESTERMEIER, G. (1996): Klimadaten von Deutschland. Offenbach am Main
- NIERYCHLO, J. (1989): Biogeographische Bewertung saarländischer Quellen-Ökosysteme. Typologisierungsmöglichkeiten der Quellen (Schwerpunkt biologische-ökologische Parameter). Diplomarbeit, Universität Saarbrücken
- NÖLLERT, A. & NÖLLERT, C. (1992): Die Amphibien Europas: Bestimmung, Gefährdung, Schutz. Stuttgart
- ODUM, E. P. (1983): Grundlagen der Ökologie, Bd. 2. Standort und Auswertung.. 2. Auflage, 477 - 836, Stuttgart
- ODUM, H. T. (1957): Trophic structure and productivity of Silver Springs, Florida. Ecol. Monogr. 27, 55-112
- OSTER, H. (1997): Spurenstoff- und Isotopenuntersuchungen an Quellen bei Merzalben. Fachgutachten für die Forstliche Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz, Trippstadt
- OSTER, H. (1996): FCKW-Untersuchungen an Kluftsystemen. Vom Wasser 86
- OSWALD, D. (1989): Populationsdynamik und Ernährungsbiologie von *Bythinella dunkeri* (v. FRAUENFELD) (Mollusca: Prosobranchia). Diplomarbeit, Zoologisches Institut, Köln
- OSWALD, D., KURECK, A. & NEUMANN, D. (1991): Populationsdynamik, Temperaturtoleranz und Ernährung der Quellschnecke *Bythinella dunkeri* (v. FRAUENFELD). Zool. Jb. Syst. 118, 65-78

- PATT (2003): Stand der Arbeiten zu Typologie, Referenzzuständen, signifikanten anthropogenen Belastungen und Grundwasser. KA Abwasser, Abfall (50) Nr. 1
- PAULUS, T (1995): Rettet die Quellen. BUND Landesverband Rheinland-Pfalz e.V. Mainz
- PITSCH, T. & WEINZIERL, A. (1992): Rote Liste gefährdeter Köcherfliegen (Trichoptera) Bayerns. Schriftenreihe Bayar. Landesamt j. Umweltschutz 111 (Beiträge zum Artenschutz 15), 201-205, München
- POTT, R. & REMY, M. (2000): Ökosysteme Mitteleuropas aus geobotanischer Sicht: Gewässer des Binnenlandes. E. Ulmer, Stuttgart
- POTT, R. (1996): Biooptypen - Schützenswerte Lebensräume Deutschlands und angrenzender Regionen. E. Ulmer, Stuttgart
- PRIER, H. (1985): Untersuchungen über das Temperaturverhalten von Quellen im Grundgebirge des Südlichen Schwarzwaldes. Abh. Geol. Landesamt Baden-W. 11, 77-92
- PRIMAS, H. (1996): Die Überwindung des Atomismus - der Ganzheitsbegriff der Quantentheorie verändert unser Weltbild. Freiburg
- REISS, M. (2002): Zur Erfassung und Bewertung von Quellen, dargestellt an einem Beispielsgebiet im Hohen Vogelsberg. Diplomarbeit am Fachbereich Geographie der Philipps-Universität, Marburg
- REMMERT, H. (1992): Ökologie. Springer Berlin
- REUSCH, H. (1994): Erstmalig und selten in Deutschland nachgewiesene Stelmücken (Pediidae und Limoniidae). *Studia dipterologica* 1, 107-113
- REWITZER, P. (1992): Biogeographische Untersuchungen zur Versauerung ausgewählter Quellen im Pfälzerwald - Biozönotische Struktur und deren Abhängigkeit von Umweltfaktoren. Unveröff. Diplomarbeit der Universität des Saarlandes, Fachbereich Biogeographie
- ROBERT, B. (1998): Quelltypische Köcherfliegen (Insecta: Trichoptera) in Nordrhein-Westfalen (Deutschland) - Ein Überblick. In: *Studies in Crenobiology. The biology of springs and spring brooks*, Brill, Backhuys, Leiden
- SCHINDLER, H. (2000): Die Quellen im Pfälzerwald und ihre tierische Besiedlung - eine Übersicht. In: Hahn et al.: *Wasser im Biosphärenreservat Naturpark Pfälzerwald, Ergebnisse der interdisziplinären Fachtagung vom 10. Bis 12. Juni an der Universität Landau*, Landau
- SCHINDLER, H. (2002): Quelltypenatlas Rheinland-Pfalz. Grundlagen der Gewässerentwicklung in Rheinland-Pfalz, Heft 2, Landesamt für Wasserwirtschaft, Mainz
- SCHINDLER, H. & BÖTTCHER, I. (2002): Untersuchungen über den ökologischen Zustand von 10 Quellen eines Quelllehrpfads im Kreis Altenkirchen (Westerwald). Fachgutachten im Auftrag des Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland, Kreisgruppe Altenkirchen
- SCHINDLER, H. & HAHN, H. J. (2000): Quellbiotopkartierung Rheinland-Pfalz, Abschlussbericht. Fachgutachten des Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland, Landesverband Rheinland-Pfalz e. V. im Auftrage des Ministeriums für Umwelt und Forsten Rheinland-Pfalz
- SCHINDLER, H. & HAHN, H. J. (2002a): Springs as monitors for catchment quality. *International Association of Hydrogeologists Groundwater Conference "Balancing the Groundwater Budget"*, Tagungsband, Darwin (Australia)
- SCHINDLER, H. & HAHN, H. J. (2002b): Ansatz einer faunistisch begründeten Leitbildentwicklung für Quellen in Rheinland-Pfalz. In: *Deutsche Gesellschaft für Limnologie (DGL) - Tagungsbericht 2001 (Kiel)*, Tutzing
- SCHINDLER, H., GUTENSOHN, T. & HAHN, H. J. (2002): Pilotprojekt zur umweltgerechten Entwicklung von Quellen auf dem Gebiet der Verbandsgemeinde Dahner Felsenland. Fachgutachten vom Institut für regionale Umweltforschung und Umweltbildung (IFU) an der Universität in Landau in Kooperation mit dem BUND, Landesverband Rheinland-Pfalz e.V. im Auftrag der Verbandsgemeinde Dahner Felsenland

G Literaturverzeichnis

- SCHINDLER, H., GUTENSOHN, T. & HAHN, H. J. (2004): Pilotprojekt zur umweltgerechten Entwicklung von Quellen auf dem Gebiet der Verbandsgemeinde Dahner Felsenland. Annales scientifiques de la Réserve de Biosphère transfrontalière Vosges du Nord - Pfälzerwald - 11
- SCHLICHTING, H. J. (2003): Der Mensch - ein Ursachenbär. http://www.uni-muenster.de/Physik/DP/lit/Poetisches/K_einleitung_1.pdf
- SCHMEDJE, U. & COLLING (1996): Ökologische Typisierung der aquatischen Makrofauna. Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, Informationsberichte, Heft 4/96, München
- SCHÖLL, F. (1989): Zur näheren Kenntnis des Makrozoobenthos der Fließgewässer im Nationalpark Bayerischer Wald. Ent. Z. 99 (18), 257-272, Essen
- SCHULTE, H. & WEINZIERL, A. (1990): Beiträge zur Faunistik einiger Wasserinsektenordnungen (Ephemeroptera, Plecoptera, Coleoptera, Trichoptera) in Niederbayern. Lauterbornia 6, 1-83, Dinkelscherben
- SCHWOERBEL, J. (1993): Einführung in die Limnologie. 7. Auflage, G. Fischer, Stuttgart, Jena
- SCHWOERBEL, J. (1994): Methoden der Hydrobiologie. 4. Auflage, G. Fischer, Stuttgart, Jena
- STEINMANN, P. (1915): Praktikum der Süßwasserbiologie. Teil 1: Die Organismen des fließenden Wassers. Bornträger, Berlin
- THIENEMANN, A. (1924): Hydrobiologische Untersuchungen an Quellen. Archiv für Hydrobiologie 14, 151 - 190
- THIENEMANN, A. (1925): Die Binnengewässer Mitteleuropas. In: Thienemann, A. (Hrsg.): Die Binnengewässer, Bd. 1, 1-255, Stuttgart
- THIENEMANN, A. (1926): Hydrobiologische Untersuchungen an Quellen VII. Insekten aus norddeutschen Quellen mit besonderer Berücksichtigung der Dipteren. Deutsche Entomologische Zeitschrift 1, 1 - 50
- TISCHLER, W. (1993): Einführung in die Ökologie. 4. Aufl., G. Fischer, Stuttgart
- TRILLING, B. (1996): Grundwasserversauerung im Pfälzerwald. Abschlußbericht zum Forschungsprojekt "Grundwasserqualitätsänderungen aufgrund von Bodenversauerung", Professur f. Hydrologie und Institut f. Forstökonomie der Universität Freiburg
- TRÖGER, U. (1997): Pflanzensoziologische Bearbeitung ausgesuchter Quellen des Pfälzerwaldes unter besonderer Berücksichtigung des Säurezustandes. Diplomarbeit der Universität Kaiserslautern, FB Biologie, Kaiserslautern (unveröff.)
- UHLMANN, D. (2001): Hydrobiologie der Binnengewässer. E. Ulmer, Stuttgart
- VANNOTE, R. L., MINSHALL, G. W., CUMMINS, K. W., SEDELL, J. R. & CUSHING, C. E. (1980): The River Continuum Concept. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 37, 130-137
- VERDONSCHOT, P. F. M. & SCHOT, J. A. (1987): Macrofaunal community types in helocrenal springs. Research Institute for Nature Management. Annual Report 1986, 85 - 103, Arnhem, Lersum and Texel
- VOIGT, W. (1901): Die Ursachen des Aussterbens von *Planaria alpina* im Hunsrückgebirge und von *Polycelis felina* im Taunus. Verh. nat. hist. Ver. Preuss. Rheinl. Westf. 58, 223 - 246
- WÄCHTER, H. J. (1992): Quellenverhältnisse und Quellschädigung im Mittleren Teutoburger Wald (Bielefeld, Westfalen). Ber. Naturwiss. Verein Bielefeld und Umgebung 33, 369-402
- WAGNER (1992): Rote Liste gefährdeter Dunkelmücken (Thaumalaeidae) Bayerns. Schriftenreihe Bayerisches Landesamt für Umweltschutz 111 (Beiträge zum Artenschutz 15), 178, München
- WAGNER, R., FISCHER, J. & SCHNABEL, S. (1998): The dipteran community of Central European springs: a summary. In: BOTOSANEANU, L. (Hrsg.): Studies in Crenobiology. The biology of springs and spring brooks, Brill, Backhuys, Leiden, S. 157 - 166

- WEIGAND, E. (1999): Biodiversität in alpinen Karstquellsystemen (Nationalpark Kalkalpen, Österreich). In: Deutsche Gesellschaft für Limnologie (DGL) - Tagungsbericht 1998 (Klagenfurt), Tutzing
- WENDLING, K. (1993): Versauerung der quellnahen Bereiche von Bächen in Rheinland-Pfalz und deren Auswirkungen auf Bachbiozöten. In: Waldschäden, Boden- und Wasserversauerung durch Luftschadstoffe in Rheinland-Pfalz. Hrsg: Ministerium f. Umwelt Rheinland-Pfalz und Ministerium für Landwirtschaft, Weinbau und Forsten Rheinland-Pfalz, S. 84 - 95
- WERUM, M. (2001): Die Kieselalgenesellschaften in Quellen - Abhängigkeit von Geologie und anthropogener Beeinflussung in Hessen. Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Wiesbaden
- WILD, G. (1992): Charakterisierung des im mittleren Pfälzerwald gelegenen Schwarzbaches und Vergleich mit Bachsystemen im Hunsrück. Diplomarbeit der Universität Mainz, FB Biologie, Mainz (unveröff.)
- WILLIAMS, D. D. (1991): The spring as an interface between groundwater and lotic fauna and as a tool in assessing groundwater quality. Verh. Internat. Verein Limnol. 24, 1621 - 1624
- WILMANS, O. (1973): Ökologische Pflanzensoziologie. UTB 269, Heidelberg
- ZOLLHÖFER, J. (1997): Quellen, die unbekanntes Biotop. Bristol-Stiftung, Bristol-Schriftenreihe Band 6, Zürich

b) Determinationsliteratur:

- AICHELE, D. (1992): Der große Tier- und Pflanzenführer. Verlag Franckh-Kosmos, Stuttgart
- AMANN, E., BRANDSTETTER, C. M. & KAPP, A. (1994): Käfer am Wasser. Gattungsschlüssel der (semi-) aquatischen Käfer Mitteleuropas. Verlag des Ersten Vorarlberger Coleopterolog. Ver., Bürs.
- AUBERT, J. (1957): Plecoptera-Insecta Helvetica. Lausanne 1,1-139
- BÄHRMANN, R. (1995): Bestimmung wirbelloser Tiere. G. Fischer-Verlag, Stuttgart
- BELLMANN, H. (1987): Libellen. Verlag J. Neumann, Melsungen
- BELLMANN, H. (1987): Libellen beobachten- bestimmen. Verlag J. Neumann, Melsungen
- BELLMANN, H. (1988): Leben in Bach und Teich. Steinbachs Naturführer, Mosaik Verlag, München
- BELLSTEDT, R. (1980): *Hydraena subimpressa*, neu für die Fauna der DDR. Abhandlungen und Berichte des Museums der Natur Gotha
- BENICK, L. (1925): Beiträge zur Kenntnis der Tierwelt norddeutscher Quellgebiete. III. Die Entwicklung der *Elodes minuta* L.. Entomologische Blätter 21, 164 - 173
- BLAB, U., NOWAK, E., TRAUTMANN, W. & SUKOPP, H. (1984): Rote Liste der gefährdeten Tiere und Pflanzen in der Bundesrepublik Deutschland. 4. Auflage, Kilda Verlag Greven
- BROHMER, P. (1992): Fauna von Deutschland. Quelle & Meyer, Wiesbaden
- BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ (1998): Rote Liste gefährdeter Tiere Deutschlands. Landwirtschaftsverlag, Münster-Hiltrup
- CHINERY, M. (1986): Pareys Buch der Insekten. Verlag Parey, Hamburg
- DAVIES, L. (1968): A Key to the British Species of Simuliidae (Diptera) in the Larval, Pupal and Adult Stages. Freshw. Biol. Ass. Sci. Publ. 24, 1-126
- DROST, M. (1992): De Waterkevers van Nederland. Nationaal Natuurhistorisch Museum, Utrecht

G Literaturverzeichnis

- FREUDE, H., HARDE, W. & LOHSE, G. A. (1965): Die Käfer Mitteleuropas. Bd. 1, 1-213, Krefeld
- FREUDE, H., HARDE, W. & LOHSE, G. A. (1971): Die Käfer Mitteleuropas. Bd. 3, 1-328, Krefeld
- FREUDE, H., HARDE, W. & LOHSE, G. A. (1979): Die Käfer Mitteleuropas. Bd. 6, 1-367, Krefeld
- GLÖER, G. & MEIER-BROOK, C. (1998): Süßwassermollusken. Deutscher Jugendbund für Naturbeobachtung, Hamburg
- HOFFMANN, J. A. (1963): Faune des Triclares Paludicoles du Grand-Duché de Luxembourg. Section Scientifique nat. phys. math., N.S. 30, 181-261
- HYNES, H. B. N. (1977): A key to the Adults and Nymphs of the British Stoneflies (Plecoptera). Freshw. Biol. Ass. Sci. Publ. 17, 1-92
- ILLIES, J. (1978): Limnofauna Europea. 2. Auflage, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart
- JENSEN, F. (1984): A revision of the taxonomy and distribution of the Danish Blackflies (Diptera: Simuliidae), with keys on the larval and pupal stages. Natura Jutlandica 21/6, 69-116
- KLAUSNITZER, B. (1984): Käfer im und am Wasser. Die Neue Brehm Bücherei. Wittenberg
- KLIMA, F. (1994): Die aktuelle Gefährdungssituation der Köcherfliegen Deutschlands (Insecta, Trichoptera). Natur und Landschaft. 69/ 11, 511-518
- KNOZ, J. (1965): To identification of Czechoslovakian blackflies (Diptera. Simuliidae). 1 - 54
- KOCH, K., S. CYMOREK, A. M. J. EVERS (1977): Rote Liste der im nördlichen Rheinland gefährdeten Käferarten (Coleoptera) mit einer Liste von Bioindikatoren. Entomologische Blätter 73, 1 - 39
- LUDWIG, H. (1993): Tiere in Bach, Fluß, Tümpel, See. BLV Verlagsgesellschaft, München
- MALICKY, H. (1983): Atlas der europäischen Köcherfliegen (Imagines). 1-298, The Hague
- NESEMANN, H. (1997): Egel und Krebssegel Österreichs. Sonderheft der 1. Vorarlberger Malakologischen Gesellschaft, Rankweil
- NILSSON, A. (1997): Aquatic Insects of North Europe - A taxonomic handbook. Vol. 2. Apollo Books, Stenstrup
- NÜB, J.-H. & WENDLER, A. (1992): Libellen. DJN Hamburg
- PANKOW, W. (1979): Beitrag zur Kenntnis der mitteleuropäischen Arten der Gattung *Elmis* LATREILLE (Coleoptera Elminthidae). Entmolog. Zeitschrift 89, 182-191
- PAX, F. & SOOS, A. (1940): Die Nematoden der deutschen Schwefelquellen. Arch. Hydrobiol. 40, 123 - 183
- PITSCH, T. (1986): Contribution to Larval Taxonomy, Ecology and Distribution of the Central European Species of the Genus *Philopotamus* (Trichoptera: Philopotamidae). Proc. of the 5th Int. Symp. on Trichoptera
- PITSCH, T. (1993): Zur Larvaltaxonomie, Faunistik und Ökologie mitteleuropäischer Köcherfliegen (Insecta - Trichoptera). TU Berlin, Landschaftsentwicklung und Umweltforschung (Schriftenreihe Landschaftsentwicklung), Sonderheft 8, Berlin
- RAUSER, J. (1980): Plecoptera. Rad Posvatky - Plecoptera, pp. 88-132; In: ROZKOSNY, R. (Hrsg.), Klic vodnich hmyzu; Prag (Akademie-Verlag). (Dt. Übersetzung: K Zerny)
- REICHHOLF, J. & STEINBACH, G. (1992): Mollusken. Mosaik Verlag München
- REYNOLDS, T. B. (1978): A Key to the British Species of Freshwater Triclares. Freshwater Biological Association, 23
- SAUTER, G. (1995): Bestimmungsschlüssel für die in Deutschland verbreiteten Arten der Familie Tubificidae mit besonderer Berücksichtigung von nicht geschlechtsreifen Tieren. Lauterbornia 23, 1-52, Dinkelscherben

G Literaturverzeichnis

- SCHMEDTJE, U. & KOHMANN, F. (1992): Bestimmungsschlüssel für die Sabrobier- DIN- Arten (Makroorganismen). Informationsberichte Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, München
- SCHULTE, H. (1989): Beiträge zur Ökologie und Taxonomie der Gattung *Elmis* LATREILLE (Coleoptera Elmidae) unter besonderer Berücksichtigung niederbayrischer Vorkommen. *Lauterbornia* 1, 23-37
- SEDLAK, E. (1987): Bestimmungsschlüssel für mitteleuropäische Köcherfliegenlarven (Insecta, Trichoptera). *Wasser und Abfall* 29, 1-163, Wien
- SEITZ, G. (1994): Neue und bemerkenswerte Kriebelmückenfunde (Diptera: Simuliidae) für die deutsche Fauna. *Lauterbornia* 15, 101-109. Dinkelscherben
- STUDEMANN, D., LANDPOLT, P., SARTOORI, M., HEFTI, D., & TOMKA, I. (1992): Ephemeroptera. *Insecta Helvetica*, 9, 1-175
- THEOWALD VAN LEEUWEN, BR. (1978): Tipulidae und Cylindrotomidae. In: Illies, J.: *Limnofauna Europaea*, 363-366, Stuttgart
- WAGNER, R. (1997): Diptera Empididae, Dance Flies. In: *Aquatic Insects of North Europe - A Taxonomic Handbook*. Volume 2. Ed. Anders N. Nilsson
- WAGNER, R. (1997): Diptera Thaumaleidae. In: *Aquatic Insects of North Europe - A Taxonomic Handbook*. Volume 2. Ed. Anders N. Nilsson
- WAGNER, R. (1997): Diptera Dixidae, Meniscus Midges. In: *Aquatic Insects of North Europe - A Taxonomic Handbook*. Volume 2. Ed. Anders N. Nilsson
- WAGNER, R. (1997): Diptera Psychodidae, Moth Flies. In: *Aquatic Insects of North Europe - A Taxonomic Handbook*. Volume 2. Ed. Anders N. Nilsson
- WALLACE, I.D., WALLACE, B. & PHILIPSON, G.N. (1990): A Key to the Case-bearing Caddis of Britain and Ireland. *Freshw. Bio. Ass. Sci. Publ.* 51, 1-237
- WARINGER, J. & GRAF, W. (1997): Atlas der österreichischen Köcherfliegen unter Einschluss der angrenzenden Gebiete. *Facultas Universitätsverlag*, Wien
- ZWICK, H. (1974): Faunistisch- ökologische und taxonomische Untersuchung an Simuliidae (Diptera), unter besonderer Berücksichtigung der Arten des Fulda- Gebietes. *Abh. Senkenb. Naturforsch. Ges.* 533, 1-116
- ZWICK, H. (1993): Zum Stand der Taxonomie und Determination einheimischer Kriebelmücken (Diptera: Simuliidae). Beiträge zur Taxonomie, Faunistik und Ökologie der Kriebelmücken in Mitteleuropa.- *Essener Ökologische Schriften* Bd. 2, 37-53
- ZWICK, P. (1967): Revision der Gattung *Chloroperla* NEWMANN (Plecoptera). *Mitteilungen Schweizerische Entomologische Gesellschaft* 40, 1-26
- ZWICK, P. (1980): Plecoptera. *Handbuch der Zoologie: Eine Naturgeschichte der Stämme des Tierreichs*. Bd.7 (Hrsg. Helmcke, J.-G., Stark, D. & Wermuth, H.): 1-115. Berlin, New York

H Anhang

Inhalt:

- H 1 Monatssummen der Niederschläge im Untersuchungszeitraum von Anfang 1998 bis Januar 2002 für die in Kapitel C aufgeführten Klimastationen (Abbildungen H3/1 – H3/6)
- H 2 Quellerfassungsbogen für Struktur und Umfeld, Rückseite (Chemie, Fauna, Flora)
- H 3 Tabelle speichernutzbarer Hohlraumanteil verschiedener Locker- und Festgesteine
- H 4 Kurzbeschreibung der neun intensiver beprobten Quellen der Pfalz
- H 5 Artenlisten der drei am besten bewerteten Quellen der Pfalz
- H 6 Liste der 56 Referenzquellen mit Eckdaten
- H 7 Fotos ausgewählter Referenzquellen
- H 8 Datenbank aller Quellen, Teil Stammdaten
- H 9 Datenbank aller Quellen, Teil Struktur und Umfeld
- H 10 Datenbank aller Quellen, Teil Hydrochemie, Frühjahr
- H 11 Datenbank aller Quellen, Teil Fauna (Standortlisten) mit ökologischer Wertzahl nach FISCHER (1996), verändert
- H 12 Faunaliste nach SCHMEDITJE & COLLING (1996) mit DV-Nr. und ökolog. Typisierung
- H 13 Faunaliste der zusätzlichen 48 Taxa mit Erstbeschreiber
- H 14 Überblick über die Ergebnisse der faunistischen Verfahren und Zusatzabbildungen

Monatssummen der Niederschläge im Untersuchungszeitraum von Anfang 1998 bis Januar 2002 für die be-
reits in Kapitel B aufgeführten Klimastationen (Abbildungen H1/1 – H1/6)

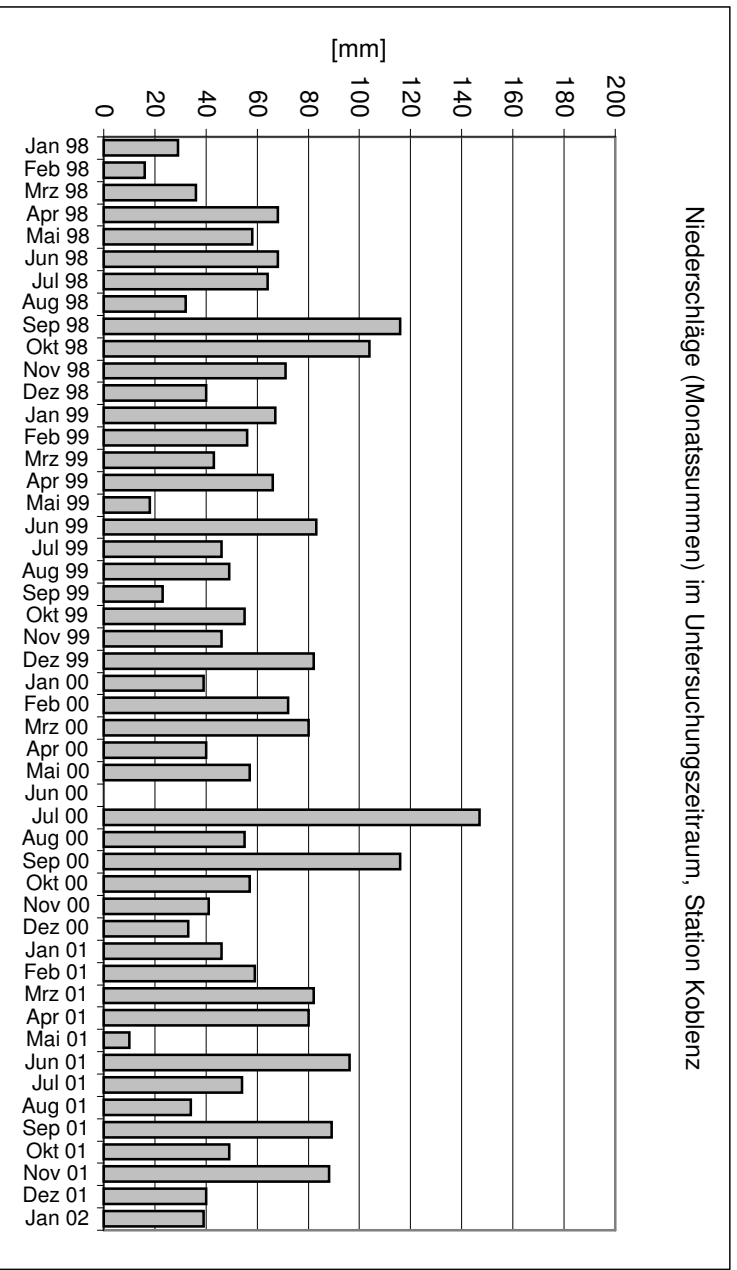


Abb. H1/1: Klimastation Koblenz (Mittelrheintal), Monatssummen der Niederschläge

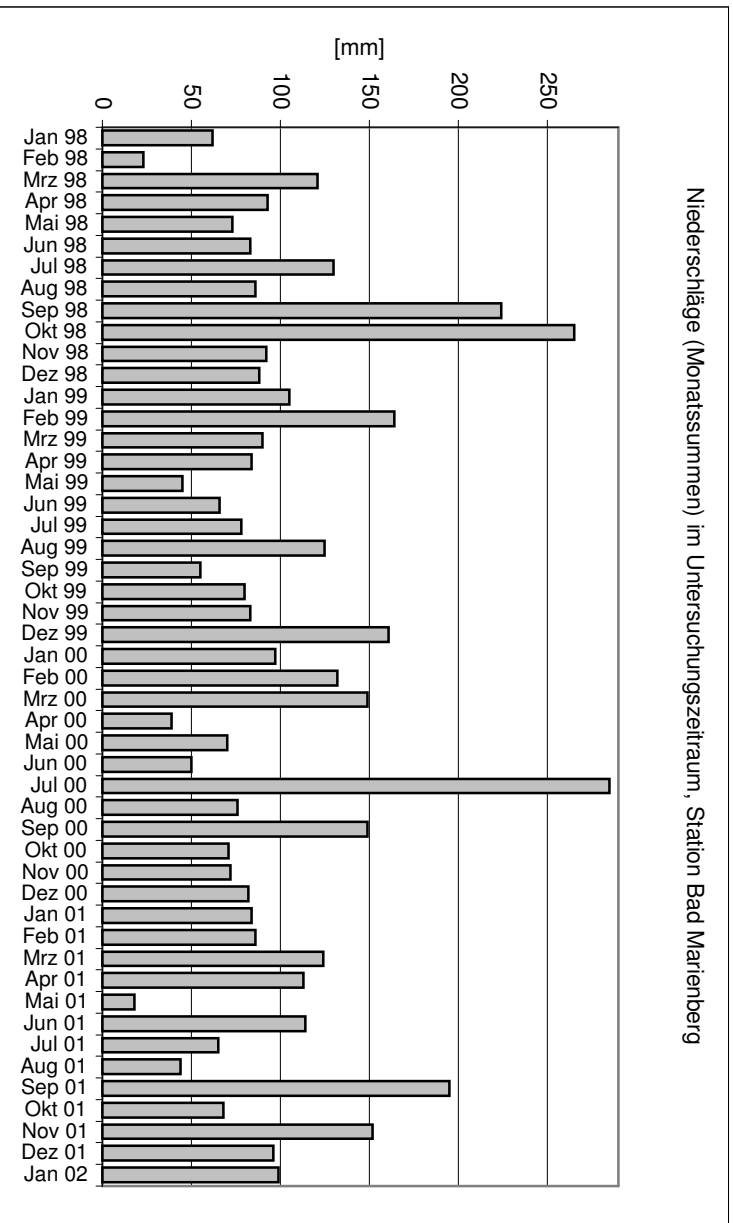


Abb. H1/2: Klimastation Bad Marienberg (Westertal), Monatssummen der Niederschläge

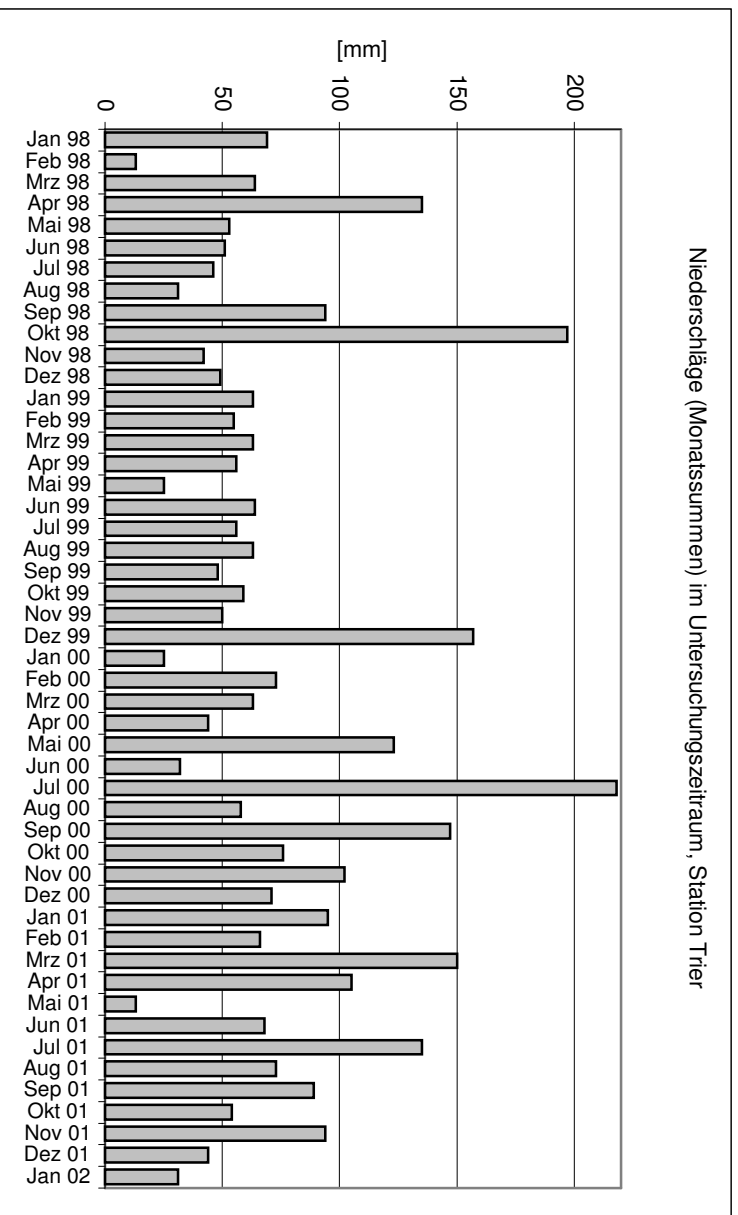


Abb. H1/3: Klimastation Trier (Hunsrück), Monatssummen der Niederschläge

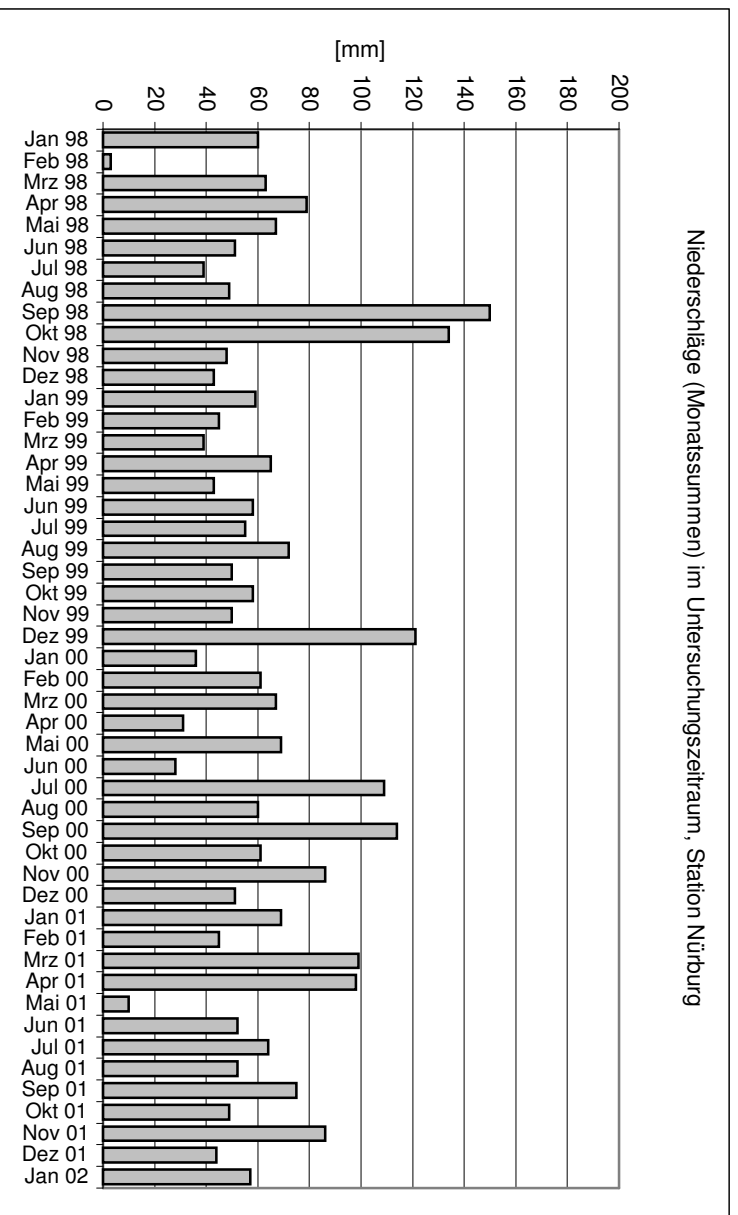


Abb. H1/4: Klimastation Nürburg (Eifel), Monatssummen der Niederschläge

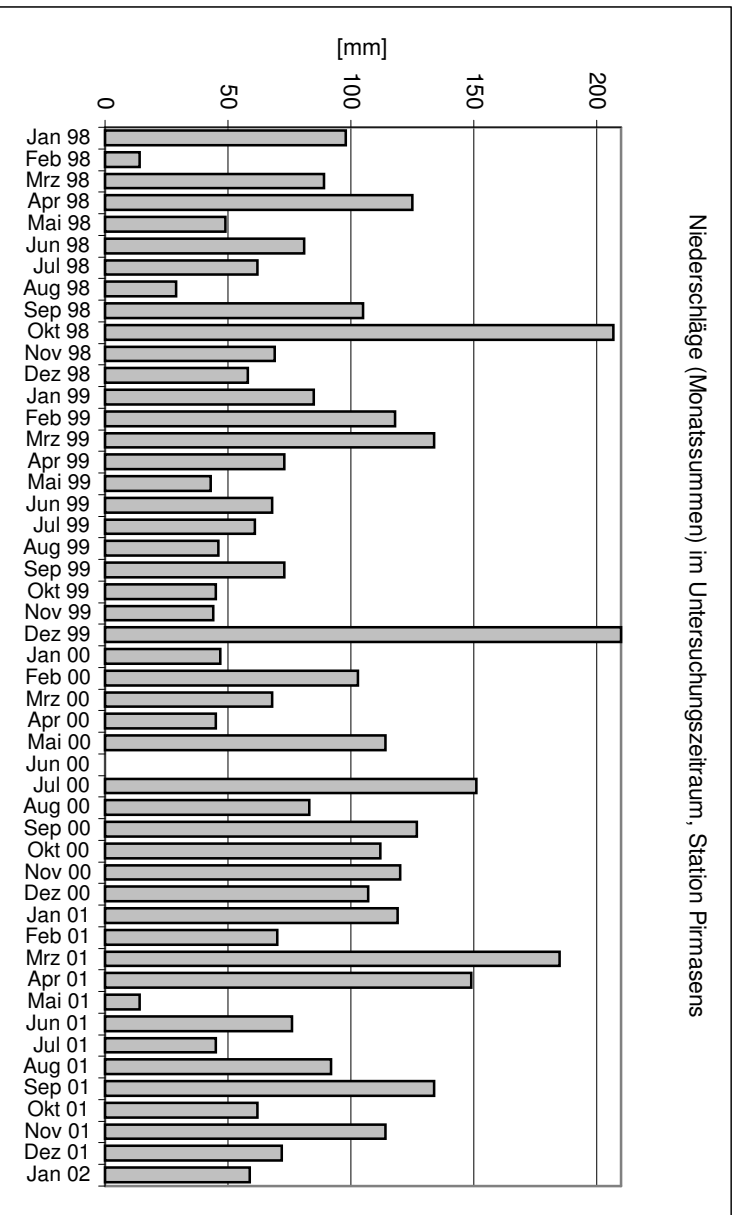


Abb. H1/5: Klimastation Pirmasens (Pfälzerwald), Monatssummen der Niederschläge

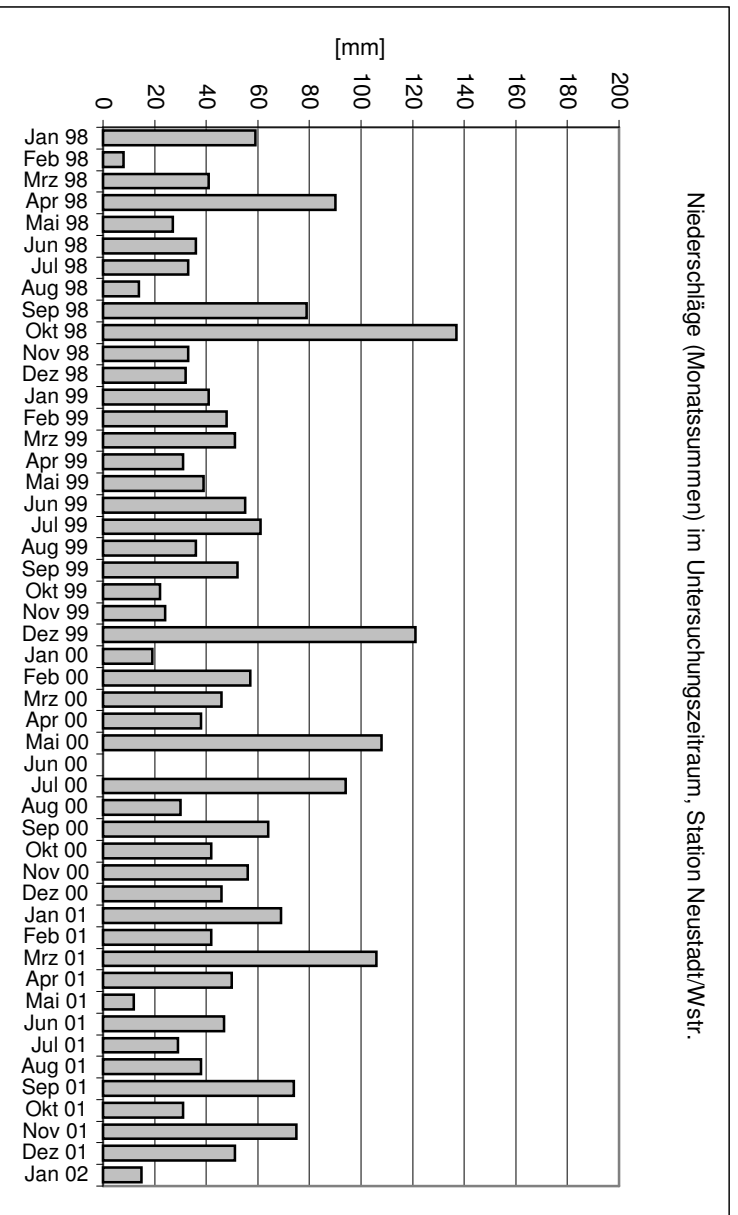


Abb. H1/6: Klimastation Neustadt/Wstr. (Haardtrand), Monatssummen der Niederschläge

Quellerfassungsbogen Chemie, Fauna, Flora

Chemie			Fauna		Flora						
Parameter	Wert	Einheit	Häufigkeit	Art, Gattung, Familie oder Tiergruppe	Schichten	Baum	Strauch	Stauden	Kraut	Gras	Moos
Uhrzeit:		Uhr			Bedeckung [%]						
Probe nach Fließstrecke:		m			Höhe [m]						
Geruch/Farbe:											
Trübung/Bodensatz:					Bedeckung	Art, Gattungsname					
Schaumbildung:											
Lufttemperatur:		°C									
Wassertemperatur:		°C									
Leitfähigkeit:		µS/cm									
pH-Wert:		[]									
Sauerstoffgehalt:		mg/l									
Sauerstoffsättigung:		%									
Säurebindungsvermögen:		mmol/l									
Gesamthärte:		°dH									
Nitrat:		mg/l									
Nitrit:		mg/l									
Ammonium:		mg/l									
Phosphat:		mg/l									
Sulfat:		mg/l									
Chlorid:		mg/l									
Eisen:		mg/l									
Mangan:		mg/l									
Zink:		mg/l									
Nickel:		mg/l									
Aluminium:		mg/l									
Kalzium:		mg/l									
Magnesium:		mg/l									
Checkliste				Strudelwürmer, Muscheln und Schnecken							
				Krebse, Wassermilben, Eintagsfliegen							
				Libellen, Steinfliegen, Wanzen, Wasserkäfer	Abschätzen der Bedeckung nach Braun/Blanquet:						
				Köcherfliegen, Zweiflügler, Wirbeltiere	r / +	1	2	3	4	5	
Störzeiger				rote Zuckmückenlarven/ Schlammröhrenwürmer.....	seltene	< 5%	5-25%	25-50%	50-75%	75-100%	

Tab. H3: Richtwerte für den speichernutzbaren Hohlraumanteil verschiedener Locker- und Festgesteine
(aus BAUMGARTNER & LIEBSCHER 1996)

Gesteinsformen	Speichernutzbare Hohlraumanteil in %
<i>Lockergesteine:</i>	
Schluff, tonig-feinsandig	0,05-5
Feinsand	10-15
Mittelsand	15-20
Grobsand, Feinkies	20-25
Kies, sandig	15-20
kiesige Flussablagerungen (Kies, Sand, Schluff)	ca. 10
Schutthalden (sandig-lehmig, sandig-steinig)	5-35
<i>Festgesteine:</i>	
Tonsteine, Mergel, klüftig, unverwittert	0-0,5
<i>harte und dichte, geklüftete Sedimentgesteine:</i>	
- nahe der Oberfläche (oft bis 5-10 m)	1-2
- in größerer Tiefe (bis ca. 100 m, tiefer oft < 0,1)	0,1-0,5
Sandsteine, teilzementiert oder sekundär ausgelaugt	5-20
Dolomite, grobkörnig-porös und stark geklüftet	bis 20
kompakte und verkarstete Kalke und Sulfatgesteine (einzugsgebietsbezogen)	1-4
Basalte, dicht, geklüftet	1-2
Basaltlaven und vulkanische Tuffe (jung, teilverfestigt)	10-30
Granite, Gneise, kristalline Schiefer, bergfrisch, unverwittert	0-0,2

Kurzbeschreibung der neun intensiver beprobten Quellen der Pfalz:

Die Quelle am Gerbacher Kopf (Nr. 0147, Donnersberg) stellt eine naturnahe Sturzquelle dar, die in 370 m Höhe als die höchste der neun Quellen unter einer Baumwurzel in Mittelhanglage mit stärkerer Geländeneigung entspringt. Die Schüttung beträgt rund 1 l/s und das Umfeld besteht aus naturnahem Laubwald. Ein Weg, der in die Nähe der Quelle führt, ist mittlerweile verfallen und vom Zubringerweg nur schwer erkennbar. Der Quellbach vereinigt sich unterhalb in der Nähe des Zubringerweges mit dem Quellbach von Quelle Nr. 0148. Die Struktur- und Substratausstattung entspricht naturnahen Verhältnissen, was auch die Beschattung, die Wasser-Land-Verzahnung, die besondere Strukturen und die Strömungszustände betrifft. Die Hydrochemie der mit 7,4 °C kältesten der neun Quellen ist unauffällig, der pH-Wert betrug pH 6,2. Der Sulfatgehalt war aber mit 56,5 mg/l der höchste der neun Quellen. Die Quelle wurde strukturell als naturnah (Wert 1,0) und faunistisch als bedingt quelltypisch (Klasse 2) bewertet, die Taxazahl betrug 46 Taxa und 19 Quelltaxa.

Quelle Nr. 0142 (Donnersberg) im Spendental entspringt in 350 m Höhe in einer Hangmulde und ist teilgefasst, da der Austritt unterhalb einer Betonmauer liegt. Der Austritt stellt einen Quelltopf mit ca. 0,5 m Wassertiefe dar, insofern liegt eine Tümpelquelle vor. Außer der Mauer gibt es allerdings wenig Beeinträchtigungen, so ist ein nach etwa 6 m Fließstrecke vorhandenes, einfaches und altes Holzquerbauwerk zu nennen, das einen Aufstau verursachen sollte, aber nicht mehr voll funktionsfähig ist. Möglicherweise wurde die Hangmulde anthropogen bedingt grabenartig vertieft, ansonsten ist der Ablauf als relativ naturnah zu bezeichnen, was auch für das Umfeld aus Laubwald mit starker Beschattung gilt. Die Quelle liegt versteckt etwa 30 m von einem häufig frequentierten Forstweg entfernt. Die Schüttung ist mit etwa 20 l/s sehr hoch. Nach etwa 50 m Länge vereinigt sich der Abfluss mit dem einer anderen Quelle und bildet einen struktureichen Quellbach. Im Einzugsgebiet befindet sich Mischwald. Die Struktur- und Substratausstattung liegt in einem mittleren bis höheren Bereich, geringe Defizite sind bei der Wasser-Land-Verzahnung zu verzeichnen. Die Hydrochemie ist ebenfalls unauffällig, die Quelle war mit einem pH-Wert von pH 5,5 gerade noch unversauert und wurde strukturell als noch bedingt naturnah bewertet (Wert 2,42), faunistisch als bedingt quelltypisch (Klasse 2). Die Taxazahl betrug 49 Taxa und 18 Quelltaxa.

Quelle Nr. 0146 (Donnersberg) bei der Ortschaft Schwarzengraben stellt den Austritt einer alten, nicht mehr genutzten Brunnenstube dar, die aus Beton mit einem eisernem Überlaufrohr besteht. Der ursprüngliche Quelltyp konnte nicht mehr ermittelt werden. Es waren mittlere bis starke Verockerungen vorhanden, die etwa 70 % der Substrate des kurzen Ablaufes in den wenige Meter entfernten nächsten Quellbach orangefarben überziehen. Trotzdem ist die Biotopgröße des Quellbereichs mit den anderen Quellen vergleichbar. Außerdem gab es Müll und Drainagerohrreste im Quellbereich. Die Quellschüttung betrug rund 0,3 l/s. Im Einzugsgebiet befindet sich Laubwald, im Umfeld Mischwald. Die Substrat- und Strukturausstattung liegt in einem mittleren Bereich, trotzdem macht die Quelle einen anthropogen überprägten Eindruck. Die Hydrochemie zeigt, dass die Quelle eine erhöhte Leitfähigkeit von 0,46 mS/cm aufweist, der pH liegt im neutralen Bereich, die Härte bei 14,8 °dH. Die hohe Härte ist auf Erdalkalien wie Magnesium- und Kalziumwerte zurückzuführen, Natrium war ebenfalls erhöht. Das Wasser besaß am Auslauf eine sehr geringe Sauerstoffsättigung von nur 15 %. Der CSB war niedrig, der Ammoniumgehalt etwas erhöht, die Metallgehalte bis auf Mangan, was bei 0,18 mg/l lag, jedoch unauffällig niedrig. Aufgrund der niedrigen Eisen- und anderer Metallionen ist die Verockerung aufgrund geogener Ursachen zumindest fraglich, möglicherweise spielen andere Ursachen eine Rolle. Die Quelle wurde strukturell als mäßig beeinträchtigt und faunistisch als noch quellverträglich (Klasse 3) bewertet. Die Verockerung hatte eine geringere Besiedlung zur Folge, es konnten aber immerhin noch 28 Taxa und 12 Quelltaxa nachgewiesen werden.

Die nach der Strukturbewertung beste Quelle im Westrich stellt die Quelle am Mühlkopf dar (Nr. 0152), eine Sturzquelle mit natürlichem Wasserfall in 255 m Höhe. Die für den Westrich typische, ästhetisch ansprechende

Quelle liegt oberhalb eines befestigten Waldweges im Wallhalbetal. Etwa zehn Meter nach dem Austritt aus einem Fels in Mittelhanglage fällt der Quellbach über einen weit ausladenden Fels in unmittelbarer Nähe eines Weges ca. 3 m ab, den er kurz darauf durch eine kürzere Verrohrung unterquert. Der sich dabei bildende Wasserfall hat großflächige Rieselfluren zur Folge, es kommt u. a. Milzkraut vor. Diese Wasserfallsituation ist aufgrund geologischer Charakteristiken häufiger im Westrich zu beobachten, so etwa in der Rieslocher Klamm. Die Schüttung beträgt rund 1 l/s, die Substrat- und Strukturausstattung ist groß, die naturnah ausgebildeten Rieselfluren sind besonders großflächig. Hier kam die krenobionte Dunkelmücke *Thaumalea* sp. in Massen vor. Allerdings existieren durch den Weg, die Verrohrung, eine geringe Müllablagerung und einen unterhalb liegenden Nadelforst mit nachfolgendem Grünland auch Beeinträchtigungen. Diese beginnen aber erst ab etwa 20 m Fließstrecke. Oberhalb im Einzugsgebiet und im direkten Umfeld der Quelle befindet sich naturnaher Laubwald, auf den Höhen allerdings landwirtschaftliche Flächen. Die Hydrochemie ist unauffällig, der pH-Wert liegt im neutralen Bereich, die Leitfähigkeit ist mit 0,36 mS/cm geringfügig erhöht. Stärker erhöht ist der Nitratgehalt, er liegt mit 48,5 mg/l knapp unter dem Grenzwert für Trinkwasser, was auf landwirtschaftliche Einträge zurückgeführt werden kann. Außerdem wies die Quelle die höchsten Aluminium- und Kadmiumgehalte aller neun Quellen auf, sie lagen bei 50 µg/l bzw. 0,22 µg/l. Die Quelle wurde strukturell als noch bedingt naturnah bewertet (Wert 1,87), faunistisch gesehen wurde die Quelle aber „nur“ als quellverträglich eingestuft (Klasse 3). Die Taxazahlen waren aber trotzdem mit die höchsten von allen Quellen und betragen 62 Taxa und 21 Quelltaxa.

Die unterhalb des natürlichen Austritts gefasste Sturzquelle an der Weihermühle (Nr. 2501, Westrich) tritt unterhalb eines großen Felsens aus und mündet in eine in den Fels gehauene Rinne, um danach durch ein Natursteinbecken, eine Holzrinne und eine geschaffene Hangmulde zu fließen, wobei sich Spritzwasserbereiche bilden. Unterhalb der Fassung und am Quellbach wächst u. a. Milzkraut. Am Becken vorbei führt ein Wanderpfad in 295 m Höhe, neben dem Becken steht eine Holzbank. Die Schüttung beträgt rund 1,5 l/s. Außer dem genannten Verbau existieren weiter keine Beeinträchtigungen, Umfeld und Einzugsgebiet werden durch naturnahen Laubwald gebildet. Die Struktur- und Substratausstattung liegt in einem mittleren Bereich, wobei die Fassung einen alten und teilweise verfallenen Eindruck macht. Trotzdem konnten Anzeichen einer Unterhaltung beobachtet werden, so wurde die Hangmulde durch einen Folienanstau etwas vergrößert. Die Hydrochemie ist eher unauffällig, der pH-Wert liegt im neutralen Bereich. Allerdings wurde hier der höchste Mangangehalt mit 0,28 mg/l gemessen. Die Quelle wurde als mäßig beeinträchtigt (Wert 3,27) bzw. als quellverträglich (Klasse 3) bewertet, die Taxazahl lag recht hoch bei 49 Taxa bzw. 20 Quelltaxa.

Die dritte Quelle des Westrich bildet der Naubrunnen (Nr. 0151), ein alter Waschbrunnen unterhalb der Ortschaft Schmitshausen in 320 m Höhe. Er liegt an einem mit Wald bestandenem Weg, der talabwärts führt. Die Quelle ist mit einem Rohr und zwei hintereinander liegenden Natursteinbecken gefasst, worin das Wasser aufgrund der recht geringen Schüttung von 0,3 l/s zunächst fast steht und danach, da es durch kurze Rohre mit starkem Gefälle und Holzrinnen geleitet wird, mit starker Strömung in eine ca. 45 m lange Betonkanalisierung geleitet wird. Danach kommt das Wasser aus einem Rohr und fließt anschließend naturnah durch einen Laubwald ab. Der Quellbereich ist entsprechend klein, der Quelltyp war nicht mehr ermittelbar. Es existieren ein Vielzahl Infrastruktureinrichtungen wie Bänke, eine Überdachung, Zuwegungen oder Trittsteine. Das Einzugsgebiet und Umfeld wird durch Laubwald gebildet, oberhalb kommt auch Landwirtschaft vor. Natürliche Substrate und Strukturen sind nur wenige vorhanden. Die Hydrochemie war relativ unauffällig, es lag aber eine etwas erhöhte Leitfähigkeit und ein Nitratwert von knapp 30 mg/l vor. Außerdem war der Kaliumgehalt mit 24 mg/l und der Kupfergehalt mit 3,6 µg/l der höchste aller neun Quellen. Die Quelle wurde als geschädigt bewertet (Wert 4,08) und wies 34 Taxa und 9 Quelltaxa auf. Die meisten Arten fanden sich am naturnahen Ablauf. Faunistisch gesehen wurde die Quelle als quellverträglich (Klasse 3) eingestuft.

Die Felsquelle nördlich Diemerstein (Nr. 2304, Pfälzerwald) entspringt in 270 m Höhe in einem unteren Mittelhang. Die naturnahe Sturzquelle ist besonders schön ausgebildet, da sie deutlich sichtbar aus einer Gesteinskluft hervortritt und einen kleinen Wasserfall mit Moospolstern bildet. Sie besitzt sehr viele naturnahe Strukturen und Substrattypen. Die kurze Verrohrung nach etwa 40 m Fließstrecke unter einem Weg stellt lediglich eine sehr geringe Beeinträchtigung dar. Allerdings gibt eine kleine Zuwegung zur Quelle in Form eines schmalen, steilen Pfades. Ansonsten ist der Quellbereich und das Umfeld naturnah ausgebildet. Die Schüttung ist mit ca. 2,5 l/s recht hoch. Einzugsgebiet und Umfeld bestehen aus Mischwald. Die Quelle ist sehr substrat- und strukturreich, u. a. wächst etwas Milzkraut, was anzeigt, dass der pH-Wert nicht sehr sauer ist. Er liegt zwischen pH 5,0 und pH 7,0, meist um pH 6. Die anderen hydrochemischen Parameter sind unauffällig, lediglich Zink ist etwas erhöht (20 µg/l). Die Quelle wurde als noch naturnah bewertet (Wert 1,74) und wies 59 Taxa und 21 Quelltaxa auf, bildet also nach der Besiedlung die zweitbeste der neun Quellen. Allerdings wurde die Quelle, wenn auch sehr knapp, faunistisch als „nur“ quellverträglich eingestuft.

Die Unterhammerquelle (Nr. 0160, Pfälzerwald) liegt an einem Hangfuß im Karlstal in der Nähe eines Wanderweges in 310 m Höhe. Die teilgefasste Tümpelquelle wird durch ein altes, teilweise undichtetes Buntsandsteinbecken aufgestaut, das früher wohl als Tränke diente. Es ist mittlerweile stark überwachsen (u. a. von Milzkraut) und wird von Quellmoosen eingenommen. Es gibt mehrere Austritte direkt am Hangfuß und die Schüttung ist mit bis zu 14 l/s hoch. Nach knapp 20 m mündet die Quelle in die Moosalb. Es konnte an Sickerquellbereichen außerhalb des Beckens mäßiger Vertritt durch Besucher festgestellt werden. Außerdem wurde in der Beprobungszeit das Becken einmal vom Quellmoos „entkrautet“. Das Umfeld wird von Mischwald, das Einzugsgebiet von Nadelwald gebildet. Die Quelle ist mittel beschattet und relativ strukturreich. Die Chemie des weichen Quellwassers ist unauffällig, lediglich Zink war etwas erhöht (15 µg/l). Die Quelle ist mit einem pH-Wert um pH 5,5 gerade noch nicht versauert. Die Quelle wurde strukturell als bedingt naturnah (Wert 1,91), faunistisch als bedingt quelltypisch (Klasse 2) bewertet und ergab 38 Taxa und 15 Quelltaxa.

Die letzte Quelle des Pfälzerwaldes bildet der Moosalbsprung (Nr. 0178), eine gefasste Quelle, die den Überlauf einer noch in Betrieb befindlichen Brunnenstube darstellt. Die Quelle liegt in Tallage in der Nähe eines Hangfußes in 390 m Höhe. Der ursprüngliche Quelltyp konnte nicht mehr ermittelt werden. Die Fassung besteht aus einer breiten Rinne mit Trittsteinen, die aus Naturstein gebaut wurde und weist ca. 7 m Länge auf. Die Schüttung ist mit 35 l/s sehr hoch und die Fließgeschwindigkeit entsprechend stark. Nach ca. 10 m mündet sie in einen weiteren Quellbach, der von einer naturnäheren Quelle in 50 m Entfernung stammt (ungefasste Tümpelquelle, Talsohle, Grünland). Weiterhin befindet sich in der Nähe der Quelle eine „Quellmöblierung“ aus Tisch und Bänken. Das Einzugsgebiet besteht aus Laubwald, das Umfeld aus Mischwald bzw. extensivem Grünland, insofern ist die Quelle nur gering beschattet. Die Substrat- und Strukturausstattung liegt in einem mittleren Bereich, vor allem unterhalb der Fassung sind Quellmoose vorhanden. Die Hydrochemie entspricht einer typischen Buntsandsteinquelle, wobei die Quelle mit einem pH-Wert von pH 5,2 bereits als versauert eingestuft wurde. Leicht erhöht waren Aluminium, Cadmium und Mangan. Die Quelle wurde als geschädigt bewertet (Wert 3,98), wies aber 40 Taxa und 16 Quelltaxa auf. Die faunistische Bewertung weist die Quelle als quellverträglich aus (Klasse 3). Auch hier fanden sich die meisten Arten am naturnahen Ablauf.

H 5 Artenlisten der drei am besten bewerteten Quellen der Pfalz *

Quelle am Gerbacher Kopf Nr. 0147	Quelle am Mühlkopf Nr. 0152	Felsquelle nördlich Diemerstein Nr. 2304
Polycelis felina	Polycelis felina	Dendrocoelum lacteum
Bythinella dunkeri (RL 3)	Planorbidae indet.	Polycelis felina
Pisidium personatum	Oligochaeta indet.	Bythinella dunkeri (RL 3)
Planorbarius corneus	Gammarus fossarum	Gyraulus albus
Gammarus fossarum	Gammarus pulex	Pisidium casertanum
Niphargus sp.	Gammarus sp.	Psidium sp.
Diura bicaudata	Niphargus sp.	Limnodrilus sp.
Leuctra sp.	Baetis sp.	Tubificidae indet.
Nemoura cf. cambrica	Electrogena lateralis	Oligochaeta indet.
Nemoura cf. cinerea	Rhithrogena semicolorata	Asellus aquaticus
Nemoura sp.	Rhithrogena germanica	Gammarus fossarum
Protonemura sp.	Rhithrogena sp.	Niphargus sp.
Agabus guttatus	Amphinemoura sp.	Leuctra sp.
Anacaena globulus	Leuctra sp.	Nemoura sp.
Elodes sp.	Nemoura cf. marginata	Nemurella pictetii
Hydraena subimpressa (RL 2)	Nemoura sp.	Protonemura sp.
Agapetus fuscipes	Nemurella pictetii	Anacaena globulus
Beraea maura	Protonemura sp.	Anacaena lutescens
Beraeidae indet.	Osmylus fulvicephalus	Elmis latreillei
Chaetopterygini / Stenophylacini	Anacaena globulus	Elmis sp.
Crunoecia irrorata	Elodes sp.	Elodes sp.
Philopotamidae sp.	Helophorus flavipes	Agapetus fuscipes
Plectrocnemia sp.	Hydraena gracilis	Agapetus sp.
Potamophylax cingulatus	Coleoptera indet.	Adicella filicornis (RL 3)
Potamophylax sp.	Agapetus fuscipes	Beraeidae indet.
Sericostoma cf. personatum	Agapetus sp.	Chaetopteryx villosa
Wormaldia occipitalis	Allogamus auricollis	Crunoecia irrorata
Dicranota sp.	Beraeidae indet.	Drusinae indet.
Dixa sp.	Chaetopterygopsis cf. maclachlani	Limnephilidae indet.
Dolichopeza albipes	Chaetopteryx villosa	Plectrocnemia geniculata
Eleophila sp.	Crunoecia irrorata	Potamophylax nigricornis
Orthocladiinae indet.	Drusus annulatus	Potamophylax latipennis / luctuosus
Pedicia rivosa	Micropterna nycterobia	Potamophylax sp.
Prodiamesa olivacea	Micropterna sequax / lateralis	Ptilocolepus granulatus
Prosimulium tomosvaryi	Plectrocnemia conspersa	Rhyacophila cf. philopotamoides
Psychodidae indet.	Plectrocnemia geniculata	Rhyacophila sp.
Rhypholophus sp.	Sericostoma cf. personatum	Sericostoma cf. personatum
Satchelliella sp.	Sericostoma sp.	Stenophylax cf. vibex
Simulium costatum	Stenophylax permistus	Trichoptera indet.
Simulium vernum-Grp.	Stenophylax vibex (RL 3)	Bezzia sp.
Tanypodinae indet.	Stenophylax sp.	Chironomidae indet.
Thaumalea sp.	Tinodes assimilis	Dicranota sp.
Tipulidae indet.	Tinodes unicolor	Dixa sp.
Tonnoiriella pulchra	Tinodes sp.	Eleophila sp.
Ulomyia fuliginosa	Berdeniella sp.	Limoniidae indet.
Ulomyia sp.	Bezzia sp.	Orthocladiinae indet.
	Chironomini indet.	Pedicia rivosa
	Clytocyclus sp.	Pedicia sp.
	Dicranota sp.	Prodiamesa olivacea
	Dixa sp.	Psychodidae indet.
	Eleophila sp.	Rhypholophus sp.
	Empididae indet.	Satchelliella sp.
	Orthocladiinae indet.	Simulium vernum-Grp.
	Pedicia sp.	Szaboiella hibernica
	Simulium costatum	Telmatoscopus pseudolongicornis
	Simulium vernum-Grp.	Tanypodinae indet.
	Szaboiella hibernica	Tanytarsini indet.
	Tanytarsini indet.	Tipulidae indet.
	Thaumalea sp.	Salamandra salamandra (V)
	Tipula maxima	
	Tipulidae indet.	
	Ulomyia sp.	

* dunkelgrau = krenobiont, hellgrau = krenophil

H 6 Liste der 56 Referenzquellen mit Eckdaten

ID-Nr.	Foto	Untersuchung	Säurestatus	Feldnummer	Name der Quelle	Quellraum
0001		Rheinl.-Pfalz	nicht sauer	SM 1	Wegquelle bei Schönberg	Mittelrheintal
0004	s.ff.	Rheinl.-Pfalz	nicht sauer	SM 4 T 72	Kalksinterquelle gegenüber Loreley	Mittelrheintal
0012		Rheinl.-Pfalz	nicht sauer	SM 12 T 74	Quelle beim Salzborn	Mittelrheintal
0026	s.ff.	Rheinl.-Pfalz	nicht sauer	NM 11 T 69	Quelle am Rolandseck	Mittelrheintal
0027		Rheinl.-Pfalz	nicht sauer	NM 12	Unkelbach - Seitenquelle süd	Mittelrheintal
0039	s.ff.	Rheinl.-Pfalz	nicht sauer	SL 9 T 53	Kalksinterquelle im Walpengraben	Schichtstufenland
0048	s.ff.	Rheinl.-Pfalz	nicht sauer	WW4 T75 AK2	Baustamm-Sturzquelle westlich Rimbach	Westerwald
0049		Rheinl.-Pfalz	nicht sauer	WW 5 AK 4	Sickerquelle am Altbaum bei Ochsenbruch	Westerwald
0053		Rheinl.-Pfalz	nicht sauer	WW 9	Waldquelle bei Helferskirchen	Westerwald
0066		Rheinl.-Pfalz	nicht sauer	NH 12 T 51	Quelle auf der Steinreich	Nördl. Hunsrück
0067		Rheinl.-Pfalz	nicht sauer	NH 13	Wiesenquelle nördlich Gondershausen	Nördl. Hunsrück
0068		Rheinl.-Pfalz	nicht sauer	SH 1 T 41	Altweiherbachquelle	Südl. Hunsrück
0072	s.ff.	Rheinl.-Pfalz	sauer	SH 5 T 44	Quelle westlich Grimburg	Südl. Hunsrück
0085	s.ff.	Rheinl.-Pfalz	sauer	SH 18 T 46	Ramstaller Floßquelle	Südl. Hunsrück
0086	s.ff.	Rheinl.-Pfalz	sauer	SH 19 T 47	Quelle am Hilsbruch	Südl. Hunsrück
0087		Rheinl.-Pfalz	sauer	SH 20	Waldquelle nahe Wintersportanlage	Südl. Hunsrück
0088		Rheinl.-Pfalz	nicht sauer	SH 21 T 48	Quelle östlich Forsthaus Deuselbach	Südl. Hunsrück
0092		Rheinl.-Pfalz	nicht sauer	VE 4 T 59	Quelle am Rudersbach	Vulkaneifel
0102		Rheinl.-Pfalz	nicht sauer	KE 3 T 63	Quelle nördlich Kerpen	Kalkeifel
0137		Rheinl.-Pfalz	sauer	NB 12 T 30	Quelle am Aspenhof	Nordpf. Bergland
0142		Rheinl.-Pfalz	nicht sauer	DB 4	Waldquelle im Spendeltal	Donnersberg
0144	s.ff.	Rheinl.-Pfalz	nicht sauer	DB 6	Waldquelle bei Falkenstein	Donnersberg
0145		Rheinl.-Pfalz	sauer	DB 7 T 32	Quelle in der Lauferdell	Donnersberg
0147	s.ff.	Rheinl.-Pfalz	nicht sauer	DB 9 T 33	Quelle am Gerbacher Kopf	Donnersberg
0160		Rheinl.-Pfalz	nicht sauer	PW 4	Unterhammerquelle	Pfälzerwald
0163	s.ff.	Rheinl.-Pfalz	nicht sauer	PW 7 T 2	Quelle westlich Eiterberg	Pfälzerwald
0168		Rheinl.-Pfalz	sauer	PW 12 T 7	Quelle südlich Hermersbergerhof	Pfälzerwald
0170		Rheinl.-Pfalz	sauer	PW 14	Quelle am Franzosenstein	Pfälzerwald
1020		Dahner Felsenl.	nicht sauer	DA 20	Am Radweg bei Bobenthal	Pfälzerwald
1025		Dahner Felsenl.	sauer	DA 25 T 8	Bocksbachquelle	Pfälzerwald
1027		Dahner Felsenl.	sauer	DA 27	Hubertusbrunnen	Pfälzerwald
1032	s.ff.	Dahner Felsenl.	nicht sauer	DA 32 T 9	Quelle am Portzbach (Tümpelquelle)	Pfälzerwald
1046		Dahner Felsenl.	nicht sauer	DA 46	Klanhütte	Pfälzerwald
1056		Dahner Felsenl.	nicht sauer	DA 56	Am Schwimmbad	Pfälzerwald
1061		Dahner Felsenl.	nicht sauer	DA 61	Steinanfluss	Pfälzerwald
1065		Dahner Felsenl.	sauer	DA 65	Rossbrunnen	Pfälzerwald
1069		Dahner Felsenl.	nicht sauer	DA 69	Litschbachtal	Pfälzerwald
1074		Dahner Felsenl.	nicht sauer	DA 74	Königsbruch I	Pfälzerwald
1075		Dahner Felsenl.	nicht sauer	DA 75	Königsbruch II	Pfälzerwald
1076	s.ff.	Dahner Felsenl.	sauer	DA 76	Kreuzborn	Pfälzerwald
1083		Dahner Felsenl.	nicht sauer	DA 83	Hichtenbachquelle	Pfälzerwald
1084		Dahner Felsenl.	nicht sauer	DA 84	Quelle am Blumenstein	Pfälzerwald
1085		Dahner Felsenl.	nicht sauer	DA 85	Herbertsbrunnen	Pfälzerwald
1088		Dahner Felsenl.	nicht sauer	DA 88	Unterhalb Mummelsee	Pfälzerwald
1091		Dahner Felsenl.	nicht sauer	DA 91	Unterer Michelsbrunnen	Pfälzerwald
1098		Dahner Felsenl.	sauer	DA 98	Wutzequell	Pfälzerwald
2203		Pfalz	nicht sauer	H 3	Hasselbachquelle Schloß St. Paul	Haardtrand
2204		Pfalz	nicht sauer	H 4	Quelle unterhalb Kaltenbrunnen	Haardtrand
2301		Pfalz	nicht sauer	P 1	Quelle an Wildfutterstelle	Pfälzerwald
2304	s.ff.	Pfalz	nicht sauer	P4 PW25 T5	Felsquelle nördlich Diemerstein	Pfälzerwald
2308		Pfalz	nicht sauer	P 8	Quelle unterhalb Horberg	Pfälzerwald
2402		Pfalz	nicht sauer	D 2	Quelle bei Königsdelle	Donnersberg
2403		Pfalz	nicht sauer	D 3 T 37	Kirschbachquelle	Donnersberg
3001		Westerwald	nicht sauer	AK 1	Obere Waldsickerquellen	Westerwald
3003		Westerwald	nicht sauer	AK 5 T 76	Grabenquelle auf den Schachten	Westerwald
4016	s.ff.	Quelltypenatlas	nicht sauer	T 16	Quelle am Auerbacher Berg	Westrich

H 6 Liste der 56 Referenzquellen mit Eckdaten

ID-Nr.	Quellentyp	Kennung	Sonderquellentyp	Hauptumfeld	Strukturbew.-klasse	Taxazahl	Quellentaxaz.	faun.-ökol. Wertklasse
0001	Sturzquelle	R	nein	Mischwald	bedingt naturnah	19	9	bedingt quelltypisch
0004	Wanderquelle	M,ca	Kalksinterquelle	Laubwald	naturnah	15	7	quellverträglich
0012	Sickerquelle	H	nein	Laubwald	naturnah	10	6	quelltypisch
0026	Sturzquelle	R(M)	nein	Laubwald	naturnah	15	6	bedingt quelltypisch
0027	Sturzquelle	H(R)	nein	Laubwald	bedingt naturnah	20	9	bedingt quelltypisch
0039	Sturzquelle	R(H),ca	Kalksinterquelle	Laubwald	naturnah	29	7	quellverträglich
0048	Sickerquelle	H(R)	nein	Laubwald	naturnah	15	8	bedingt quelltypisch
0049	Sickerquelle	H	nein	Laubwald	naturnah	27	11	quelltypisch
0053	Sickerquelle	H	nein	Mischwald	bedingt naturnah	22	8	bedingt quelltypisch
0066	Sickerquelle	H(R)	nein	ext. Grünland	bedingt naturnah	16	7	bedingt quelltypisch
0067	Sickerquelle	H	nein	Laubwald	bedingt naturnah	11	3	bedingt quelltypisch
0068	Sickerquelle	H(M)	nein	Nadelwald	bedingt naturnah	20	8	bedingt quelltypisch
0072	Sickerquelle	H(M)	nein	Nadelwald	bedingt naturnah	6	3	bedingt quelltypisch
0085	Sickerquelle	H(M)	nein	Mischwald	bedingt naturnah	10	5	bedingt quelltypisch
0086	Sickerquelle	H	nein	Laubwald	naturnah	8	4	bedingt quelltypisch
0087	Sickerquelle	H	nein	Nadelwald	bedingt naturnah	8	3	bedingt quelltypisch
0088	Sickerquelle	H	nein	Laubwald	naturnah	9	4	quelltypisch
0092	Sickerquelle	H	nein	Mischwald	bedingt naturnah	15	7	bedingt quelltypisch
0102	Sickerquelle	H	nein	Laubwald	naturnah	9	5	bedingt quelltypisch
0137	Sickerquelle	H	nein	Mischwald	bedingt naturnah	13	6	bedingt quelltypisch
0142	Tümpelquelle	L(R)	nein	Laubwald	bedingt naturnah	49	18	bedingt quelltypisch
0144	künstlich	?(R)	nein	Laubwald	naturnah	15	6	bedingt quelltypisch
0145	Sturzquelle	R(M)	nein	Laubwald	naturnah	11	4	bedingt quelltypisch
0147	Sturzquelle	R(H)	nein	Laubwald	naturnah	46	19	bedingt quelltypisch
0160	künstlich	?(L)	nein	Mischwald	bedingt naturnah	38	15	bedingt quelltypisch
0163	Sturzquelle	R	nein	Nadelwald	bedingt naturnah	7	5	bedingt quelltypisch
0168	Sturzquelle	R	nein	Mischwald	naturnah	7	4	quelltypisch
0170	Sturzquelle	R	nein	Mischwald	naturnah	10	6	bedingt quelltypisch
1020	Sturzquelle	R	nein	Laubwald	naturnah	9	6	quelltypisch
1025	Sturzquelle	R	nein	Laubwald	naturnah	7	3	bedingt quelltypisch
1027	Sturzquelle	R	nein	Laubwald	bedingt naturnah	5	3	bedingt quelltypisch
1032	Tümpelquelle	L(R)	nein	Mischwald	naturnah	11	4	quelltypisch
1046	Tümpelquelle	L	nein	ext. Grünland	bedingt naturnah	12	4	quelltypisch
1056	Tümpelquelle	L	nein	Mischwald	bedingt naturnah	8	2	bedingt quelltypisch
1061	Sturzquelle	R	nein	ext. Grünland	bedingt naturnah	10	5	bedingt quelltypisch
1065	Sturzquelle	R	nein	Nadelwald	bedingt naturnah	8	4	bedingt quelltypisch
1069	Sturzquelle	R	nein	Mischwald	naturnah	17	7	bedingt quelltypisch
1074	Tümpelquelle	L	nein	ext. Grünland	bedingt naturnah	9	6	quelltypisch
1075	Sickerquelle	H	nein	Laubwald	naturnah	13	6	quelltypisch
1076	Sturzquelle	R	nein	Laubwald	naturnah	11	5	bedingt quelltypisch
1083	Sturzquelle	R	nein	Laubwald	naturnah	10	3	quelltypisch
1084	Sturzquelle	R	nein	Mischwald	bedingt naturnah	10	6	quelltypisch
1085	Tümpelquelle	L	nein	ext. Grünland	naturnah	5	3	quelltypisch
1088	Tümpelquelle	L	nein	Mischwald	naturnah	10	6	quelltypisch
1091	Sturzquelle	R	nein	Laubwald	naturnah	9	4	bedingt quelltypisch
1098	Sturzquelle	R	nein	Mischwald	naturnah	6	5	quelltypisch
2203	Sickerquelle	H(R)	nein	Mischwald	bedingt naturnah	21	10	bedingt quelltypisch
2204	Sickerquelle	H(R)	nein	ext. Grünland	naturnah	19	8	bedingt quelltypisch
2301	Sturzquelle	R(H)	nein	Mischwald	bedingt naturnah	12	5	bedingt quelltypisch
2304	Sturzquelle	R(H)	nein	Laubwald	naturnah	59	21	quellverträglich
2308	Sturzquelle	R	nein	Laubwald	naturnah	12	5	bedingt quelltypisch
2402	Sickerquelle	H	nein	Laubwald	bedingt naturnah	12	5	bedingt quelltypisch
2403	Wanderquelle	M	nein	Laubwald	naturnah	18	9	quelltypisch
3001	Sickerquelle	H	nein	Laubwald	naturnah	19	9	bedingt quelltypisch
3003	Sickerquelle	H	nein	Laubwald	naturnah	20	9	bedingt quelltypisch
4016	Sturzquelle	R,ca	Kalksinterquelle	Mischwald	naturnah	17	6	bedingt quelltypisch

H 7 Fotos ausgewählter Referenzquellen



Quelle Nr. 0004 (südliches Mittelrheintal)



Quelle Nr. 0026 (nördliches Mittelrheintal)



Quelle Nr. 0039 (Schichtstufenland)



Quelle Nr. 0048 (Westerwald)

H 7 Fotos ausgewählter Referenzquellen



Quelle Nr. 0072 (südlicher Hunsrück)



Quelle Nr. 0085 (südlicher Hunsrück)



Quelle Nr. 0086 (südlicher Hunsrück)



Quelle Nr. 0144 (Donnersberg)



Quelle Nr. 0147 (Donnersberg)



Quelle Nr. 0163 (Pfälzerwald)



Quelle Nr. 1076 (Pfälzerwald, Foto: T. Gutensohn)

H 7 Fotos ausgewählter Referenzquellen



Quelle Nr. 1032 (Pfälzerwald, Foto: T. Gutensohn)



Quelle Nr. 2304 (Pfälzerwald)



Quelle Nr. 4016 (Westrich)

H 8 Anhang Datenbank aller Quellen, Teil Stammdaten

Feldnummer	Datum	Name der Quelle	ID-Nr.	Kreis/Gemeinde	Rechtswert	Hochwert TK 25	Quellraum	Naturraum	Witterung	Höhe	Geologie	Status	
SM 1	01.03.1999	Wegquelle bei Schönberg	0001	SIM/Delhofen	3409700	5551774	5912	Mittelherthenthal	Südl. Mittelherthenthal	kalt und regnerisch	210	Dev. Schiefer, Grauw.	Abfluss vorhanden
SM 2	02.03.1999	Meerbachquelle	0002	SIM/Niederburg	3407934	5554879	5812	Mittelherthenthal	Südl. Mittelherthenthal	kalt und regnerisch	285	Dev. Schiefer, Grauw.	Abfluss vorhanden
SM 3	02.03.1999	Seelenbachquelle-Wasserbehälter	0003	SIM/Bieberheim	3407350	5556400	5812	Mittelherthenthal	Südl. Mittelherthenthal	kalt und regnerisch	290	Dev. Schiefer, Grauw.	Abfluss vorhanden
SM 4 T 72	02.03.1999	Kalkinterquelle gegenüber Loreley	0004	SIM/Urbar	3409505	5556005	5812	Mittelherthenthal	Südl. Mittelherthenthal	kalt und regnerisch	200	Dev. Schiefer, Grauw.	Abfluss vorhanden
SM 5	03.03.1999	Lohbachquelle westlich Bieberheim	0005	SIM/Bieberheim	3406769	5556579	5812	Mittelherthenthal	Südl. Mittelherthenthal	kalt und regnerisch	315	Dev. Schiefer, Grauw.	Abfluss vorhanden
SM 6	03.03.1999	Wolfsbachquelle	0006	SIM/Holzfeld	3404055	5559500	5811	Mittelherthenthal	Südl. Mittelherthenthal	kalt und regnerisch	260	Dev. Schiefer, Grauw.	Abfluss vorhanden
SM 7	04.03.1999	Weidequelle - Loreley	0007	EMS/Loreley	3410109	5556899	5812	Mittelherthenthal	Südl. Mittelherthenthal	kalt und regnerisch	250	Dev. Schiefer, Grauw.	Abfluss vorhanden
SM 8	04.03.1999	Abrahambrunnen	0008	EMS/Patersberg	3409480	5559800	5812	Mittelherthenthal	Südl. Mittelherthenthal	kalt und bedeckt	200	Dev. Schiefer, Grauw.	Abfluss vorhanden
SM 9 T 73	05.03.1999	Quelle bei Burg Gutenfels	0009	EMS/Kaub	3412085	5551227	5912	Mittelherthenthal	Südl. Mittelherthenthal	kalt und bedeckt	270	Dev. Schiefer, Grauw.	Abfluss vorhanden
SM 10	10.03.1999	Ranschbach/Engelbachquelle	0010	SIM/Perscheide	3403342	5549425	5912	Mittelherthenthal	Südl. Mittelherthenthal	kalt und regnerisch	340	Dev. Quarzite	Abfluss vorhanden
SM 11	11.03.1999	Salzborn	0011	EMS/Braubach	3405324	5569980	5712	Mittelherthenthal	Südl. Mittelherthenthal	kalt und sonnig	155	Dev. Quarzite	Abfluss vorhanden
SM 12 T 74	11.03.1999	Quelle beim Salzborn	0012	EMS/Braubach	3405461	5569780	5712	Mittelherthenthal	Südl. Mittelherthenthal	kalt und sonnig	155	Dev. Schiefer, Grauw.	Abfluss vorhanden
SM 13	11.03.1999	Fischichtequelle bei Schönberg	0013	SIM/Delhofen	3401960	5551785	5912	Mittelherthenthal	Südl. Mittelherthenthal	kalt und sonnig	235	Dev. Schiefer, Grauw.	Abfluss vorhanden
SM 14	12.03.1999	Quelle in Neurath (Brunnen)	0014	MZ/Neurath	3411685	5546770	5912	Mittelherthenthal	Südl. Mittelherthenthal	kalt und sonnig	260	Dev. Schiefer, Grauw.	Abfluss vorhanden
SM 15	12.03.1999	Quelle südlich Neurath	0015	MZ/Neurath	3411380	5546340	5912	Mittelherthenthal	Südl. Mittelherthenthal	kalt und sonnig	280	Dev. Schiefer, Grauw.	Abfluss vorhanden
NM 1	08.03.1999	Steinbruchquelle - Hohe Buche	0016	AW/Alkerhof	2594660	5593470	5509	Mittelherthenthal	Nördl. Mittelherthenthal	kalt und bedeckt	300	Dev. Schiefer, Grauw.	Abfluss vorhanden
NM 2 T 67	08.03.1999	Quelle bei Alkerhof	0017	MYK/Alkerhof	2595300	5593580	5510	Mittelherthenthal	Nördl. Mittelherthenthal	kalt und bedeckt	210	Dev. Schiefer, Grauw.	Abfluss vorhanden
NM 3	09.03.1999	Tiefpfadquelle	0018	AW/Bad Breisig	2590000	5598500	5409	Mittelherthenthal	Nördl. Mittelherthenthal	kalt und bedeckt	190	Dev. Schiefer, Grauw.	Abfluss vorhanden
NM 4 T 68	09.03.1999	Quelle am Kesselberg	0019	AW/Bad Breisig	2591530	5597850	5409	Mittelherthenthal	Nördl. Mittelherthenthal	kalt und bedeckt	160	Dev. Schiefer, Grauw.	Abfluss vorhanden
NM 5 T 70	09.03.1999	Geisprudel	0020	AW/Bad Breisig	2592155	5597627	5409	Mittelherthenthal	Nördl. Mittelherthenthal	kalt und bedeckt	160	Dev. Schiefer, Grauw.	Abfluss vorhanden
NM 6	10.03.1999	Quelle nördlich Lieshof	0021	AW/Bad Breisig-Lieshof	2591460	5596432	5509	Mittelherthenthal	Nördl. Mittelherthenthal	kalt und bedeckt	150	Dev. Schiefer, Grauw.	Abfluss vorhanden
NM 7	15.03.1999	Marenborn	0022	NR/Leutesdorf	2598433	5592428	5510	Mittelherthenthal	Nördl. Mittelherthenthal	kalt und sonnig	170	Dev. Schiefer, Grauw.	Abfluss vorhanden
NM 8	15.03.1999	Brunnen bei Annahof	0023	NR/Rheinbroich-Annahof	2595378	5593628	5510	Mittelherthenthal	Nördl. Mittelherthenthal	kalt und sonnig	190	Dev. Schiefer, Grauw.	ohne Abfluss
NM 9	15.03.1999	Brunnen bei Leubsdorf	0024	NR/Leubsdorf	2592310	5601610	5409	Mittelherthenthal	Nördl. Mittelherthenthal	kalt und sonnig	140	Dev. Schiefer, Grauw.	Abfluss vorhanden
NM 10	16.03.1999	Brunnenstube bei Leubsdorf	0025	NR/Leubsdorf	2592465	5601517	5409	Mittelherthenthal	Nördl. Mittelherthenthal	kalt und sonnig	160	Dev. Schiefer, Grauw.	Abfluss vorhanden
NM 11 T 69	16.03.1999	Quelle am Rolandseck	0026	AW/Rolandseck	2584575	5611907	5309	Mittelherthenthal	Nördl. Mittelherthenthal	kalt und sonnig	140	Dev. Schiefer, Grauw.	Abfluss vorhanden
NM 12	16.03.1999	Unkelbach - Seitenquelle süd	0027	AW/Unkelbach	2584520	5607505	5409	Mittelherthenthal	Nördl. Mittelherthenthal	kalt und sonnig	125	Dev. Schiefer, Grauw.	Abfluss vorhanden
NM 13 T 71	17.03.1999	Quelle Marienfels	0028	AW/Calmbach	2585361	5606272	5409	Mittelherthenthal	Nördl. Mittelherthenthal	kalt und bedeckt	110	Dev. Schiefer, Grauw.	Abfluss vorhanden
NM 14	17.03.1999	Tönissteiner Quelle	0029	AW/Bad Tönisstein	2593225	5592777	5509	Mittelherthenthal	Nördl. Mittelherthenthal	kalt und sonnig	110	Dev. Schiefer, Grauw.	ohne Abfluss
NM 15	17.03.1999	Kühlbrunnen	0030	AW/Namedy	2598633	5590628	5510	Mittelherthenthal	Nördl. Mittelherthenthal	kalt und sonnig	200	Dev. Schiefer, Grauw.	Abfluss vorhanden
SL 1	24.03.1999	Quelle nördlich Schleibach	0031	BIT/Bettingen	2530354	5533783	6004	Schichtstufenland	Schichtstufenland	kalt und sonnig	270	Muschelkalk/Keuper	Abfluss vorhanden
SL 2	29.03.1999	Quelle nördlich Stockem	0032	BIT/Stockem	2528170	5533225	6004	Schichtstufenland	Schichtstufenland	kalt und sonnig	280	Muschelkalk/Keuper	Abfluss vorhanden
SL 3	29.03.1999	Quelle östlich Birringen	0033	BIT/Birringen	2526889	5537213	6004	Schichtstufenland	Schichtstufenland	kalt und sonnig	350	Muschelkalk/Keuper	Abfluss vorhanden
SL 4	29.03.1999	Hiesker Bach-Quelle	0034	BIT/Hiesel	2527321	5533560	6004	Schichtstufenland	Schichtstufenland	kalt und sonnig	345	Muschelkalk/Keuper	Abfluss vorhanden
SL 5	30.03.1999	Quelle südlich Wetterbach	0035	BIT/Bettingen	2523879	5532479	6004	Schichtstufenland	Schichtstufenland	kalt und sonnig	265	Muschelkalk/Keuper	Abfluss vorhanden
SL 6 T 52	30.03.1999	Weierbachquelle	0036	BIT/Oberweis	2532876	5535497	6004	Schichtstufenland	Schichtstufenland	kalt und sonnig	310	Muschelkalk/Keuper	Abfluss vorhanden
SL 7	30.03.1999	Autobahnquelle bei Fließem	0037	BIT/Fließem	2538400	5544777	5905	Schichtstufenland	Schichtstufenland	kalt und sonnig	385	Muschelkalk/Keuper	Abfluss vorhanden
SL 8	30.03.1999	Quelle nördlich Badem	0038	BIT/Badem	2543264	5541634	5905	Schichtstufenland	Schichtstufenland	gemäßigt und sonnig	355	Muschelkalk/Keuper	Abfluss vorhanden
SL 9 T 53	31.03.1999	Kalkinterquelle im Walpengraben	0039	BIT/Metterich	2541711	5538587	6005	Schichtstufenland	Schichtstufenland	kalt und sonnig	305	Muschelkalk/Keuper	Abfluss vorhanden
SL 10	31.03.1999	Quelle Eingang Walpengraben	0040	BIT/Metterich	2541622	5538370	6005	Schichtstufenland	Schichtstufenland	kalt und sonnig	389	Muschelkalk/Keuper	Abfluss vorhanden
SL 11	31.03.1999	Brunnenstube bei Ok	0041	TR/Ok	2540395	5520750	6105	Schichtstufenland	Schichtstufenland	kalt und sonnig	370	Muschelkalk/Keuper	ohne Abfluss
SL 12 T 54	31.03.1999	Quelle an den Prümwieserfällen	0042	BIT/Irel	2522111	5524847	6104	Schichtstufenland	Schichtstufenland	kalt und sonnig	215	Muschelkalk/Keuper	Abfluss vorhanden
SL 13 T 55	01.04.1999	Quelle nordwestlich Freudershöhe	0043	BIT/Röhl	2542216	5534964	6005	Schichtstufenland	Schichtstufenland	kalt und sonnig	325	Muschelkalk/Keuper	Abfluss vorhanden
SL 14	01.04.1999	Feldgrabenquelle östlich Alsdorf	0044	BIT/Alsdorf	2534504	5528364	6104	Schichtstufenland	Schichtstufenland	kalt und sonnig	265	Muschelkalk/Keuper	Abfluss vorhanden
WW 1	17.05.1999	Wiesengraben bei Berod	0045	AK/Berod	3408172	5613983	5312	Westerwald	Westerwald	kalt und sonnig	305	Dev. Schiefer, Grauw.	Abfluss vorhanden
WW 2 AK 10	17.05.1999	Renaturierte Wiesengraben bei Weyerbusch	0046	AK/Weyerbusch	3399865	5621052	5211	Westerwald	Westerwald	kalt und bedeckt	282	Dev. Schiefer, Grauw.	Abfluss vorhanden
WW 3 AK 6	18.05.1999	Sickelgraben am Forstweg bei Werkhäusen	0047	AK/Werkhäusen	3397892	5622452	5211	Westerwald	Westerwald	kalt und bedeckt	395	Dev. Schiefer, Grauw.	Abfluss vorhanden
WW 4 T 75 AK2	18.05.1999	Baustamm-Sturzquelle westlich Rimbach	0048	AK/Rimbach	3398167	5623147	5211	Westerwald	Westerwald	kalt und bedeckt	294	Dev. Schiefer, Grauw.	Abfluss vorhanden
WW 5 AK 4	18.05.1999	Sickerquelle am Altbau bei Ochsenbruch	0049	AK/Werkhäusen	3397823	5622796	5211	Westerwald	Westerwald	kalt und bedeckt	307	Dev. Schiefer, Grauw.	Abfluss vorhanden
WW 6	18.05.1999	Quelle bei Marenbach	0050	AK/Marenbach	3398456	5621693	5211	Westerwald	Westerwald	kalt und sonnig	305	Dev. Schiefer, Grauw.	Abfluss vorhanden
WW 7 AK 7	18.05.1999	Teichquelle bei Weyerbusch	0051	AK/Weyerbusch	3398224	5621862	5211	Westerwald	Westerwald	kalt und bedeckt	308	Dev. Schiefer, Grauw.	Abfluss vorhanden
WW 8 AK 9	19.05.1999	Große Wiesengraben bei Weyerbusch (Teil)	0052	AK/Weyerbusch	3398570	5621557	5211	Westerwald	Westerwald	kalt und sonnig	270	Dev. Schiefer, Grauw.	Abfluss vorhanden
WW 9	19.05.1999	Waldquelle bei Helferskirchen	0053	WW/Helferskirchen	3415031	5597198	5412	Westerwald	Westerwald	kalt und bedeckt	350	Dev. Quarzite	Abfluss vorhanden
WW 10	19.05.1999	Quelle bei Dernbach	0054	WW/Dernbach	3414131	5591050	5512	Westerwald	Westerwald	kalt und regnerisch	280	Dev. Schiefer, Grauw.	ohne Abfluss
NH 1	25.05.1999	Felsquelle an der Borewies	0055	SIM/Gehweiler	2605317	5528074	6110	Hunsrück	Nördl. Hunsrück	kalt und regnerisch	270	Dev. Quarzite	Abfluss vorhanden
NH 2	25.05.1999	Waldquelle bei Gemünden	0056	SIM/Gemünden	3393587	5529625	6111	Hunsrück	Nördl. Hunsrück	kalt und bedeckt	440	Dev. Quarzite	Abfluss vorhanden
NH 3 T 39	26.05.1999	Tiefenbächenquelle	0057	SIM/Tiefenbach	3396269	5532552	6011	Hunsrück	Nördl. Hunsrück	kalt und sonnig	470	Dev. Quarzite	Abfluss vorhanden
NH 4	26.05.1999	Reizenborn	0058	SIM/Fliesweiler	3398665	5535166	6011	Hunsrück	Nördl. Hunsrück	kalt und sonnig	505	Dev. Quarzite	Abfluss vorhanden
NH 5	26.05.1999	Wiesengraben bei Lingerhahn	0059	SIM/Lingerhahn	3395923	5522475	5911	Hunsrück	Nördl. Hunsrück	kalt und sonnig	470	Dev. Quarzite	Abfluss vorhanden
NH 6	26.05.1999	Baubachquelle bei Hausbay	0060	SIM/Hausbay	3398537	5553225	5811	Hunsrück	Nördl. Hunsrück	kalt und sonnig	450	Dev. Schiefer, Grauw.	Abfluss vorhanden
NH 7	26.05.1999	Wiesengraben bei Morath	0061	SIM/Morath	3398835	5556197	5811	Hunsrück	Nördl. Hunsrück	kalt und sonnig	475	Dev. Schiefer, Grauw.	Abfluss vorhanden
NH 8	27.05.1999	Sickerquelle westlich Morsthausen	0062	SIM/Morsthausen	3203763	5562884	5810	Hunsrück	Nördl. Hunsrück	kalt und sonnig	285	Dev. Quarzite	Abfluss vorhanden
NH 9	27.05.1999	Quelle bei Eichstiel	0063	SIM/Gondershausen	2604911	5559392	5810	Hunsrück	Nördl. Hunsrück	kalt und sonnig	340	Dev. Schiefer, Grauw.	Abfluss vorhanden
NH 10	27.05.1999	Schönecker Stahlbrunnen	0064	SIM/Dieler	3393282	5561131	5811	Hunsrück	Nördl. Hunsrück	kalt und sonnig	235	Dev. Quarzite	Abfluss vorhanden
NH 11 T 40	27.05.1999	Hergesterbachquelle	0065	SIM/Liesfeld	3394444	5558486	5811	Hunsrück	Nördl. Hunsrück	kalt und sonnig	410	Dev. Schiefer, Grauw.	Abfluss vorhanden
NH 12 T 51	27.05.1999	Quelle auf der Steinrich	0066	SIM/Gondershausen	3393400	5559277	5811	Hunsrück	Nördl. Hunsrück	kalt und sonnig	401	Dev. Schiefer, Grauw.	Abfluss vorhanden
NH 13	28.05.1999	Wiesengraben nördlich Gondershausen	0067	SIM/Gondershausen	3393464	5557958	5811	Hunsrück	Nördl. Hunsrück	kalt und sonnig	390	Dev. Schiefer, Grauw.	Abfluss vorhanden
SH 1 T 41	31.05.1999	Altweierbachquelle	0068	TR/Reinsfeld	2560301	5505587	6307	Hunsrück	Südl. Hunsrück	gemäßigt und sonnig	595	Dev. Quarzite	Abfluss vorhanden
SH 2	31.05.1999	Ruwerquelle	0069	TR/Reinsfeld	2559769	5503674	6306	Hunsrück	Südl. Hunsrück	gemäßigt und sonnig	600	Dev. Quarzite	Abfluss vorhanden
SH 3 T 42	01.06.1999	Bocksbergquelle	0070	TR/Reinsfeld	2562260	5502408	6307	Hunsrück	Südl. Hunsrück	gemäßigt und sonnig	510	Dev. Schiefer, Grauw.	Abfluss vorhanden
SH 4 T 44	01.06.1999	Waldquelle am Reichertsbruch	0071	TR/Ok	2561466	5498452	6307	Hunsrück	Südl. Hunsrück	gemäßigt und sonnig	595	Dev. Quarzite	Abfluss vorhanden
SH 5 T 45	01.06.1999	Quelle westlich Grimburg	0072	TR/Grimburg	2562091	5498177	6307	Hunsrück	Südl. Hunsrück	gemäßigt und sonnig	555	Dev. Quarzite	Abfluss vorhanden
SH 6 T 43	01.06.1999	Quelle östlich Segelflugplatz	0073	TR/Grimburg	2561996	5498172	6307	Hunsrück	Südl. Hunsrück	gemäßigt und sonnig	570	Dev. Quarzite	Abfluss vorhanden
SH 7	01.06.1999	Wiesengraben bei Gusenburg	0074	TR/Gusenburg	2565680	5498006	6307	Hunsrück	Südl. Hunsrück	gemäßigt und sonnig	495	Dev. Quarzite	Abfluss vorhanden
SH 8	01.06.1999	Wiesengraben nördlich Gusenburg	0075	TR/Gusenburg	2564816	5502096	6307	Hunsrück	Südl. Hunsrück	gemäßigt und bedeckt	545	Dev. Schiefer, Grauw.	Abfluss vorhanden
SH 9	02.06.1999	Wiesengraben bei Haserich	0076	COC/Haserich	2595109	5545897	5909	Hunsrück	Südl. Hunsrück	gemäßigt und bedeckt	440	Dev. Schiefer, Grauw.	Abfluss vorhanden
SH 10	02.06.1999	Aufgabergquelle bei Schauern	0077	COC/Schauern	2590586	5543256	5909	Hunsrück	Südl. Hunsrück	warm und bedeckt	350	Dev. Schiefer, Grauw.	Abfluss vorhanden
SH 11	02.06.1999	Weinbergquelle bei Zell	0078	COC/Zell	2585802	5543067	5909	Hunsrück	Südl. Hunsrück	gemäßigt und regnerisch	210	Dev. Schiefer, Grauw.	Abfluss vorhanden
SH 12 T 45	28.06.1999	Hahnenborn	0079	WIL/Muhl	2574129	5505636	6308	Hunsrück	Südl. Hunsrück	gemäßigt und regnerisch	715	Dev. Quarzite	Abfluss vorhanden
SH 13	29.06.1999	Quelle am Göttenbach	0080	BIR/Oberhambach	2582392	5506840	6308	Hunsrück	Südl. Hunsrück	gemäßigt und regnerisch	500	Dev. Quarzite	Abfluss vorhanden
SH 14	29.06.1999	Petersquelle	0081	BIR/Oberhambach	2582359	5506577	6308	Hunsrück	Südl. Hunsrück	warm und bedeckt	500	Dev. Quarzite	ohne Abfluss
SH 15	29.06.1999	Sauerbrunnen bei Oberhambach	0082	BIR/Oberhambach	2582414	5506275	6308	Hunsrück	Südl. Hunsrück	gemäßigt und regnerisch	470		

H 8 Anhang Datenbank aller Quellen, Teil Stammdaten

Feldnummer	Datum	Name der Quelle	ID-Nr.	Kreis/Gemeinde	Rechtsw.	Hochwert	TK 25	Quellraum	Naturraum	Witterung	Höhe	Geologie	Status
NB 7	09.04.1999	Quelle östlich Dickes Eiche	0132	KH/Rehborn	34067071	5510407	6212	Nordpf. Bergland	Nordpf. Bergland	gemäßigt und sonnig	240	Rotl.-Sedimente	Abfluss vorhanden
NB 8	09.04.1999	Wiesenquelle Weiniesebach	0133	KH/Rehborn	3407084	5509425	6212	Nordpf. Bergland	Nordpf. Bergland	gemäßigt und sonnig	300	Rotl.-Sedimente	Abfluss vorhanden
NB 9	12.04.1999	Bergwerkquelle Wolfstein	0134	KUS/Wolfstein	3398384	5494727	6411	Nordpf. Bergland	Nordpf. Bergland	kalt und regnerisch	320	Rotl.-Magmatite	Abfluss vorhanden
NB 10	12.04.1999	Weidequelle bei Unkenbach	0135	KIB/Unkenbach	3408390	5509584	6212	Nordpf. Bergland	Nordpf. Bergland	kalt und regnerisch	290	Rotl.-Sedimente	Abfluss vorhanden
NB 11	12.04.1999	Silberbrunnen	0136	KIB/Halgarten	3412417	5512730	6212	Nordpf. Bergland	Nordpf. Bergland	kalt und regnerisch	280	Rotl.-Sedimente	Abfluss vorhanden
NB 12 T 30	13.04.1999	Quelle am Aspenhof	0137	KL/Mehlbach	3408387	5489046	6412	Nordpf. Bergland	Nordpf. Bergland	kalt und regnerisch	320	Mittl.-Buntsandstein	Abfluss vorhanden
NB 13	13.04.1999	Weidequelle bei Schweisweiler	0138	KIB/Schweisweiler	3416378	5496284	6413	Nordpf. Bergland	Nordpf. Bergland	kalt und regnerisch	315	Rotl.-Sedimente	Abfluss vorhanden
DB 1	14.04.1999	Quelle im NSG Langental	0139	KIB/Imbsbach	3419787	5496490	6313	Nordpf. Bergland	Donnersberg	kalt und regnerisch	360	Rotl.-Magmatite	Abfluss vorhanden
DB 2	14.04.1999	Höpfnerbrünnchen	0140	KIB/Imbsbach	3420751	5495179	6413	Nordpf. Bergland	Donnersberg	kalt und bedeckt	345	Rotl.-Sedimente	Abfluss vorhanden
DB 3	14.04.1999	Quelle Eisdickerkäuse	0141	KIB/Hahnenlocherhof	3421457	5495717	6413	Nordpf. Bergland	Donnersberg	kalt und regnerisch	340	Rotl.-Sedimente	Abfluss vorhanden
DB 4	14.04.1999	Waldquelle im Spendental	0142	KIB/Steinbach	3422501	5497110	6313	Nordpf. Bergland	Donnersberg	kalt und regnerisch	350	Rotl.-Magmatite	Abfluss vorhanden
DB 5 T 31	15.04.1999	Quelle am Reiterkopf	0143	KIB/Hintersteinerhof	3417047	5498127	6313	Nordpf. Bergland	Donnersberg	kalt und regnerisch	405	Rotl.-Magmatite	Abfluss vorhanden
DB 6	15.04.1999	Waldquelle bei Falkenstein	0144	KIB/Falkenstein	3417495	5497649	6313	Nordpf. Bergland	Donnersberg	kalt und regnerisch	410	Rotl.-Sedimente	Abfluss vorhanden
DB 7 T 32	15.04.1999	Quelle in der Lauferdell	0145	KIB/Falkenstein	3420336	5497626	6313	Nordpf. Bergland	Donnersberg	kalt und regnerisch	510	Rotl.-Magmatite	Abfluss vorhanden
DB 8	15.04.1999	Waldquelle bei Schwarzengraben	0146	KIB/Ruppertsecken	3420409	5503189	6313	Nordpf. Bergland	Donnersberg	kalt und regnerisch	350	Rotl.-Magmatite	Abfluss vorhanden
DB 9 T 33	16.04.1999	Quelle am Gerbacher Kopf	0147	KIB/Ruppertsecken	3420508	5502838	6313	Nordpf. Bergland	Donnersberg	kalt und regnerisch	370	Rotl.-Magmatite	Abfluss vorhanden
DB 10 T 34	16.04.1999	Quelle südlich Schwarzengraben	0148	KIB/Ruppertsecken	3420427	5503055	6313	Nordpf. Bergland	Donnersberg	kalt und regnerisch	355	Rotl.-Magmatite	Abfluss vorhanden
WE 1	11.05.1999	Weidequelle Sportplatz	0149	PS/Schauberg	3396415	5466329	6611	Westlich	Westlich	gemäßigt und regnerisch	390	Muschelkalk/Keuper	Abfluss vorhanden
WE 2	11.05.1999	Pferdsbrunnen	0150	PS/Schmitshausen	3391790	5464294	6611	Westlich	Westlich	gemäßigt und regnerisch	330	Muschelkalk/Keuper	Abfluss vorhanden
WE 3	12.05.1999	Naubrunnen	0151	PS/Schmitshausen	3392092	5463994	6611	Westlich	Westlich	gemäßigt und regnerisch	320	Ob. Buntsandstein	Abfluss vorhanden
WEA W2 T13	12.05.1999	Quelle am Mühkopf	0152	PS/Kneipmühle	3393667	5461926	6711	Westlich	Westlich	gemäßigt und regnerisch	255	Ob. Buntsandstein	Abfluss vorhanden
WE 5	14.05.1999	Quelle am Naturfordehaus	0153	PS/Niedersimeren	3397543	5446385	6811	Westlich	Westlich	gemäßigt und regnerisch	315	Ob. Buntsandstein	Abfluss vorhanden
WE 11 14	14.05.1999	Felsenbrunnen	0154	PS/Hocksteinerhof	3395110	5446495	6811	Westlich	Westlich	gemäßigt und regnerisch	400	Ob. Buntsandstein	Abfluss vorhanden
WE 7	14.05.1999	Waldquelle in der Rieslochklamm	0155	PS/Thalesch-Fr. Fröschen	3398067	5460741	6711	Westlich	Westlich	gemäßigt und regnerisch	270	Ob. Buntsandstein	Abfluss vorhanden
WE 8	14.05.1999	Kläranlage	0156	PS/Abseweiler	3393554	5459227	6711	Westlich	Westlich	gemäßigt und regnerisch	290	Ob. Buntsandstein	ohne Abfluss
PW 1	23.04.1999	Quelle bei Hahnenhof	0157	SÜW/Oberschlottenbach	3418195	5445745	6813	Pfälzerwald	Pfälzerwald	gemäßigt und bedeckt	245	Mittl. Buntsandstein	Abfluss vorhanden
PW 2 DA 35	23.04.1999	Weidequelle bei Erlenbach (Radweg)	0158	PS/Erlenbach	3416080	5442810	6813	Pfälzerwald	Pfälzerwald	gemäßigt und sonnig	238	Mittl. Buntsandstein	Abfluss vorhanden
PW 3	26.04.1999	Finsterbrunnen	0159	KL/Stelzenberg	3407120	5470265	6612	Pfälzerwald	Pfälzerwald	kalt und sonnig	245	Mittl. Buntsandstein	Abfluss vorhanden
PW 4	26.04.1999	Unterhammerquelle	0160	KL/Langensohl	3408880	5469590	6612	Pfälzerwald	Pfälzerwald	kalt und sonnig	310	Mittl. Buntsandstein	Abfluss vorhanden
PW 5 T 1	26.04.1999	Quelle Eingang Karstschlucht	0161	KL/Tripstadt	3409577	5469195	6612	Pfälzerwald	Pfälzerwald	warm und sonnig	310	Mittl. Buntsandstein	Abfluss vorhanden
PW 6	27.04.1999	Schlesierbrunnen	0162	SÜW/Wilgartsweien	3419228	5457126	6713	Pfälzerwald	Pfälzerwald	gemäßigt und sonnig	255	Mittl. Buntsandstein	Abfluss vorhanden
PW 7 T 2	27.04.1999	Quelle westlich Eiterberg	0163	SÜW/Holstatten	3416060	5459155	6713	Pfälzerwald	Pfälzerwald	gemäßigt und sonnig	350	Mittl. Buntsandstein	Abfluss vorhanden
PW 8	28.04.1999	Quelle Wüstental	0164	SÜW/Blankenborn	3422740	5443635	6813	Pfälzerwald	Pfälzerwald	gemäßigt und sonnig	287	Mittl. Buntsandstein	Abfluss vorhanden
PW 9 T 3	29.04.1999	Haidhüttequelle	0165	KL/Süßerhof	3417299	5471630	6613	Pfälzerwald	Pfälzerwald	gemäßigt und sonnig	470	Mittl. Buntsandstein	Abfluss vorhanden
PW 10	30.04.1999	Leinbachquelle	0166	KL/Waldsiefen	3415415	5446900	6613	Pfälzerwald	Pfälzerwald	gemäßigt und sonnig	295	Mittl. Buntsandstein	Abfluss vorhanden
PW 11	30.04.1999	Talquelle Rappenkopf	0167	PS/Wilgartsweien	3416675	5454998	6713	Pfälzerwald	Pfälzerwald	gemäßigt und sonnig	295	Mittl. Buntsandstein	Abfluss vorhanden
PW 12 T 7	30.04.1999	Quelle südlich Hermsbergerhof	0168	PS/Hermersbergerhof	3414727	5456137	6712	Pfälzerwald	Pfälzerwald	gemäßigt und sonnig	390	Mittl. Buntsandstein	Abfluss vorhanden
PW 13	30.04.1999	Quelle am Meisenbach	0169	PS/Hermersbergerhof	3414485	5455400	6712	Pfälzerwald	Pfälzerwald	gemäßigt und sonnig	240	Mittl. Buntsandstein	Abfluss vorhanden
PW 14	30.04.1999	Quelle am Franzosenstein	0170	PS/Hermersbergerhof	3414328	5456600	6712	Pfälzerwald	Pfälzerwald	gemäßigt und sonnig	385	Mittl. Buntsandstein	Abfluss vorhanden
PW 15 DA 103	03.05.1999	Tümpelquelle bei Pfälzerwaldhütte	0171	PS/Dahn	3409200	5445920	6812	Pfälzerwald	Pfälzerwald	gemäßigt und sonnig	226	Mittl. Buntsandstein	Abfluss vorhanden
PW 16 DA 102	03.05.1999	Moosbachquelle	0172	PS/Dahn	3406240	5444480	6812	Pfälzerwald	Pfälzerwald	gemäßigt und sonnig	294	Mittl. Buntsandstein	Abfluss vorhanden
PW17 T12 DA101	03.05.1999	Fischbrunnen	0173	PS/Fischbach	3405400	5444330	6812	Pfälzerwald	Pfälzerwald	gemäßigt und sonnig	314	Mittl. Buntsandstein	Abfluss vorhanden
PW 18	03.05.1999	Garnswoogquelle	0174	PS/Leimen	3413659	5459475	6712	Pfälzerwald	Pfälzerwald	gemäßigt und sonnig	395	Mittl. Buntsandstein	Abfluss vorhanden
PW 19	04.05.1999	Felsenbrunnen	0175	PS/Hofstatten	3416159	5461822	6713	Pfälzerwald	Pfälzerwald	gemäßigt und bedeckt	380	Mittl. Buntsandstein	Abfluss vorhanden
PW 20	04.05.1999	Speyerbachquelle	0176	DÜW/Speyerbrunn	3417993	5468630	6613	Pfälzerwald	Pfälzerwald	gemäßigt und sonnig	300	Mittl. Buntsandstein	Abfluss vorhanden
PW 21	04.05.1999	Burgalburprung	0177	KL/Johanniskreuz	3413947	5461999	6612	Pfälzerwald	Pfälzerwald	gemäßigt und bedeckt	400	Mittl. Buntsandstein	Abfluss vorhanden
PW 22	06.05.1999	Mischbachbrunn	0178	KL/Johanniskreuz	3413930	5465972	6612	Pfälzerwald	Pfälzerwald	gemäßigt und bedeckt	295	Mittl. Buntsandstein	Abfluss vorhanden
PW 23	06.05.1999	Candidus-Brunnen	0179	KL/Langensohl	3410953	5471712	6612	Pfälzerwald	Pfälzerwald	gemäßigt und regnerisch	380	Mittl. Buntsandstein	Abfluss vorhanden
PW 24	06.05.1999	Pfaffenbrunnen	0180	KL/Kaiserslautern	3409950	5475642	6512	Pfälzerwald	Pfälzerwald	gemäßigt und regnerisch	380	Mittl. Buntsandstein	Abfluss vorhanden
DA 10 T 65	26.10.1999	Nohner Wasserfallquelle	0181	DAU/Nohn	2554701	5576857	5006	Eifel	Kalkteufel	kalt und bedeckt	400	Dev. Kalkstein	Abfluss vorhanden
DA 1	26.03.2001	Loudestrotte	1001	PS/Bruchweiler	3413259	5443398	6812	Pfälzerwald	Pfälzerwald	kalt und bedeckt	275	Unt. Buntsandstein	Abfluss vorhanden
DA 2	26.03.2001	Tümpelquelle am Rechtenbach	1002	PS/Bundenthal	3413430	5441490	6812	Pfälzerwald	Pfälzerwald	kalt und bedeckt	230	Mittl. Buntsandstein	Abfluss vorhanden
DA 3	26.03.2001	Quelle an Feuerwhiesse	1003	PS/Bundenthal	3414670	5440800	6912	Pfälzerwald	Pfälzerwald	kalt und bedeckt	231	Unt. Buntsandstein	Abfluss vorhanden
DA 4	26.03.2001	Quelle am Radweg	1004	PS/Niederschlettenbach	3415580	5439000	6913	Pfälzerwald	Pfälzerwald	kalt und bedeckt	190	Mittl. Buntsandstein	Abfluss vorhanden
DA 5	26.03.2001	Quelljünger-Quelle	1005	PS/Niederschlettenbach	3414370	5438970	6912	Pfälzerwald	Pfälzerwald	kalt und bedeckt	228	Unt. Buntsandstein	Abfluss vorhanden
DA 6	26.03.2001	Ehemaliger Hochbehälter	1006	PS/Nothweiler	3412400	5437110	6912	Pfälzerwald	Pfälzerwald	kalt und bedeckt	370	Unt. Buntsandstein	Abfluss vorhanden
DA 7	26.03.2001	St.-Anna-Stollen	1007	PS/Nothweiler	3413280	5437320	6912	Pfälzerwald	Pfälzerwald	kalt und bedeckt	291	Mittl. Buntsandstein	Abfluss vorhanden
DA 8	26.03.2001	Fischweher Streubstuwiese	1008	PS/Nothweiler	3412000	5437780	6912	Pfälzerwald	Pfälzerwald	kalt und bedeckt	295	Unt. Buntsandstein	Abfluss vorhanden
DA 9	26.03.2001	Fischweher Streubstuwiese Tümpelquelle	1009	PS/Nothweiler	3413200	5437750	6912	Pfälzerwald	Pfälzerwald	kalt und bedeckt	286	Mittl. Buntsandstein	Abfluss vorhanden
DA 10	26.03.2001	Sandgrube	1010	PS/Bundenthal	3412230	5438540	6912	Pfälzerwald	Pfälzerwald	kalt und bedeckt	310	Unt. Buntsandstein	Abfluss vorhanden
DA 11	26.03.2001	Im Hasental	1011	PS/Bundenthal	3413230	5439890	6912	Pfälzerwald	Pfälzerwald	kalt und bedeckt	193	Rotl.-Sedimente	Abfluss vorhanden
DA 12	26.03.2001	Schwabenbrunnen	1012	PS/Bundenthal	3412450	5440440	6912	Pfälzerwald	Pfälzerwald	kalt und bedeckt	250	Unt. Buntsandstein	Abfluss vorhanden
DA 13	26.03.2001	Merzbrunnen	1013	PS/Bundenthal	3412720	5440510	6912	Pfälzerwald	Pfälzerwald	kalt und bedeckt	250	Mittl. Buntsandstein	Abfluss vorhanden
DA 14	26.03.2001	Busenberg Fischteich	1014	PS/Bruchweiler	3414060	5443370	6812	Pfälzerwald	Pfälzerwald	kalt und bedeckt	227	Mittl. Buntsandstein	Abfluss vorhanden
DA 15	26.03.2001	Ehem. Trinkwasserversorgung Busenberg	1015	PS/Busenber	3415268	5445476	6813	Pfälzerwald	Pfälzerwald	kalt und bedeckt	247	Mittl. Buntsandstein	Abfluss vorhanden
DA 16	30.03.2001	Quelle an der Rütisch	1016	PS/Bruchweiler	3409862	5441720	6812	Pfälzerwald	Pfälzerwald	kalt und bedeckt	310	Mittl. Buntsandstein	Abfluss vorhanden
DA 17	27.03.2001	Bobenthal Fischteich	1017	PS/Boenthal	3415820	5437220	6913	Pfälzerwald	Pfälzerwald	kalt und sonnig	200	Mittl. Buntsandstein	Abfluss vorhanden
DA 18	27.03.2001	Brunnen bei Nothweiler	1018	PS/Boenthal	3414710	5436540	6912	Pfälzerwald	Pfälzerwald	kalt und sonnig	337	Mittl. Buntsandstein	Abfluss vorhanden
DA 19	27.03.2001	Bobenthaler Fischzucht	1019	PS/Boenthal	3416570	5436600	6913	Pfälzerwald	Pfälzerwald	kalt und sonnig	183	Mittl. Buntsandstein	Abfluss vorhanden
DA 20	27.03.2001	Am Radweg bei Bobenthal	1020	PS/Boenthal	3417900	5434830	6913	Pfälzerwald	Pfälzerwald	kalt und sonnig	206	Mittl. Buntsandstein	Abfluss vorhanden
DA 21	27.03.2001	Kehricht an Nichts-Brunnen	1021	PS/Boenthal	3413680	5434700	6913	Pfälzerwald	Pfälzerwald	kalt und sonnig	254	Mittl. Buntsandstein	Abfluss vorhanden
DA 22	27.03.2001	Am Forsthaus Siebental	1022	PS/Boenthal	3416480	5434990	6913	Pfälzerwald	Pfälzerwald	kalt und sonnig	338	Mittl. Buntsandstein	Abfluss vorhanden
DA 23	27.03.2001	Kesselhaldquelle	1023	PS/Boenthal	3419030	5435690	6913	Pfälzerwald	Pfälzerwald	kalt und sonnig	262	Mittl. Buntsandstein	Abfluss vorhanden
DA 24	27.03.2001	Felsenbrünnel	1024	PS/Boenthal	3419370	5435320	6913	Pfälzerwald	Pfälzerwald	kalt und sonnig	253	Mittl. Buntsandstein	Abfluss vorhanden
DA 25 T 8	27.03.2001	Bocksbachquelle	1025	PS/Boenthal	3417310	5437210	6913	Pfälzerwald	Pfälzerwald	kalt und sonnig	309	Mittl. Buntsandstein	Abfluss vorhanden
DA 26	27.03.2001	Heldbrunnen	1026	PS/Boenthal	3417350	5437100	6913	Pfälzerwald	Pfälzerwald	gemäßigt und sonnig	302	Mittl. Buntsandstein	Abfluss vorhanden
DA 27	27.03.2001	Hubertusbrunnen	1027	PS/Boenthal	3417790	5438390	6913	Pfälzerwald	Pfälzerwald	gemäßigt und sonnig	398	Mittl. Buntsandstein	Abfluss vorhanden
DA 28	27.03.2001	Schliersbrunnen	1028	PS/Boenthal	3417790	5438910	6913	Pfälzerwald	Pfälzerwald	gemäßigt und sonnig	382	Mittl. Buntsandstein	Abfluss vorhanden
DA 29	27.03.2001	Am Hirtzschhaus	1029	PS/Boenthal	3417370	5439640	6913	Pfälzerwald	Pfälzerwald	gemäßigt und sonnig	360	Mittl. Buntsandstein	Abfluss vorhanden
DA 30	27.03.2001	Finsterbachbrunnen	1030	PS/Boenthal	3417740	5439500	6913	Pfälzerwald	Pfälzerwald	gemäßigt und sonnig	302	Mittl. Buntsandstein	Abfluss vorhanden
DA 31	27.03.2001	Jungfernwollst	1031	PS/Erlenbach	3417380	5440340	6913	Pfälzerwald	Pfälzerwald	gemäßigt und sonnig	242	Mittl. Buntsandstein	Abfluss vorhanden
DA 32 T 9	27.03.2001	Quelle am Portzbach (Tümpelquelle)	1032	PS/Erlenbach	3414670	5440700	6913	Pfälzerwald	Pfälzerwald	gemäßigt und sonnig	214	Mittl. Buntsandstein	Abfluss vorhanden
DA 33	27.03.2001	Ehem. Trinkwasserversorgung Seehof	1033	PS/Erlenbach	3419060	5441900	6913	Pfälzerwald	Pfälzerwald	gemäßigt und sonnig	259	Mittl. Buntsandstein	Abfluss vorhanden
DA 34	27.03.2001	Erlenbacher Kreuzung Trinkwasserversorg.	1034	PS									

H 8 Anhang Datenbank aller Quellen, Teil Stammdaten

Feldnummer	Datum	Name der Quelle	ID-Nr.	Kreis/Gemeinde	Rechtswert	Hochwert	TK 25	Quellraum	Naturraum	Witterung	Höhe	Geologie	Status
DA 83	03.04.2001	Hichtenbachquelle	1083	PS/Hirschthal	3408120	5435320	6912	Pfälzerwald	Pfälzerwald	gemäßigt und bedeckt	248	Unt. Buntsandstein	Abfluss vorhanden
DA 84	03.04.2001	Quelle am Blumenstein	1084	PS/Schönaue	3406290	5436260	6912	Pfälzerwald	Pfälzerwald	gemäßigt und bedeckt	273	Unt. Buntsandstein	Abfluss vorhanden
DA 85	03.04.2001	Herbertsbrunnen	1085	PS/Ludwigswinkel	3400630	5440410	6911	Pfälzerwald	Pfälzerwald	gemäßigt und bedeckt	243	Mittl. Buntsandstein	Abfluss vorhanden
DA 86	06.04.2001	Saarbrunnen	1086	PS/Ludwigswinkel	3399870	5441120	6811	Pfälzerwald	Pfälzerwald	gemäßigt und regnerisch	251	Unt. Buntsandstein	Abfluss vorhanden
DA 87	06.04.2001	Am Mummelsee	1087	PS/Ludwigswinkel	3400020	5440840	6911	Pfälzerwald	Pfälzerwald	gemäßigt und bedeckt	249	Quart. Sedimente	Abfluss vorhanden
DA 88	06.04.2001	Unterhalb Mummelsee	1088	PS/Ludwigswinkel	3400370	5440580	6911	Pfälzerwald	Pfälzerwald	gemäßigt und bedeckt	240	Mittl. Buntsandstein	Abfluss vorhanden
DA 89	06.04.2001	Rosbrunnen	1089	PS/Ludwigswinkel	3400170	5437400	6911	Pfälzerwald	Pfälzerwald	gemäßigt und bedeckt	304	Unt. Buntsandstein	Abfluss vorhanden
DA 90	06.04.2001	Rösequelle	1090	PS/Ludwigswinkel	3401080	5437580	6911	Pfälzerwald	Pfälzerwald	gemäßigt und bedeckt	244	Mittl. Buntsandstein	Abfluss vorhanden
DA 91	06.04.2001	Unterer Michelsbrunnen	1091	PS/Fischbach	3403490	5436270	6912	Pfälzerwald	Pfälzerwald	gemäßigt und bedeckt	290	Mittl. Buntsandstein	Abfluss vorhanden
DA 92	06.04.2001	Oberer Michelsbrunnen	1092	PS/Fischbach	3403890	5436590	6912	Pfälzerwald	Pfälzerwald	gemäßigt und regnerisch	293	Mittl. Buntsandstein	Abfluss vorhanden
DA 93	06.04.2001	Talaue	1093	PS/Ludwigswinkel	3402760	5438490	6912	Pfälzerwald	Pfälzerwald	gemäßigt und bedeckt	232	Mittl. Buntsandstein	Abfluss vorhanden
DA 94	06.04.2001	Diebach Sandsteinhaus	1094	PS/Ludwigswinkel	3404780	5443630	6812	Pfälzerwald	Pfälzerwald	gemäßigt und bedeckt	265	Mittl. Buntsandstein	Abfluss vorhanden
DA 95	06.04.2001	Wolfsärg Tal ganz hinten	1095	PS/Fischbach	3405490	5443250	6812	Pfälzerwald	Pfälzerwald	gemäßigt und bedeckt	298	Mittl. Buntsandstein	Abfluss vorhanden
DA 96	06.04.2001	Sturzquelle oberhalb Fischbrunnen	1096	PS/Fischbach	3405470	5444100	6812	Pfälzerwald	Pfälzerwald	gemäßigt und bedeckt	335	Mittl. Buntsandstein	Abfluss vorhanden
DA 97	06.04.2001	Jugendcamp Wolfsärg Tal	1097	PS/Fischbach	3404780	5443630	6812	Pfälzerwald	Pfälzerwald	gemäßigt und bedeckt	265	Mittl. Buntsandstein	Abfluss vorhanden
DA 98	06.04.2001	Wutzquell	1098	PS/Fischbach	3403450	5443250	6812	Pfälzerwald	Pfälzerwald	gemäßigt und regnerisch	314	Mittl. Buntsandstein	Abfluss vorhanden
DA 99	06.04.2001	Brunnenstube an der Mühle	1099	PS/Bobenthal	3416503	5436553	6913	Pfälzerwald	Pfälzerwald	gemäßigt und bedeckt	185	Mittl. Buntsandstein	Abfluss vorhanden
DA 100	06.04.2001	Gebürg Loch	1100	PS/Schönaue	3405510	5436770	6912	Pfälzerwald	Pfälzerwald	gemäßigt und bedeckt	274	Mittl. Buntsandstein	Abfluss vorhanden
B 1 T 21	10.03.1998	Quelle am Schnabelbruch	2101	GER/Wörth	3445394	546946	6915	Vorderpfalz	Bienwald	999	105	Quart. Sedimente	Abfluss vorhanden
B 2	24.03.1998	Quelle am Ratzenbuckel	2102	GER/Büchelberg	3437900	5431650	6914	Vorderpfalz	Bienwald	999	130	Tert. Kalksteine	Abfluss vorhanden
B 3	22.05.1998	Quelle östlich Sälbacher Passage	2103	GER/Scheibenhardt	3434200	5428550	7014	Vorderpfalz	Bienwald	999	125	Quart. Sedimente	Abfluss vorhanden
B 4	30.03.1998	Sickerquelle am Gutenbrunnen	2104	GER/Büchelberg	3438000	5433050	6914	Vorderpfalz	Bienwald	999	125	Quart. Sedimente	Abfluss vorhanden
H 1 T 22	16.03.1998	Quelle am Woggraben	2201	NW/Kirmeller	3440389	5464623	6615	Vorderpfalz	Haardtrand	999	129	Quart. Sedimente	Abfluss vorhanden
H 2	18.03.1998	Schambachquelle	2202	SÜW/Inselheim	3440350	5447226	6815	Vorderpfalz	Haardtrand	999	135	Tert. Bruchschollen	Abfluss vorhanden
H 3	18.03.1998	Hasselbachquelle Schloß St. Paul	2203	FR/Wissembourg	3422332	5433444	6913	Vorderpfalz	Haardtrand	999	250	Ob. Buntsandstein	Abfluss vorhanden
H 4	24.03.1998	Quelle unterhalb Kaltenbrunnen	2204	SÜW/Ranschbach	3427350	5451550	6814	Vorderpfalz	Haardtrand	999	300	Rotl.-Sedimente	Abfluss vorhanden
H 5	21.03.1998	Quelle unterhalb St. Annaberg	2205	SÜW/Burrweiler	3431950	5457050	6714	Vorderpfalz	Haardtrand	999	310	Mittl. Buntsandstein	Abfluss vorhanden
P 1	09.04.1998	Quelle an Wildfütterstelle	2301	NW/Erlenstein	3430190	5467450	6614	Pfälzerwald	Pfälzerwald	999	270	Mittl. Buntsandstein	Abfluss vorhanden
P 2	09.04.1998	Abrahamsbrunnen	2302	DÜW/Elmstein	3421050	5471300	6613	Pfälzerwald	Pfälzerwald	999	355	Mittl. Buntsandstein	Abfluss vorhanden
P 3	10.04.1998	Ungerbrunnen	2303	KL/Weidenthal	3422800	5436553	6913	Pfälzerwald	Pfälzerwald	999	270	Mittl. Buntsandstein	Abfluss vorhanden
P4 PW25 T5	10.04.1998	Felsquelle nördlich Diemerstein	2304	DÜW/Frankenstein	3424740	5480000	6513	Pfälzerwald	Pfälzerwald	999	270	Mittl. Buntsandstein	Abfluss vorhanden
P 5	13.04.1998	Miedersbachquelle links	2305	DÜW/Erlenstein	3417900	5465250	6613	Pfälzerwald	Pfälzerwald	999	460	Mittl. Buntsandstein	Abfluss vorhanden
P 6	17.04.1998	Großer Jägerbrunnen	2306	LD/Taubensuhl	3419050	5463550	6613	Pfälzerwald	Pfälzerwald	999	430	Mittl. Buntsandstein	Abfluss vorhanden
P 7	17.04.1998	Freischbachquelle mitte links	2307	PS/Hermersbergerhof	3415550	5454600	6713	Pfälzerwald	Pfälzerwald	999	390	Mittl. Buntsandstein	Abfluss vorhanden
P 8	17.04.1998	Quelle unterhalb Horberg	2308	PS/Hermersbergerhof	3414250	5454500	6712	Pfälzerwald	Pfälzerwald	999	315	Mittl. Buntsandstein	Abfluss vorhanden
P 9	18.04.1998	Westpreußenbrunnen links	2309	PS/Hermersbergerhof	3415216	5458500	6713	Pfälzerwald	Pfälzerwald	999	380	Mittl. Buntsandstein	Abfluss vorhanden
D 1 T 36	24.04.1998	Laubachquelle	2401	KIB/Hahnweilerhof	3421291	5496242	6413	Nordpf. Bergland	Donnersberg	999	361	Rotl.-Magmatite	Abfluss vorhanden
D 2	24.04.1998	Quelle bei Königsstelle	2402	KIB/Bastenhaus	3421604	5499878	6313	Nordpf. Bergland	Donnersberg	999	570	Rotl.-Magmatite	Abfluss vorhanden
D 3 T 37	24.04.1998	Kirschbachquelle	2403	KIB/Falkenstein	3418447	5496560	6313	Nordpf. Bergland	Donnersberg	999	367	Rotl.-Magmatite	Abfluss vorhanden
W 1 WE 9	06.05.1998	Quelle bei Weihermühle	2501	PS/Herscherberg	3396450	5462950	6711	Westrich	Westrich	999	295	Ob. Buntsandstein	Abfluss vorhanden
W 3	01.06.1998	Quelle im Schlangenbrücker Tal	2503	PS/Obernheim	3397700	5471650	6611	Westrich	Westrich	999	360	Ob. Buntsandstein	Abfluss vorhanden
W 4	03.07.1998	Quelle nördlich Pottschutthöhe	2504	PS/Battweiler	2607150	5459850	6710	Westrich	Westrich	999	295	Muschelkalk/Keuper	Abfluss vorhanden
AK 1	12.12.2001	Obere Waldsickerquellen	3001	AK/Weyerbusch	3398236	5623225	5211	Westertal	Westertal	999	300	Dev. Schiefer, Grauw.	Abfluss vorhanden
AK 3	21.08.2002	lex-Quelle	3002	AK/Weyerbusch	3398059	5623080	5211	Westertal	Westertal	999	308	Dev. Schiefer, Grauw.	Abfluss vorhanden
AK 5 T 76	21.08.2002	Grabenquelle auf den Schachten	3003	AK/Werkhausen	3397844	5622630	5211	Westertal	Westertal	999	305	Dev. Schiefer, Grauw.	Abfluss vorhanden
AK 8	12.12.2001	Gefasste Weidquelle	3004	AK/Weyerbusch	3398273	5621619	5211	Westertal	Westertal	999	290	Dev. Schiefer, Grauw.	Abfluss vorhanden
T 4	01.11.2002	Quelle im Langental	4004	DÜW/Hönningen	3435790	5483950	6514	Pfälzerwald	Pfälzerwald	999	340	Mittl. Buntsandstein	Abfluss vorhanden
T 6	30.01.2002	Quelle im unteren Hammental	4006	KL/Trippstadt	3405715	5470990	6812	Pfälzerwald	Pfälzerwald	999	282	Mittl. Buntsandstein	Abfluss vorhanden
T 15	30.01.2002	Quelle in der Rieslocher Klamm	4015	PS/Thaleschw.-Fröschen	3398041	5460577	6711	Westrich	Westrich	999	298	Ob. Buntsandstein	Abfluss vorhanden
T 16	04.04.2002	Quelle am Auerbacher Berg	4016	PS/Reifenberg	2608061	5462347	6710	Westrich	Westrich	999	335	Ob. Buntsandstein	Abfluss vorhanden
T 24	14.12.2001	Quelle am Neuborn	4024	AZ/Wörststadt	3435829	5521516	6114	Rheinhausen	Rheinhausen	999	229	Tert. Kalksteine	Abfluss vorhanden
T 25	14.12.2001	Gelbfelder Bach-Quelle	4025	AZ/Gabsheim	3440304	5522062	6115	Rheinhausen	Rheinhausen	999	169	Tert. Kalksteine	Abfluss vorhanden
T 26	10.10.2001	Schwefelquelle in Mühlheim	4026	AZ/Osthofen-Mühlheim	3448925	5507855	6215	Rheinhausen	Rheinhausen	999	104	Tert. Kalksteine	Abfluss vorhanden
T 27	27.12.2001	Quelle südlich Nieferheim	4027	KIB/Nieferheim	3438763	5500717	6314	Rheinhausen	Rheinhausen	999	149	Tert. Kalksteine	Abfluss vorhanden
T 35	14.12.2001	Hasselbachquelle	4035	KH/Mandel	3410545	5524175	6112	Nordpf. Bergland	Nordpf. Bergland	999	224	Rotl.-Sedimente	Abfluss vorhanden
T 38	02.02.2002	Quelle am Hubenhaus	4038	KUS/Sangerhof	2600361	5482567	6510	Nordpf. Bergland	Nordpf. Bergland	999	355	Rotl.-Sedimente	Abfluss vorhanden
T 49	14.12.2001	Quelle am Ohligsbach	4049	MZ/Dichtelbach	3410101	5541550	5912	Hunsrück	Nördl. Hunsrück	999	437	Dev. Quarzite	Abfluss vorhanden
T 50	05.03.2002	Quelle am Forsthaus Lützelsoun	4050	KH/Kellenbach	2605066	5523712	6110	Hunsrück	Südl. Hunsrück	999	392	Dev. Quarzite	Abfluss vorhanden
T 56	04.01.2002	Quelle am Stützbusch	4055	MYK/Kirchwald	2584141	5582727	5609	Eifel	Ostefel	999	369	Quart. Magmatite	Abfluss vorhanden
T 57	04.03.2002	Quelle am Eiler Postweg	4057	COC/Eiler	2583091	5554142	5808	Eifel	Ostefel	999	342	Dev. Schiefer, Grauw.	Abfluss vorhanden
T 58	04.03.2002	Quelle am Segbach	4058	MYK/Mendig	2589726	5581767	5609	Eifel	Ostefel	999	219	Quart. Magmatite	Abfluss vorhanden
T 61	17.06.1999	Mineralsickerquelle am Reimnsberg	4061	DAU/Heyroth	2556711	5572317	5706	Eifel	Vulkaneifel	999	513	Dev. Schiefer, Grauw.	Abfluss vorhanden
T 62	04.03.2002	Quelle an der Kleinen Kyll	4062	WIL/Manderscheid	2557416	5548847	5906	Eifel	Vulkaneifel	999	321	Quart. Magmatite	Abfluss vorhanden
T 77	11.12.2001	Goldborn	4077	AK/Werkhausen	3396293	5623458	5211	Westertal	Westertal	999	317	Dev. Schiefer, Grauw.	Abfluss vorhanden
T 78	12.12.2001	Quelle westlich Kloster Marienstatt	4078	WW/Streithausen	3415006	5617151	5312	Westertal	Westertal	999	239	Dev. Schiefer, Grauw.	Abfluss vorhanden
T 79	12.12.2001	Quelle nördlich Kleinmaischeid	4079	NR/Kleinmaischeid	3400975	5597050	5411	Westertal	Westertal	999	297	Dev. Schiefer, Grauw.	Abfluss vorhanden
T 80	11.12.2001	Quelle am Ehrlichskopf	4080	EMS/Zimmerschied	3414950	5579506	5612	Westertal	Westertal	999	302	Dev. Schiefer, Grauw.	Abfluss vorhanden
T 81	12.12.2001	Quelle am Eisenkauten	4081	EMS/Nassau	3415653	5577702	5612	Westertal	Westertal	999	336	Dev. Schiefer, Grauw.	Abfluss vorhanden
T 82	20.11.2001	Quelle östlich Molkenborn	4082	EMS/Molkenborn	3406561	5571479	5712	Westertal	Westertal	999	300	Dev. Schiefer, Grauw.	Abfluss vorhanden
T 83	12.12.2001	Quelle am Himmrich	4083	WW/Wöflingen	3420500	5605290	5413	Hoher Westerw.	Hoher Westerw.	999	438	Tert. Vulkanite	Abfluss vorhanden
T 84	12.12.2001	Sickerquelle am Wärlinger Kopf	4084	WW/Wöflingen	3418663	5605149	5413	Hoher Westerw.	Hoher Westerw.	999	421	Tert. Vulkanite	Abfluss vorhanden
T 85	12.12.2001	Sturzquelle am Wärlinger Kopf	4085	WW/Wöflingen	3418633	5605141	5413	Hoher Westerw.	Hoher Westerw.	999	422	Tert. Vulkanite	Abfluss vorhanden

H 9 Anhang Datenbank aller Quellen, Teil Struktur und Umfeld

ID-Nr.	Basisquelle	Kennung	Sonderquelle	Vernetzung	Nachbarquelle in m	Quellabstände in m	Geländehöhe	Hanglage	Abflurrichtung	Größe Quelle [m ²]	Größe Qu.bereich [m ²]	Quellabstrich	Schüttung [t/s]	mittl. Füllpegelgeschw.	Fassung	Fassungstyp	Wasserentnahme
0001	Sturzquelle	R	nein	Einzelquelle	150	200	stark	Mittelhang	NO	2,5	4	ganztägig	0,1	mäßig	nein	nein	nein
0002	Sickerquelle	H	nein	Quellkomplex	20	200	mäßig	Mittelhang	SO	40	100	ganztägig	10	mäßig	nein	nein	nein
0003	künstlich	?	nein	Einzelquelle	5	5	schroff	Mittelhang	NO	1,5	1,5	ganztägig	7,5	schnell	ja	Brunnenstube mit Überlauf	alt
0004	Wanderquelle	M,ca	Kalksinterquelle	Einzelquelle	1500	500	mäßig	Mittelhang	O	30	150	ganztägig	1,2	mäßig	nein	nein	nein
0005	Sickerquelle	H	nein	Einzelquelle	500	700	mäßig	Mittelhang	N	n.f.	75	periodisch	3	mäßig	nein	nein	nein
0006	Sturzquelle	R(H)	nein	Einzelquelle	n.f.	900	mäßig	Mittelhang	NO	8	20	periodisch	1,5	schnell	nein	nein	< 30 %
0007	Sickerquelle	H	nein	Einzelquelle	800	700	Mittelhang	SW	W	1	1,5	ganztägig	0,25	mäßig	ja	Rohr und Becken	neu
0009	Sturzquelle	R(M)	nein	Einzelquelle	1500	250	mäßig	Mittelhang	W	10	12	periodisch	1,5	schnell	ja	Rohr und Becken	neu
0010	Sickerquelle	H	nein	Quellkomplex	200	300	Mittelhang	O	2000	4,5	2000	ganztägig	4,5	schnell	ja	nur Rohr/Rinne	alt
0011	künstlich	?	nein	Mineralquelle	250	3	stark	Hangfuß	N	0,5	1,5	ganztägig	0,02	mäßig	ja	Brunnenstube mit Überlauf	alt
0012	Sickerquelle	H	nein	Quellkomplex	200	15	stark	Hangfuß	W	20	400	ganztägig	2	mäßig	nein	nein	nein
0013	Sickerquelle	H	nein	Einzelquelle	500	25	schwach	Mittelhang	NW	5	5	periodisch	0,2	langsam	ja	Rohr und Becken	neu
0014	künstlich	?	nein	Einzelquelle	100	0	mäßig	Mittelhang	O	1	1,2	ganztägig	0,4	mäßig	ja	Rohr und Becken	neu
0015	künstlich	?(H)	nein	Quellkomplex	100	100	mäßig	Mittelhang	SO	100	300	periodisch	3	mäßig	ja	Brunnenstube mit Überlauf	alt
0016	Sturzquelle	R(H)	nein	Einzelquelle	20	100	stark	Mittelhang	NO	15	30	periodisch	1	mäßig	ja	Rohr und Becken	neu
0017	Sickerquelle	H	nein	Quellkomplex	30	300	mäßig	Mittelhang	SO	40	150	ganztägig	0,2	mäßig	ja	nur Rohr/Rinne	alt
0018	Sickerquelle	H	nein	Einzelquelle	100	250	mäßig	Mittelhang	N	10	30	ganztägig	0,05	mäßig	ja	Brunnenstube mit Überlauf	alt
0019	Sickerquelle	H(M),se	nein	Einzelquelle	1000	300	stark	Mittelhang	O	15	30	ganztägig	0,3	mäßig	nein	nein	nein
0020	künstlich	?a,sa,se	Mineralquelle	Einzelquelle	200	0	schwach	Hangfuß	n.f.	0,5	1	ganztägig	0,3	schnell	ja	Rohr und Becken	neu
0021	Sickerquelle	H	nein	Quellkomplex	50	70	schwach	Hangfuß	NO	50	200	ganztägig	4,5	mäßig	ja	Brunnenstube mit Überlauf	alt
0022	künstlich	?	nein	Einzelquelle	1200	10	stark	Mittelhang	SW	3	4	ganztägig	1	schnell	ja	Rohr und Becken	alt
0023	n.f.	?	nein	n.f.	n.f.	n.f.	stark	Mittelhang	NW	n.f.	n.f.	periodisch	0,5	n.f.	ja	zerstörte Quelle, Brunnenstube ohne Überlauf	> 60 %
0024	n.f.	?	nein	Einzelquelle	100	4	stark	Hangfuß	N	1	2	ganztägig	2,5	n.f.	ja	Brunnenstube mit Überlauf	alt
0025	künstlich	?	nein	Einzelquelle	100	150	mäßig	Mittelhang	W	4	10	periodisch	2	mäßig	ja	Brunnenstube mit Überlauf	alt
0026	Sturzquelle	R(M)	nein	Einzelquelle	2000	750	mäßig	Tallage	SO	6	8	ganztägig	2	mäßig	nein	nein	nein
0027	Sturzquelle	R(H)	nein	Quellkomplex	100	15	schwach	Mittelhang	O	7	3000	ganztägig	1	mäßig	ja	Brunnenstube mit Überlauf	verfallen
0028	Sickerquelle	M	nein	Einzelquelle	250	250	mäßig	Mittelhang	N	8	20	ganztägig	1	mäßig	ja	Brunnenstube mit Überlauf	verfallen
0029	n.f.	?	nein	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	periodisch	0,1	n.f.	ja	zerstörte Quelle, Brunnenstube ohne Überlauf	> 60 %
0030	künstlich	?	nein	Einzelquelle	700	300	mäßig	Mittelhang	N	2,5	3,5	ganztägig	0,25	schnell	ja	nur Rohr/Rinne	neu
0031	künstlich	?	nein	Einzelquelle	1000	150	mäßig	Mittelhang	SO	3	4	periodisch	0,1	mäßig	ja	Rohr und Becken	alt
0032	künstlich	?	nein	Einzelquelle	400	300	mäßig	Mittelhang	S	2	3	ganztägig	0,5	schnell	ja	Brunnenstube mit Überlauf	neu
0033	künstlich	?	nein	Einzelquelle	200	200	stark	Tallage	N	4	6	periodisch	0,2	langsam	ja	nur Rohr/Rinne	neu
0034	künstlich	?	nein	Einzelquelle	800	1600	schwach	Hangfuß	O	4	4,5	periodisch	2	schnell	ja	nur Rohr/Rinne	alt
0035	Sickerquelle	H	nein	Einzelquelle	50	10	schwach	Tallage	NO	15	900	ganztägig	1,1	langsam	nein	nein	nein
0036	Sickerquelle	H(R)	nein	Quellkomplex	60	70	mäßig	Mittelhang	O	7	10	periodisch	0,5	mäßig	nein	nein	nein
0037	künstlich	?	nein	Einzelquelle	500	n.f.	schwach	Hangfuß	O	1,5	1,5	ganztägig	0,4	mäßig	ja	nur Rohr/Rinne	alt
0038	künstlich	?	nein	Einzelquelle	1000	500	mäßig	Oberhang	W	4	5	periodisch	0,8	schnell	ja	nur Rohr/Rinne	alt
0039	Sturzquelle	R(H),ca	Kalksinterquelle	Einzelquelle	25	20	schroff	Mittelhang	N	20	50	ganztägig	1,8	mäßig	nein	nein	nein
0040	Sturzquelle	R(H),ca	Kalksinterquelle	Einzelquelle	1500	40	stark	Mittelhang	W	150	500	ganztägig	3,5	schnell	ja	Brunnenstube mit Überlauf	verfallen
0041	n.f.	?	nein	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	periodisch	1,2	n.f.	ja	zerstörte Quelle, Brunnenstube ohne Überlauf	> 60 %
0042	Sturzquelle	R(M)	nein	Einzelquelle	500	200	stark	Mittelhang	SW	15	15	ganztägig	1,2	mäßig	nein	nein	nein
0043	Sturzquelle	R(M)	nein	Einzelquelle	75	50	mäßig	Mittelhang	O	5	7,5	periodisch	0,2	mäßig	nein	nein	nein
0044	künstlich	?(H)	nein	Einzelquelle	400	500	mäßig	Mittelhang	NW	1,5	1,5	periodisch	0,2	langsam	ja	nur Rohr/Rinne	neu
0045	Sickerquelle	H	nein	Einzelquelle	400	300	schwach	Tallage	O	40	400	ganztägig	2	mäßig	nein	nein	nein
0046	Sickerquelle	H	nein	Einzelquelle	1200	600	mäßig	Mittelhang	NO	25	250	ganztägig	0,5	mäßig	nein	nein	nein
0047	Sickerquelle	H	nein	Einzelquelle	200	600	mäßig	Mittelhang	NO	15	250	ganztägig	0,1	langsam	nein	nein	nein
0048	Sickerquelle	H(R)	nein	Einzelquelle	30	700	stark	Mittelhang	SO	7	35	ganztägig	1,5	mäßig	nein	nein	nein
0049	Sickerquelle	H	nein	Einzelquelle	400	200	mäßig	Mittelhang	NO	25	250	ganztägig	0,2	langsam	nein	nein	nein
0050	künstlich	?	nein	Einzelquelle	300	2	schwach	Mittelhang	S	25	25	periodisch	1	stehend	ja	nur Rohr/Rinne	alt
0051	Sickerquelle	H	nein	Einzelquelle	400	400	schwach	Oberhang	S	20	20	periodisch	0,1	langsam	nein	nein	nein
0052	künstlich	?(H)	nein	Quellkomplex	200	200	schwach	Mittelhang	NO	2,5	3	ganztägig	0,4	langsam	ja	nur Rohr/Rinne	alt
0053	Sickerquelle	H	nein	Einzelquelle	15	70	stark	Mittelhang	N	8	20	ganztägig	0,5	mäßig	nein	nein	< 30 %
0054	n.f.	?	nein	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	periodisch	0,1	n.f.	ja	zerstörte Quelle, Brunnenstube ohne Überlauf	> 60 %
0055	Sturzquelle	R(H)	nein	Einzelquelle	600	250	stark	Mittelhang	W	2,5	5	ganztägig	1	mäßig	nein	nein	< 30 %
0056	Sickerquelle	H	nein	Quellkomplex	700	n.f.	mäßig	Mittelhang	N	12	50	periodisch	0,07	stehend	nein	nein	nein
0057	Sickerquelle	H(M)	nein	Quellkomplex	200	mäßig	Mittelhang	NO	15	250	ganztägig	0,1	langsam	ja	Brunnenstube mit Überlauf	verfallen	
0058	Sickerquelle	H	nein	Einzelquelle	800	1400	mäßig	Mittelhang	W	4	45	ganztägig	0,07	stehend	ja	Rohr und Becken	verfallen
0059	Sickerquelle	H	nein	Einzelquelle	800	1000	mäßig	Mittelhang	N	3	3,5	periodisch	0,2	langsam	ja	nur Rohr/Rinne	alt
0060	Sickerquelle	H	nein	Einzelquelle	15	5	schwach	Hangfuß	O	6	6	ganztägig	0,2	langsam	nein	nein	nein
0061	Sickerquelle	H	nein	Einzelquelle	700	1500	mäßig	Mittelhang	NW	15	30	periodisch	0,2	langsam	nein	nein	nein
0062	Sickerquelle	H	nein	Einzelquelle	300	300	stark	Mittelhang	O	15	30	ganztägig	0,3	mäßig	nein	nein	nein
0063	Sickerquelle	H	nein	Quellkomplex	100	100	mäßig	Mittelhang	NW	15	20	ganztägig	0,15	mäßig	ja	nur Rohr/Rinne	alt
0064	künstlich	?	nein	Einzelquelle	150	70	schwach	Tallage	NW	7	10	ganztägig	0,4	mäßig	ja	Brunnenstube mit Überlauf	neu
0065	Tümpelquelle	L(H)	nein	Quellkomplex	100	150	mäßig	Mittelhang	S	18	25	ganztägig	0,2	langsam	nein	nein	nein
0066	Sickerquelle	H(R)	nein	Quellkomplex	20	100	mäßig	Mittelhang	NW	12,5	15	ganztägig	1,5	mäßig	nein	nein	nein
0067	Sickerquelle	H(M)	nein	Einzelquelle	200	100	mäßig	Mittelhang	N	1	10	ganztägig	1,5	mäßig	nein	nein	nein
0068	Sickerquelle	H(M)	nein	Quellkomplex	200	450	mäßig	Mittelhang	NO	35	300	periodisch	1	mäßig	nein	nein	nein
0069	künstlich	?	nein	Einzelquelle	450	n.f.	mäßig	Mittelhang	SW	9	10,5	ganztägig	0,8	mäßig	ja	Rohr und Becken	alt
0070	Sickerquelle	H	nein	Einzelquelle	800	600	mäßig	Mittelhang	O	18	75	periodisch	0,5	mäßig	nein	nein	nein
0071	Sickerquelle	H	nein	Einzelquelle	50	150	mäßig	Mittelhang	W	6	250	ganztägig	0,2	langsam	nein	nein	nein
0072	Sickerquelle	H(M)	nein	Quellkomplex	50	15	mäßig	Oberhang	NO	7	50	ganztägig	0,3	langsam	nein	nein	nein
0073	Sickerquelle	M	nein	Quellkomplex	50	1600	stark	Mittelhang	O	10	50	ganztägig	0,5	mäßig	nein	nein	nein
0074	künstlich	?(H)	nein	Einzelquelle	800	800	mäßig	Mittelhang	NW	5	5	ganztägig	0,3	mäßig	ja	nur Rohr/Rinne	alt
0075	künstlich	?(H)	nein	Einzelquelle	600	750	mäßig	Hangfuß	W	100	100	ganztägig	1	mäßig	ja	nur Rohr/Rinne	alt
0076	Sickerquelle	H	nein	Einzelquelle	400	600	mäßig	Mittelhang	SW	8	30	ganztägig	1	langsam	ja	Rohr und Becken	alt
0077	künstlich	?	nein	Quellkomplex	70	50	mäßig	Tallage	SW	5	5	periodisch	0,5	mäßig	ja	nur Rohr/Rinne	alt
0078	künstlich	?	nein	Einzelquelle	1000	300	stark	Mittelhang	S	40	300	ganztägig	1	mäßig	nein	nein	nein
0079	Sickerquelle	H	nein	Quellkomplex	200	300	mäßig	Oberhang	N	40	50	ganztägig	0,1	langsam	ja	Brunnenstube mit Überlauf	n.f.

H 9 Anhang Datenbank aller Quellen, Teil Struktur und Umfeld

ID-Nr.	Basissignaltyp	Kennung	Sonderquelle	Vernetzung	Nachbarquelle in m	Quellabstände in m	Geländehöhe	Hanglage	Abfuhrrichtung	Größe Quelle [m²]	Größe Qu.bereich [m²]	Quellzählung	Schüttung [t/s]	mittl. Fließgeschw.	Fassung	Fassungsart	Wasserentnahme	
0168	Sturzquelle	R	nein	Quellkomplex	300	300	stark	Mittelhang	SW	25	35	ganzzählig	2	mäßig	nein	nein	nein	
0169	künstlich	?(R)	nein	Quellkomplex	350	20	mäßig	Hangfuß	W	9	10	ganzzählig	5	mäßig	ja	nur Rohr/Rinne alt	nein	
0170	Sturzquelle	R	nein	Einzelquelle	500	50	stark	Hangfuß	W	10	13	ganzzählig	2	schnell	nein	nein	nein	
0171	Tümpelquelle	L	nein	Einzelquelle	1000	50	mäßig	Hangfuß	N	5	10	ganzzählig	10	mäßig	nein	nein	nein	
0172	Sturzquelle	R	nein	Einzelquelle	1000	3000	stark	Hangfuß	N	8	9	ganzzählig	6	schnell	nein	nein	nein	
0173	Sturzquelle	R	nein	Einzelquelle	15	10	stark	Mittelhang	NW	15	18	ganzzählig	7	mäßig	nein	nein	nein	
0174	Sturzquelle	R	nein	Einzelquelle	20	4	mäßig	Hangfuß	N	5	5	ganzzählig	5	mäßig	nein	Rohr und Becken alt	nein	
0175	Sturzquelle	R	nein	Quellkomplex	750	3	stark	Hangfuß	S	10	15	ganzzählig	6	schnell	ja	Rohr und Becken verfallen	nein	
0176	künstlich	?(R)	nein	Einzelquelle	100	25	mäßig	Hangfuß	O	10	10,5	ganzzählig	70	schnell	ja	Nur Rohr/Rinne verfallen	nein	
0177	künstlich	?(R)	nein	Einzelquelle	150	150	mäßig	Fällage	SW	100	100	ganzzählig	35	langsam	nein	nein	nein	
0178	künstlich	?(R)	nein	Quellkomplex	50	11	stark	Hangfuß	W	10	10,5	ganzzählig	0,5	mäßig	ja	nur Rohr/Rinne alt	nein	
0179	Sturzquelle	R	nein	Quellkomplex	50	15	stark	Mittelhang	W	6	10	ganzzählig	0,5	mäßig	ja	Rohr und Becken alt	nein	
0180	künstlich	?(R)	nein	Einzelquelle	1200	1200	mäßig	Oberhang	NO	4	4	periodisch	0,1	mäßig	ja	nur Rohr/Rinne neu	nein	
0181	Sturzquelle	R	nein	Einzelquelle	30	20	mäßig	Mittelhang	O	2	200	ganzzählig	0,5	mäßig	nein	Brunnenstube mit Überlauf alt	< 30 %	
0101	Sturzquelle	R	nein	Einzelquelle	n. f.	500	stark	Oberhang	N	3	3,5	ganzzählig	0,2	schnell	ja	Rohr und Becken alt	nein	
1002	künstlich	?	nein	Einzelquelle	n. f.	40	schwach	Hangfuß	NW	23	50	ganzzählig	-	schnell	nein	nein	nein	
1003	Sturzquelle	R	nein	Einzelquelle	n. f.	250	mäßig	Mittelhang	O	3	3,5	periodisch	0,5	langsam	ja	Brunnenstube mit Überlauf verfallen	nein	
1004	Sturzquelle	R	nein	Einzelquelle	n. f.	2	schwach	Hangfuß	N	10	10	ganzzählig	3	schnell	ja	Rohr und Becken verfallen	nein	
1005	Sturzquelle	R	nein	Einzelquelle	n. f.	250	stark	Mittelhang	SO	10	15	ganzzählig	3	schnell	nein	nein	nein	
1006	Sturzquelle	R	nein	Einzelquelle	n. f.	n. f.	mäßig	Mittelhang	W	3	3	ganzzählig	5	schnell	ja	Rohr und Becken neu	nein	
1007	Sturzquelle	R	nein	Einzelquelle	n. f.	350	schwach	Hangfuß	O	7	8	ganzzählig	0,3	schnell	ja	Rohr und Becken verfallen	nein	
1008	Sturzquelle	R	nein	Einzelquelle	n. f.	60	schwach	Hangfuß	O	0,5	0,7	ganzzählig	6	schnell	ja	Brunnenstube mit Überlauf verfallen	nein	
1009	Tümpelquelle	L	nein	Quellkomplex	10	10	schwach	Hangfuß	O	3	4	ganzzählig	4	schnell	ja	Brunnenstube mit Überlauf verfallen	> 60 %	
1010	Sturzquelle	R	nein	Einzelquelle	n. f.	n. f.	schwach	Hangfuß	O	8	12	ganzzählig	3,5	mäßig	nein	nein	nein	
1011	Sturzquelle	R	nein	Einzelquelle	n. f.	n. f.	mäßig	Hangfuß	O	7	7	ganzzählig	3	mäßig	nein	Rohr und Becken verfallen	nein	
1012	Sturzquelle	R	nein	Einzelquelle	100	200	mäßig	Hangfuß	O	6	7	ganzzählig	5	schnell	ja	Rohr und Becken alt	nein	
1013	Sturzquelle	R	nein	Einzelquelle	100	100	mäßig	Hangfuß	NO	1	1	ganzzählig	3,5	schnell	ja	Rohr und Becken verfallen	nein	
1014	künstlich	?(R)	nein	Einzelquelle	20	20	schwach	Hangfuß	N	4	4	ganzzählig	3	schnell	ja	Brunnenstube mit Überlauf alt	> 60 %	
1015	Sturzquelle	R	nein	Einzelquelle	n. f.	350	schwach	Hangfuß	S	5	4	ganzzählig	3,5	mäßig	ja	Brunnenstube mit Überlauf neu	nein	
1016	Sturzquelle	R	nein	Quellkomplex	n. f.	n. f.	schroff	Mittelhang	SO	50	150	ganzzählig	10	schnell	nein	nein	> 60 %	
1017	Tümpelquelle	L	nein	Quellkomplex	n. f.	150	mäßig	Hangfuß	O	55	58	ganzzählig	3,5	mäßig	nein	nein	> 60 %	
1018	Sturzquelle	R	nein	Quellkomplex	n. f.	350	stark	Mittelhang	N	10	15	ganzzählig	3	schnell	ja	nur Rohr/Rinne alt	nein	
1019	künstlich	?(R)	nein	Einzelquelle	n. f.	n. f.	schwach	Hangfuß	NO	6	7	ganzzählig	5	schnell	ja	Rohr und Becken verfallen	30 - 59 %	
1020	Sturzquelle	R	nein	Einzelquelle	n. f.	n. f.	stark	Mittelhang	SO	12	16	ganzzählig	3	schnell	nein	nein	nein	
1021	Sturzquelle	R	nein	Einzelquelle	n. f.	n. f.	stark	Hangfuß	S	3	7	ganzzählig	1,5	schnell	ja	Rohr und Becken alt	nein	
1022	Sturzquelle	R	nein	Einzelquelle	n. f.	n. f.	mäßig	Hangfuß	S	7	7	ganzzählig	5	mäßig	ja	Nur Rohr/Rinne verfallen	nein	
1023	Sturzquelle	R	nein	Einzelquelle	n. f.	n. f.	mäßig	Hangfuß	O	5	7	ganzzählig	4	schnell	ja	Rohr und Becken alt	nein	
1024	Sturzquelle	R	nein	Einzelquelle	n. f.	n. f.	schwach	Mittelhang	SO	5	6	periodisch	1,5	langsam	ja	Rohr und Becken verfallen	nein	
1025	Sturzquelle	R	nein	Quellkomplex	300	250	schroff	Oberhang	S	7	9	ganzzählig	5	schnell	ja	nein	nein	
1026	Sturzquelle	R	nein	Einzelquelle	400	250	stark	Mittelhang	NW	5	9	ganzzählig	5	schnell	ja	Rohr und Becken alt	nein	
1027	Sturzquelle	R	nein	Einzelquelle	n. f.	n. f.	mäßig	Oberhang	N	5	6	periodisch	2	mäßig	ja	Rohr und Becken alt	nein	
1028	Sturzquelle	R	nein	Einzelquelle	n. f.	n. f.	schwach	Oberhang	S	3	3	periodisch	0,3	langsam	ja	Rohr und Becken alt	nein	
1029	Sturzquelle	R	nein	Einzelquelle	20	20	stark	Oberhang	NW	20	25	ganzzählig	3	schnell	ja	Rohr und Becken neu	> 60 %	
1030	Sturzquelle	R	nein	Einzelquelle	n. f.	n. f.	stark	Hangfuß	SW	5	8	ganzzählig	2,5	schnell	ja	Rohr und Becken alt	nein	
1031	Sturzquelle	R	nein	Einzelquelle	n. f.	n. f.	schwach	Hangfuß	N	8	12	ganzzählig	10	schnell	nein	nein	nein	
1032	Tümpelquelle	L	nein	Quellkomplex	n. f.	40	schwach	Hangfuß	SO	1	2	ganzzählig	3	mäßig	nein	nein	nein	
1033	Sturzquelle	R	nein	Einzelquelle	n. f.	20	schwach	Mittelhang	NW	3	17	ganzzählig	3	mäßig	nein	Brunnenstube mit Überlauf alt	nein	
1034	Sturzquelle	R	nein	Einzelquelle	n. f.	n. f.	schwach	Hangfuß	N	20	100	ganzzählig	-	schnell	ja	Brunnenstube mit Überlauf neu	30 - 59 %	
1035	Sturzquelle	R	nein	Einzelquelle	n. f.	n. f.	stark	Mittelhang	S	5	1	ganzzählig	1	langsam	nein	nein	nein	
1037	Sturzquelle	R	nein	Quellkomplex	n. f.	n. f.	stark	Hangfuß	SO	50	100	ganzzählig	3,5	mäßig	nein	nein	nein	
1038	Sturzquelle	R	nein	Einzelquelle	n. f.	n. f.	schwach	Hangfuß	S	2	10	ganzzählig	3	schnell	ja	Brunnenstube mit Überlauf alt	nein	
1039	Sturzquelle	R	nein	Einzelquelle	n. f.	200	schroff	Mittelhang	W	2	8	ganzzählig	1	mäßig	ja	Rohr und Becken alt	nein	
1040	Sturzquelle	R	nein	Einzelquelle	n. f.	40	schwach	Hangfuß	SW	17	30	ganzzählig	3	schnell	ja	Rohr und Becken alt	nein	
1041	Sturzquelle	R	nein	Einzelquelle	n. f.	n. f.	schwach	Hangfuß	O	20	30	ganzzählig	10	schnell	ja	Rohr und Becken alt	> 60 %	
1042	Sturzquelle	R	nein	Einzelquelle	n. f.	n. f.	schwach	Hangfuß	O	3	15	ganzzählig	4	mäßig	nein	nein	30 - 59 %	
1043	Sturzquelle	R	nein	Einzelquelle	n. f.	n. f.	schwach	Hangfuß	O	7	70	ganzzählig	2,5	mäßig	ja	nur Rohr/Rinne neu	nein	
1044	Sturzquelle	R	nein	Einzelquelle	n. f.	n. f.	stark	Oberhang	W	2	2	ganzzählig	2	langsam	nein	nein	nein	
1045	Sturzquelle	R	nein	Einzelquelle	n. f.	n. f.	mäßig	Mittelhang	N	4	6	ganzzählig	6	schnell	ja	Brunnenstube mit Überlauf neu	.	
1046	Tümpelquelle	L	nein	Einzelquelle	35	6	schwach	Hangfuß	SW	4	8	ganzzählig	5	mäßig	nein	nein	nein	
1047	Sturzquelle	R	nein	Einzelquelle	n. f.	n. f.	schwach	Hangfuß	S	4	10	ganzzählig	1,5	ja	schnell	nein	Rohr und Becken neu	nein
1048	Sturzquelle	R	nein	Einzelquelle	n. f.	n. f.	schwach	Hangfuß	S	4	10	ganzzählig	2,5	mäßig	nein	nein	nein	
1049	künstlich	?(L)	nein	Quellkomplex	n. f.	n. f.	schwach	Hangfuß	S	3	3	ganzzählig	-	langsam	nein	nein	> 60 %	
1050	künstlich	?	nein	n. f.	n. f.	n. f.	schwach	Tällage	O	1	1	ganzzählig	-	langsam	ja	Brunnenstube mit Überlauf neu	> 60 %	
1051	künstlich	?	nein	Einzelquelle	n. f.	n. f.	schwach	Hangfuß	W	3	3	ganzzählig	-	mäßig	nein	nein	Rohr und Becken alt	nein
1052	Tümpelquelle	L	nein	Quellkomplex	n. f.	n. f.	schwach	Tällage	SO	10	30	ganzzählig	-	mäßig	nein	nein	nein	
1053	Sturzquelle	R	nein	Einzelquelle	n. f.	2	schwach	Tällage	SW	1	2	ganzzählig	2,5	schnell	ja	Rohr und Becken verfallen	nein	
1054	künstlich	?(R)	nein	Einzelquelle	n. f.	0	schwach	Mittelhang	NW	15	1,5	ganzzählig	-	langsam	nein	nein	> 60 %	
1055	Sturzquelle	R	nein	Einzelquelle	n. f.	n. f.	schwach	Hangfuß	W	1	1	ganzzählig	3	schnell	ja	Rohr und Becken neu	nein	
1056	Tümpelquelle	L	nein	Einzelquelle	n. f.	n. f.	schwach	Tällage	NW	4	8	ganzzählig	2,5	langsam	nein	nein	nein	
1057	Tümpelquelle	L	nein	Einzelquelle	n. f.	n. f.	schwach	Hangfuß	S	8	12	ganzzählig	5	mäßig	ja	nur Rohr/Rinne alt	< 30 %	
1058	Sturzquelle	R	nein	Einzelquelle	n. f.	n. f.	schwach	Hangfuß	O	2	2	ganzzählig	4	mäßig	ja	Rohr und Becken verfallen	nein	
1059	künstlich	?(L)	nein	Einzelquelle	n. f.	n. f.	schwach	Tällage	S	35	35	ganzzählig	-	langsam	ja	Brunnenstube mit Überlauf alt	> 60 %	
1060	Sturzquelle	R	nein	Einzelquelle	n. f.	n. f.	schwach	Hangfuß	S	4	4	ganzzählig	2	mäßig	ja	Rohr und Becken alt	nein	
1061	Sturzquelle	R	nein	Einzelquelle	n. f.	n. f.	schwach	Hangfuß	N	5	10	ganzzählig	3	mäßig	ja	Rohr und Becken verfallen	nein	
1062	Sturzquelle	R	nein	Einzelquelle	n. f.	n. f.	stark	Mittelhang	W	6	12	periodisch	1,5	mäßig	ja	Nur Rohr/Rinne verfallen	nein	
1063	Sturzquelle	R	nein	Einzelquelle	n. f.	120	schwach	Hangfuß	-	15	35	ganzzählig	6	schnell	ja	Rohr und Becken neu	nein	
1064	Sturzquelle	R	nein	Einzelquelle	n. f.	n. f.	stark	Mittelhang	NW	3	8	ganzzählig	4	schnell	nein	nein	nein	
1065	Sturzquelle	R	nein	Einzelquelle	n. f.	n. f.	mäßig	Hangfuß	W	10	30	ganzzählig	5	schnell	ja			

H 9 Anhang Datenbank aller Quellen, Teil Struktur und Umfeld

ID-Nr.	Verlegung	Verlegungslänge	Aufbau	Aufbau nach	m	Aufbau Größe in m ²	künstlicher Abstruz	Verbau	Holzverbau	Steinschüttung	wilder Verbau	Naturstein	Beton	Verrohung	Verrohung nach	m	Verrohungslänge	Trittschäden	Infrastruktureinrichtungen	Anzahl Infrastrukturen	Zuwegung	Bänke/ Parkplatz		
0001	nein	.	nein	.	.	.	nein	nein	.	.	.	.	.	0	.	.	.	nein	nein	nein	0	.	.
0002	nein	.	Hauptschluss	.	50	10	nein	nein	.	.	.	.	.	0	.	.	.	mäßig	nein	nein	0	.	.
0003	nein	.	nein	.	.	.	Teilabfluss	ja	.	.	.	.	.	gering	.	3	.	nein	nein	ja	1	.	.
0004	nein	.	nein	.	.	.	nein	nein	.	.	.	.	.	gering	.	.	.	nein	nein	nein	0	.	.
0005	nein	.	nein	.	.	.	nein	ja	.	.	.	.	.	gering	.	20	5	nein	nein	nein	0	.	.
0006	alt	7,5	Hauptschluss	.	7	2	nein	nein	.	.	.	.	.	0	.	.	.	stark	nein	nein	0	.	.
0007	nein	.	nein	.	.	.	nein	ja	.	.	.	.	.	0	.	.	.	mäßig	nein	nein	0	.	.
0008	alt	1,2	nein	.	.	.	nein	ja	.	.	.	.	gering	stark	.	.	.	nein	ja	2	ja	ja	
0009	nein	.	nein	.	.	.	nein	ja	.	.	.	.	gering	0	.	.	.	nein	nein	nein	0	.	.
0010	alt	200	nein	.	.	.	nein	ja	.	.	.	mittel	.	0	.	.	.	stark	nein	nein	0	.	.	
0011	alt	2	nein	.	.	.	Gesamtabfluss	ja	.	.	.	.	.	stark	stark	0,5	2	ja	nein	ja	3	ja	ja
0012	nein	.	nein	.	.	.	nein	nein	.	.	.	.	.	0	.	.	.	nein	nein	nein	0	.	.
0013	nein	.	Hauptschluss	.	10	350	Gesamtabfluss	ja	.	.	.	.	.	mittel	.	6	5	nein	nein	nein	0	.	.
0014	alt	100	nein	.	.	.	nein	ja	.	.	.	gering	stark	0	.	.	.	nein	ja	2	ja	.		
0015	nein	.	nein	.	.	.	nein	ja	.	.	.	.	gering	0	.	.	.	mäßig	nein	nein	0	.	.
0016	nein	.	nein	.	.	.	nein	nein	.	.	.	.	.	0	.	.	.	stark	nein	nein	0	.	.
0017	nein	.	nein	.	.	.	nein	nein	.	.	.	.	.	0	.	.	.	mäßig	nein	nein	0	.	.
0018	nein	.	nein	.	.	.	nein	nein	.	.	.	.	.	0	.	.	.	nein	nein	nein	0	.	.
0019	nein	.	nein	.	.	.	nein	nein	.	.	.	.	.	0	.	.	.	gering	nein	nein	0	.	.
0020	alt	n.f.	nein	.	.	.	Gesamtabfluss	ja	.	.	.	.	.	stark	stark	0,5	100	nein	ja	3	ja	ja	
0021	alt	n.f.	nein	.	.	.	nein	nein	.	.	.	.	.	0	.	.	.	gering	nein	nein	0	.	.
0022	alt	n.f.	nein	.	.	.	nein	ja	.	.	.	.	gering	stark	.	.	.	nein	ja	1	ja	.	
0023	alt	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	
0024	alt	20	Hauptschluss	.	20	1	Gesamtabfluss	ja	.	.	.	.	.	stark	stark	0,5	4	stark	nein	ja	3	ja	.
0025	nein	.	nein	.	.	.	nein	nein	.	.	.	.	.	0	.	.	.	nein	nein	nein	0	.	.
0026	nein	.	nein	.	.	.	nein	nein	.	.	.	.	.	0	.	.	.	nein	nein	nein	0	.	.
0027	nein	.	nein	.	.	.	nein	nein	.	.	.	.	.	gering	.	.	.	nein	nein	nein	0	.	.
0028	nein	.	nein	.	.	.	nein	nein	.	.	.	.	.	0	.	.	.	mäßig	nein	nein	0	.	.
0029	alt	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	Gesamtabfluss	ja	.	.	.	.	.	stark	stark	0,5	100	nein	ja	5	ja	ja	
0030	alt	15	nein	.	.	.	nein	ja	.	.	.	.	gering	.	.	.	.	gering	ja	3	ja	ja	
0031	alt	n.f.	nein	.	.	.	nein	ja	.	.	.	.	gering	0	.	.	.	nein	nein	nein	0	.	.
0032	alt	n.f.	nein	.	.	.	nein	ja	.	.	.	.	.	stark	stark	0	10	nein	nein	nein	0	.	.
0033	alt	n.f.	nein	.	.	.	nein	ja	.	.	.	.	.	gering	.	.	.	nein	nein	nein	0	.	.
0034	alt	n.f.	nein	.	.	.	nein	ja	.	.	.	.	.	stark	gering	.	.	nein	nein	nein	0	.	.
0035	nein	.	nein	.	.	.	nein	nein	.	.	.	.	.	0	.	.	.	nein	ja	1	.	.	
0036	nein	.	nein	.	.	.	nein	nein	.	.	.	.	.	0	.	.	.	nein	nein	nein	0	.	.
0037	alt	n.f.	Hauptschluss	.	50	50	nein	ja	.	.	.	.	stark	mittel	.	20	20	nein	nein	nein	0	.	.
0038	alt	n.f.	nein	.	.	.	nein	nein	.	.	.	.	.	0	.	.	.	stark	nein	nein	0	.	.
0039	nein	.	nein	.	.	.	nein	nein	.	.	.	.	.	0	.	.	.	nein	nein	nein	0	.	.
0040	nein	.	nein	.	.	.	nein	ja	.	.	.	.	gering	.	.	.	.	nein	ja	1	ja	.	
0041	alt	n.f.	nein	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	
0042	nein	.	nein	.	.	.	nein	nein	.	.	.	.	.	gering	.	15	3	nein	nein	nein	0	.	.
0043	nein	.	nein	.	.	.	nein	nein	.	.	.	.	.	0	.	.	.	nein	nein	nein	0	.	.
0044	alt	n.f.	nein	.	.	.	nein	ja	.	.	.	.	mittel	.	.	.	.	nein	nein	nein	0	.	.
0045	nein	.	nein	.	.	.	nein	nein	.	.	.	.	.	0	.	.	.	nein	nein	nein	0	.	.
0046	nein	.	nein	.	.	.	nein	nein	.	.	.	.	.	0	.	.	.	nein	nein	nein	0	.	.
0047	nein	.	Hauptschluss	.	15	2	nein	ja	gering	.	.	.	.	0	.	.	.	nein	nein	nein	0	.	.
0048	nein	.	nein	.	.	.	nein	nein	.	.	.	.	.	0	.	.	.	nein	nein	nein	0	.	.
0049	nein	.	nein	.	.	.	nein	nein	.	.	.	.	.	0	.	.	.	gering	nein	nein	0	.	.
0050	alt	n.f.	Hauptschluss	.	2	20	Gesamtabfluss	ja	.	mittel	.	.	.	stark	.	1	2	ja	nein	nein	0	.	.	
0051	nein	.	Hauptschluss	.	8	15	nein	nein	.	.	.	.	.	0	.	.	.	mäßig	nein	nein	0	.	.
0052	alt	n.f.	nein	.	.	.	nein	ja	.	.	.	.	gering	gering	.	10	3	gering	nein	nein	0	.	.
0053	nein	.	nein	.	.	.	nein	nein	.	.	.	.	.	gering	.	30	4	nein	nein	nein	0	.	.
0054	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	Gesamtabfluss	ja	.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	
0055	nein	.	nein	.	.	.	nein	nein	.	.	.	.	.	0	.	.	.	mäßig	ja	1	ja	.	.
0056	nein	.	nein	.	.	.	nein	nein	.	.	.	.	.	0	.	.	.	mäßig	ja	1	.	.	.
0057	nein	.	nein	.	.	.	nein	nein	.	.	.	.	.	0	.	.	.	mäßig	ja	1	.	.	.
0058	nein	.	nein	.	.	.	nein	ja	.	.	.	.	stark	.	.	.	.	nein	ja	3	ja	ja	
0059	alt	n.f.	nein	.	.	.	nein	ja	.	.	.	.	gering	.	.	.	.	nein	nein	nein	0	.	.
0060	nein	.	nein	.	.	.	nein	nein	.	.	.	.	.	gering	.	7	4	nein	nein	nein	0	.	.
0061	nein	.	nein	.	.	.	nein	nein	.	.	.	.	.	0	.	.	.	nein	nein	nein	0	.	.
0062	nein	.	nein	.	.	.	nein	ja	.	gering	.	.	.	0	.	.	.	mäßig	nein	nein	0	.	.	
0063	alt	n.f.	Hauptschluss	.	4	7	nein	ja	.	.	.	gering	gering	stark	.	1	10	nein	ja	3	ja	ja		
0064	nein	.	nein	.	.	.	nein	nein	.	.	.	.	.	0	.	.	.	nein	nein	nein	0	.	.
0065	nein	.	nein	.	.	.	nein	nein	.	.	.	.	.	0	.	.	.	nein	nein	nein	0	.	.
0066	nein	.	Hauptschluss	.	30	5	nein	ja	.	.	.	.	.	gering	.	35	5	nein	nein	nein	0	.	.
0067	nein	.	nein	.	.	.	nein	nein	.	.	.	.	.	0	.	.	.	mäßig	nein	nein	0	.	.
0068	nein	.	nein	.	.	.	nein	ja	.	.	.	.	gering	.	40	3	gering	nein	nein	nein	0	.	.
0069	nein	.	nein	.	.	.	Gesamtabfluss	ja	.	.	.	.	stark	.	.	.	.	gering	ja	2	ja	ja	
0070	nein	.	nein	.	.	.	nein	nein	.	.	.	.	.	0	.	.	.	gering	nein	nein	0	.	.
0071	nein	.	Hauptschluss	.	20	6	nein	nein	.	.	.	.	.	gering	.	25	6	mäßig	nein	nein	0	.	.
0072	nein	.	nein	.	.	.	nein	nein	.	.	.	.	.	0	.	.	.	nein	nein	nein	0	.	.
0073	nein	.	nein	.	.	.	Teilabfluss	nein	.	.	.	.	.	0	.	.	.	gering	nein	nein	0	.	.
0074	alt	n.f.	Nebenschluss	.	12	8	nein	nein	.	.	.	.	.	0	.	.	.	nein	nein	nein	0	.	.
0075	alt	n.f.	nein	.	.	.	nein	nein	.	.	.	.	.	0	.	.	.	nein	nein	nein	0	.	.
0076	alt	n.f.	nein	.	.	.	Teilabfluss	ja	.	.	.	mittel	.	gering	.	5	3	nein	nein	nein	0	.	.	
0077	nein	.	nein	.	.	.	nein	ja	.	.	.	.	gering	0	.	.	.	nein	nein	nein	0	.	.
0078	alt	n.f.	nein	.	.	.	nein	ja	stark	stark	.	1	200	nein	stark	nein	2	ja	ja
0079	nein	.	nein	.	.	.	nein	ja	.	.	.	.	gering	.	.	.	.	nein	nein	nein	0	.	.
0080	nein	.	nein	.	.	.	nein	ja	.	.	.	.	mittel	mittel	.	0,5	1	nein	nein	nein	0	.	.
0081	nein	.	Hauptschluss	.	0	2	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	
0082	alt	n.f.	nein	.	.	.	nein	nein	.	.	.	.	.	stark	stark	0,5	500	nein	ja	3	ja	ja	
0083	nein	.	nein	.	.	.	nein	ja	gering	.	.	.	.	0	.	.	.	nein	nein	nein	0	.	.
0084	alt	15	nein	.	.	.	nein	ja	.	.	.	.	gering	.	.	.	.	nein	nein	nein	0	.	.
0085	nein	.	nein	.	.	.	nein	nein	.	.	.	.	.	0	.	.	.	nein	nein	nein	0	.	.
0086	nein	.	nein	.	.	.	nein	nein	.	.	.	.	.	0	.	.	.	nein	nein	nein	0	.	.
0087	nein	.	nein	.	.	.	nein	ja	.	.	.	.	gering	.	35	5	nein	ja	1	.	.	.	
0088	nein	.	nein	.	.	.	nein	nein	.	.	.	.	.	0	.	.	.	nein	nein	nein	0	.	.
0089	nein	.	nein	.	.	.	nein	nein	.	.	.	.	.	0	.	.	.	stark	nein	nein	0	.	.
0090	alt	10	Hauptschluss	.	10	75	nein	ja	.	.	.	.	stark</										

H 9 Anhang Datenbank aller Quellen, Teil Struktur und Umfeld

ID-Nr.	Verlegung	Verlegungslänge	Aufbau	Aufbau nach	m	Aufbau Größe in m²	künstlicher Abstruz	Verbau	Holzverbau	Steinschüttung	wilder Verbau	Naturstein	Beton	Verrohung	Verrohung nach	m	Verrohungslänge	Trittschäden	Infrastrukturanrichtungen	Anzahl	Infrastrukturen	Zuwegung	Bänke/ Parkplatz
0168	nein	-	nein	-	-	-	nein	nein	-	-	-	-	-	0	-	-	-	nein	nein	0	-	-	-
0169	nein	-	nein	-	-	-	nein	ja	-	-	-	gering	-	mittel	10	-	4	nein	nein	0	-	-	-
0170	nein	-	nein	-	-	-	nein	nein	-	-	-	-	-	0	-	-	-	nein	nein	0	-	-	-
0171	nein	-	nein	-	-	-	nein	ja	gering	-	-	-	-	0	-	-	-	nein	nein	0	-	-	-
0172	nein	-	nein	-	-	-	Gesamtabfluss	ja	mittel	-	-	-	-	gering	-	-	-	gering	ja	1	ja	-	-
0173	nein	-	nein	-	-	-	nein	nein	-	-	-	-	-	0	-	-	-	nein	ja	1	-	-	-
0174	nein	-	Hauptschluss	5	-	750	Gesamtabfluss	ja	-	-	-	-	gering	0	-	-	-	nein	ja	1	-	-	-
0175	nein	-	nein	-	-	-	Teilabfluss	ja	-	-	-	-	gering	gering	50	-	5	nein	ja	1	ja	-	-
0176	nein	-	Hauptschluss	19	-	2000	nein	ja	-	-	-	-	stark	mittel	8	-	19	nein	ja	3	ja	ja	ja
0177	nein	-	Hauptschluss	0	-	1000	Gesamtabfluss	ja	gering	-	-	-	-	mittel	-	-	-	nein	ja	2	3	ja	ja
0178	alt	n. f.	nein	-	-	-	nein	nein	-	-	-	-	-	stark	-	-	-	nein	ja	3	3	ja	ja
0179	alt	4	nein	-	-	-	nein	ja	-	-	-	-	-	stark	gering	0	-	4	mäßig	ja	2	ja	ja
0180	nein	-	nein	-	-	-	Gesamtabfluss	ja	-	-	-	-	-	stark	gering	0	-	-	nein	ja	3	ja	ja
0181	alt	50	nein	-	-	-	nein	nein	-	-	-	-	-	gering	0	-	-	mäßig	ja	1	1	ja	ja
1001	nein	-	nein	-	-	-	nein	ja	-	-	-	-	-	mittel	gering	0	-	-	mäßig	ja	2	ja	ja
1002	nein	-	Hauptschluss	0	-	20	Gesamtabfluss	ja	-	-	-	-	stark	gering	stark	3	1	mäßig	ja	2	ja	-	-
1003	nein	-	nein	-	-	-	nein	ja	-	-	-	-	-	mittel	0	-	1	2	nein	nein	0	-	-
1004	alt	6	nein	-	-	-	nein	ja	stark	-	-	-	-	0	-	-	-	gering	ja	1	1	ja	-
1005	nein	-	nein	-	-	-	nein	nein	-	-	-	-	-	0	-	-	-	nein	nein	0	-	-	-
1006	alt	10	nein	-	-	-	nein	ja	-	-	-	-	-	mittel	0	-	-	nein	ja	1	1	ja	-
1007	alt	100	nein	-	-	-	Gesamtabfluss	ja	stark	-	-	-	-	0	-	-	-	gering	nein	0	-	-	ja
1008	alt	5	Nebenschluss	20	-	50	nein	ja	-	-	-	-	-	gering	stark	1	50	nein	nein	0	-	-	-
1009	nein	-	Nebenschluss	n. f.	-	n. f.	nein	ja	-	-	-	-	-	stark	-	-	-	gering	ja	2	ja	ja	-
1010	nein	-	nein	-	-	-	nein	nein	-	-	-	-	-	stark	gering	0	-	-	nein	nein	0	-	-
1011	nein	-	Hauptschluss	0	-	-	Gesamtabfluss	ja	-	-	-	-	-	gering	stark	mittel	0	-	mäßig	ja	3	ja	ja
1012	nein	-	nein	-	-	-	nein	ja	-	-	-	-	-	gering	0	-	-	nein	ja	1	-	-	ja
1013	nein	-	nein	-	-	-	nein	ja	-	-	-	-	-	stark	stark	1	5	nein	ja	1	ja	-	-
1014	nein	-	Hauptschluss	1	-	-	Gesamtabfluss	ja	-	-	-	-	-	mittel	stark	0	-	-	mäßig	ja	2	ja	ja
1015	nein	-	nein	-	-	-	nein	ja	-	-	-	-	-	stark	0	-	15	nein	nein	1	-	-	-
1016	nein	-	nein	-	-	-	nein	nein	-	-	-	-	-	0	-	-	-	nein	nein	0	-	-	-
1017	nein	-	Hauptschluss	7	-	53	Gesamtabfluss	nein	gering	-	-	-	-	gering	mittel	7	3	nein	nein	0	-	-	-
1018	nein	-	nein	-	-	-	nein	ja	-	-	-	-	-	stark	gering	1	1	nein	ja	1	1	ja	-
1019	nein	-	Nebenschluss	0	-	5	nein	ja	-	-	-	-	-	gering	mittel	2	3	mäßig	ja	1	-	-	-
1020	nein	-	nein	-	-	-	nein	nein	-	-	-	-	-	0	-	-	-	nein	nein	0	-	-	-
1021	nein	-	nein	-	-	-	nein	ja	-	-	-	-	-	stark	mittel	1	1	nein	nein	0	-	-	-
1022	nein	-	nein	-	-	-	nein	ja	-	-	-	-	-	gering	gering	0	3	nein	nein	0	-	-	-
1023	alt	5	nein	-	-	-	nein	ja	-	-	-	-	-	gering	0	-	-	nein	ja	1	ja	-	-
1024	nein	-	nein	-	-	-	nein	nein	-	-	-	-	-	mittel	gering	0	-	-	nein	nein	0	-	-
1025	nein	-	nein	-	-	-	nein	ja	-	-	-	-	-	0	-	-	-	nein	nein	0	-	-	-
1026	nein	-	nein	-	-	-	nein	ja	-	-	-	-	-	gering	0	-	-	nein	nein	0	-	-	-
1027	nein	-	nein	-	-	-	nein	nein	-	-	-	-	-	0	-	-	-	nein	ja	1	-	-	ja
1028	nein	-	nein	-	-	-	nein	ja	-	-	-	-	-	stark	stark	4	5	gering	ja	2	-	-	ja
1029	nein	-	Hauptschluss	3	-	18	nein	ja	-	-	-	-	-	stark	stark	6	25	ja	ja	2	ja	-	-
1030	alt	5	nein	-	-	-	nein	ja	-	-	-	-	-	mittel	mittel	1	2	gering	ja	2	ja	ja	-
1031	nein	-	Hauptschluss	20	-	500	nein	nein	-	-	-	-	-	0	-	-	-	nein	nein	0	-	-	-
1032	nein	-	nein	-	-	-	nein	nein	-	-	-	-	-	0	-	-	-	nein	nein	0	-	-	-
1033	nein	-	nein	-	-	-	nein	nein	-	-	-	-	-	0	-	-	-	nein	nein	0	-	-	-
1034	alt	5	Nebenschluss	20	-	100	nein	ja	-	-	-	-	-	gering	gering	30	5	nein	ja	1	-	-	-
1035	nein	-	nein	-	-	-	nein	nein	-	-	-	-	-	0	-	-	-	mäßig	nein	0	-	-	-
1037	nein	-	nein	-	-	-	nein	nein	-	-	-	-	-	0	-	-	-	stark	ja	1	-	-	-
1038	nein	-	nein	-	-	-	nein	ja	-	-	-	-	-	mittel	0	-	-	mäßig	ja	2	ja	-	-
1039	nein	-	nein	-	-	-	nein	ja	-	-	-	-	-	stark	0	-	-	gering	ja	1	ja	-	-
1040	nein	-	Hauptschluss	3	-	7	nein	ja	-	-	-	-	-	gering	gering	20	3	gering	nein	0	-	-	-
1041	nein	-	Hauptschluss	8	-	60	nein	ja	gering	-	-	-	-	gering	gering	gering	15	2	nein	ja	1	ja	-
1042	nein	-	nein	-	-	-	nein	nein	-	-	-	-	-	0	-	-	-	nein	nein	0	-	-	-
1043	nein	-	nein	-	-	-	nein	ja	-	-	-	-	-	gering	0	-	-	stark	nein	0	-	-	-
1044	nein	-	nein	-	-	-	nein	nein	-	-	-	-	-	0	-	-	-	nein	nein	0	-	-	-
1045	nein	-	nein	-	-	-	nein	ja	-	-	-	-	-	mittel	gering	0	-	-	nein	ja	1	ja	-
1046	nein	-	nein	-	-	-	nein	nein	-	-	-	-	-	0	-	-	-	nein	ja	1	ja	-	-
1047	nein	-	nein	-	-	-	nein	ja	-	-	-	-	-	mittel	mittel	0	-	-	nein	nein	0	-	-
1048	nein	-	nein	-	-	-	nein	nein	-	-	-	-	-	0	-	-	-	mäßig	ja	2	ja	ja	-
1049	nein	-	Hauptschluss	5	-	200	Gesamtabfluss	ja	-	-	-	-	-	stark	stark	1	5	nein	ja	3	ja	ja	-
1050	alt	n. f.	Hauptschluss	20	-	200	Hauptschluss	ja	-	-	-	-	-	stark	stark	1	20	nein	nein	0	-	-	-
1051	nein	-	nein	-	-	-	nein	nein	-	-	-	-	-	0	-	-	-	nein	ja	8	3	ja	ja
1052	nein	-	nein	-	-	-	nein	nein	-	-	-	-	-	0	-	-	-	stark	nein	0	-	-	-
1053	alt	5	nein	-	-	-	nein	ja	-	-	-	-	-	gering	stark	2	20	gering	nein	0	-	-	-
1054	nein	-	Hauptschluss	3	-	8	nein	ja	-	-	-	-	-	mittel	mittel	0	3	mäßig	ja	1	1	ja	-
1055	alt	10	nein	-	-	-	nein	ja	-	-	-	-	-	stark	stark	0	-	-	nein	ja	2	ja	-
1056	nein	-	nein	-	-	-	nein	ja	-	-	-	-	-	gering	0	-	-	nein	nein	0	-	-	-
1057	nein	-	Nebenschluss	10	-	15	nein	ja	-	-	-	-	-	gering	mittel	2	1	mäßig	ja	1	ja	-	-
1058	alt	4	nein	-	-	-	nein	ja	-	-	-	-	-	stark	0	-	-	nein	nein	0	-	-	-
1059	nein	-	Hauptschluss	0	-	30	nein	ja	stark	-	-	-	-	stark	-	3	2	nein	ja	2	ja	ja	-
1060	alt	5	nein	-	-	-	nein	ja	-	-	-	-	-	mittel	mittel	1	1	nein	ja	1	ja	-	-
1061	alt	3	nein	-	-	-	nein	ja	-	-	-	-	-	gering	0	-	-	nein	nein	0	-	-	-
1062	nein	-	nein	-	-	-	nein	ja	-	-	-	-	-	gering	0	-	-	gering	ja	1	ja	-	-
1063	nein	-	nein	-	-	-	nein	nein	-	-	-	-	-	0	-	-	-	nein	nein	0	-	-	-
1064	nein	-	nein	-	-	-	nein	nein	-	-	-	-	-	0	-	-	-	nein	nein	0	-	-	-
1065	nein	-	nein	-	-	-	nein	ja	-	-	-	-	-	gering	0	-	-	nein	nein	1	-	-	ja
1066	alt	30	Hauptschluss	5	-	2	nein	ja	-	-	-	-	-	stark	stark	0	5	mäßig	ja	1	ja	-	-
1067	alt	50	nein	-	-	-	Gesamtabfluss	nein	-	-	-	-	-	stark	0	-	-	nein	nein	0	-	-	-
1068	alt	-	nein	-	-	-	nein	ja	-	-	-	-	-	gering	0	-	-	nein	nein	0	-	-	-
1069	nein	-	nein	-	-	-	nein	nein	-	-	-	-	-	0	-	-	-	nein	nein	0	-	-	-
1070	nein	-	nein	-	-	-	nein	nein	-														

H 9 Anhang Datenbank aller Quellen, Teil Struktur und Umfeld

ID-Nr.	Triststeine	Überdachung	Wasserretention	Waldtüterfelle	Fahrschaden	Abgaben	Haus-/Gewerbenü	Holzball	Planzentabell	Erdhaush/Bauschutt	om. Reste/Faulschlamm	Einfüllungen	Einfüllung nach	Art der Einfüllung	Haugumfeld	Sommerbeschattung	Anzahl	Substratgruppen	Fels/Böcke	Steine	
0001	-	-	-	-	-	-	vereinzelt	-	-	-	-	-	-	-	Mischwald	mittel	6	-	-	-	
0002	-	-	-	-	-	-	nein	-	-	-	-	-	-	-	Mischwald	mittel	7	-	-	-	
0003	ja	-	-	-	-	-	nein	-	-	-	-	-	-	-	ext. Grünland	unbeschattet	5	-	-	gering	
0004	-	-	-	-	-	-	nein	-	-	-	-	-	-	-	Laubwald	stark	9	mittel	-	mittel	
0005	-	-	-	-	-	-	nein	-	-	-	-	-	-	-	ext. Grünland	unbeschattet	3	-	-	-	
0006	-	-	-	-	-	-	ja	vereinzelt	vereinzelt	vereinzelt	-	-	-	-	Mischwald	stark	9	-	-	gering	
0007	-	-	-	-	-	-	ja	vereinzelt	-	-	-	-	-	-	Mischwald	schwach	5	-	-	-	
0008	-	-	-	-	-	-	nein	-	-	-	-	-	-	-	Acker/Siedlung	schwach	4	-	-	stark	
0009	-	-	-	-	-	-	nein	-	-	-	-	-	-	-	Laubwald	stark	6	-	-	stark	
0010	-	-	-	-	-	-	ja	vereinzelt	-	-	vereinzelt	-	20	Drainage/ Graben	int. Grünland	unbeschattet	5	-	-	-	
0011	ja	-	-	-	-	-	nein	-	-	-	-	-	-	-	Mischwald	stark	5	-	-	-	
0012	-	-	-	-	-	-	nein	-	-	-	-	-	-	-	Laubwald	stark	9	-	-	gering	
0013	-	-	-	-	-	-	nein	-	-	-	-	-	-	-	Mischwald	mittel	9	-	-	-	
0014	-	-	-	-	-	-	nein	-	-	-	-	-	-	-	Acker/Siedlung	mittel	1	-	-	-	
0015	-	-	-	-	-	-	nein	-	-	-	-	-	-	-	ext. Grünland	unbeschattet	4	-	-	-	
0016	-	-	-	-	-	-	nein	-	-	-	-	-	-	-	Nadelwald	mittel	5	-	-	gering	
0017	-	-	-	-	-	-	nein	-	-	-	-	-	-	ja	n. f.	Rohr trocken	Laubwald	stark	9	gering	mittel
0018	-	-	-	-	-	-	nein	-	-	-	-	-	-	-	Laubwald	stark	5	-	-	-	
0019	-	-	-	-	-	-	nein	-	-	-	-	-	-	-	Laubwald	stark	8	-	-	mittel	
0020	-	-	-	-	-	-	nein	-	-	-	-	-	-	-	Acker/Siedlung	stark	2	-	-	-	
0021	-	-	-	-	-	-	nein	-	-	-	-	-	-	-	ext. Grünland	unbeschattet	5	-	-	-	
0022	-	-	-	-	-	-	nein	-	-	-	-	-	-	-	Acker/Siedlung	unbeschattet	3	-	-	-	
0023	n. f.	n. f.	n. f.	n. f.	n. f.	n. f.	n. f.	n. f.	n. f.	n. f.	n. f.	n. f.	n. f.	n. f.	Acker/Siedlung	n. f.	n. f.	n. f.	n. f.	n. f.	
0024	ja	-	-	-	-	-	ja	vereinzelt	-	-	-	-	-	-	Laubwald	stark	5	-	-	gering	
0025	-	-	-	-	-	-	ja	vereinzelt	-	-	-	-	-	-	Laubwald	stark	6	-	-	-	
0026	-	-	-	-	-	-	nein	-	-	-	-	-	-	-	Laubwald	stark	6	-	-	gering	
0027	-	-	-	-	-	-	ja	-	vereinzelt	-	-	-	-	-	Laubwald	mittel	7	-	-	-	
0028	-	-	-	-	-	-	nein	-	-	-	-	-	-	-	Laubwald	stark	6	-	-	-	
0029	ja	ja	-	-	-	-	nein	-	-	-	-	-	-	-	Acker/Siedlung	stark	0	-	-	-	
0030	-	-	-	-	-	-	ja	-	-	-	-	-	-	-	Acker/Siedlung	mittel	2	-	-	-	
0031	-	-	-	-	-	-	nein	-	-	-	-	-	-	-	ext. Grünland	schwach	4	-	-	-	
0032	-	-	-	-	-	-	nein	-	-	-	-	-	-	1,5	Drainage/ Graben	ext. Grünland	schwach	4	-	-	-
0033	-	-	-	-	-	-	ja	teilweise	teilweise	vollständig	-	-	-	-	ext. Grünland	stark	6	-	-	mittel	
0034	-	-	-	-	-	-	nein	-	-	-	-	-	-	-	Acker/Siedlung	unbeschattet	4	-	-	-	
0035	-	-	-	-	-	-	ja	-	-	-	-	-	-	1	Drainage/ Graben	Acker/Siedlung	schwach	4	-	-	-
0036	-	-	-	-	-	-	nein	-	-	-	-	-	-	-	Laubwald	stark	11	gering	-	mittel	
0037	-	-	-	-	-	-	ja	vereinzelt	-	-	-	-	-	2	Oberfläche/ Straße	Acker/Siedlung	unbeschattet	0	-	-	-
0038	-	-	-	-	-	-	nein	-	-	-	-	-	-	-	int. Grünland	schwach	6	-	-	mittel	
0039	-	-	-	-	-	-	nein	-	-	-	-	-	-	-	Laubwald	stark	1	-	-	mittel	
0040	-	-	-	-	-	-	ja	vereinzelt	-	-	-	-	-	6	Rohr trocken	Laubwald	stark	8	-	-	mittel
0041	n. f.	n. f.	n. f.	n. f.	n. f.	n. f.	n. f.	n. f.	n. f.	n. f.	n. f.	n. f.	n. f.	n. f.	int. Grünland	n. f.	n. f.	n. f.	n. f.	n. f.	
0042	-	-	-	-	-	-	nein	-	-	-	-	-	-	-	Mischwald	mittel	7	-	-	mittel	
0043	-	-	-	-	-	-	nein	-	-	-	-	-	-	-	Laubwald	stark	9	-	-	gering	
0044	-	-	-	-	-	-	nein	-	-	-	-	-	-	0,5	Rohr trocken	mittel	4	-	-	gering	
0045	-	-	-	-	-	-	nein	-	-	-	-	-	-	-	ext. Grünland	unbeschattet	4	-	-	-	
0046	-	-	-	-	-	-	ja	-	-	-	vereinzelt	-	-	-	ext. Grünland	unbeschattet	4	-	-	-	
0047	-	-	-	-	-	-	nein	-	-	-	-	-	-	-	Laubwald	stark	8	-	-	-	
0048	-	-	-	-	-	-	nein	-	-	-	-	-	-	-	Laubwald	stark	9	-	-	gering	
0049	-	-	-	-	-	-	nein	-	-	-	-	-	-	-	Laubwald	mittel	1	-	-	-	
0050	-	-	-	-	-	-	nein	-	-	-	-	-	-	-	Acker/Siedlung	unbeschattet	1	-	-	-	
0051	-	-	-	-	-	-	ja	-	-	-	teilweise	-	-	-	ext. Grünland	unbeschattet	3	-	-	-	
0052	-	-	-	-	-	-	nein	-	-	-	-	-	-	-	ext. Grünland	schwach	4	-	-	-	
0053	-	-	-	-	-	-	nein	-	-	-	-	-	-	-	Mischwald	mittel	6	-	-	-	
0054	n. f.	n. f.	n. f.	n. f.	n. f.	n. f.	n. f.	n. f.	n. f.	n. f.	n. f.	n. f.	n. f.	n. f.	int. Grünland	n. f.	n. f.	n. f.	n. f.	n. f.	
0055	-	-	-	-	-	-	nein	-	-	-	-	-	-	-	Mischwald	stark	7	-	-	gering	
0056	-	-	-	-	-	-	nein	-	-	-	-	-	-	-	Laubwald	mittel	5	-	-	mittel	
0057	-	-	-	-	-	-	ja	-	vereinzelt	-	-	-	-	-	Laubwald	stark	6	-	-	gering	
0058	ja	-	-	-	-	-	nein	-	-	-	-	-	-	-	Acker/Siedlung	schwach	5	-	-	-	
0059	-	-	-	-	-	-	nein	-	-	-	-	-	-	-	int. Grünland	unbeschattet	5	-	-	-	
0060	-	-	-	-	-	-	nein	-	-	-	-	-	-	-	ext. Grünland	unbeschattet	4	-	-	-	
0061	-	-	-	-	-	-	ja	teilweise	teilweise	teilweise	vereinzelt	-	-	-	Acker/Siedlung	unbeschattet	4	-	-	-	
0062	-	-	-	-	-	-	ja	teilweise	vereinzelt	vereinzelt	teilweise	-	-	-	Laubwald	stark	7	-	-	mittel	
0063	-	-	-	-	-	-	ja	vereinzelt	-	-	-	-	-	-	Laubwald	stark	7	-	-	gering	
0064	-	-	-	-	-	-	ja	vereinzelt	-	-	-	-	-	-	Mischwald	stark	7	-	-	-	
0065	-	-	-	-	-	-	ja	vereinzelt	-	-	-	-	-	-	Laubwald	stark	6	-	-	-	
0066	-	-	-	-	-	-	ja	vereinzelt	-	-	vereinzelt	-	-	-	ext. Grünland	stark	7	-	-	-	
0067	-	-	-	-	-	-	nein	-	-	-	-	-	-	-	Laubwald	unbeschattet	5	-	-	-	
0068	-	-	-	-	-	-	nein	-	-	-	-	-	-	-	Nadelwald	stark	7	-	-	-	
0069	-	-	-	-	-	-	ja	vereinzelt	-	-	-	-	-	-	Laubwald	stark	8	-	-	mittel	
0070	-	-	-	-	-	-	nein	-	-	-	-	-	-	-	Mischwald	mittel	8	-	-	mittel	
0071	-	-	-	-	-	-	nein	-	-	-	-	-	-	-	Nadelwald	stark	8	-	-	gering	
0072	-	-	-	-	-	-	nein	-	-	-	-	-	-	-	Nadelwald	stark	7	-	-	-	
0073	-	-	-	-	-	-	nein	-	-	-	-	-	-	-	Laubwald	mittel	8	-	-	gering	
0074	-	-	-	-	-	-	nein	-	-	-	-	-	-	-	Laubwald	schwach	6	-	-	stark	
0075	-	-	-	-	-	-	nein	-	-	-	-	-	-	-	ext. Grünland	unbeschattet	4	-	-	gering	
0076	-	-	-	-	-	-	nein	-	-	-	-	-	-	-	ext. Grünland	unbeschattet	4	-	-	-	
0077	-	-	-	-	-	-	ja	-	-	-	-	-	-	-	Acker/Siedlung	unbeschattet	3	-	-	gering	
0078	-	-	-	-	-	-	nein	-	-	-	-	-	-	-	Acker/Siedlung	unbeschattet	1	-	-	-	
0079	-	-	-	-	-	-	nein	-	-	-	-	-	-	-	Nadelwald	mittel	8	-	-	gering	
0080	-	-	-	-	-	-	ja	-	-	-	-	-	-	-	Laubwald	mittel	8	-	-	mittel	
0081	-	-	-	-	-	-	nein	-	-	-	-	-	-	-	Acker/Siedlung	n. f.	n. f.	n. f.	n. f.	n. f.	
0082	-	-	-	-	-	-	nein	-	-	-	-	-	-	-	Acker/Siedlung	unbeschattet	0	-	-	-	
0083	-	-	-	-	-	-	ja	-	vollständig	-	-	-	-	-	Nadelwald	mittel	5	-	-	stark	
0084	-	-	-	-	-	-	nein	-	-	-	-	-	-	-	Mischwald	mittel	5	-	-	stark	
0085	-	-	-	-	-	-	nein	-	-	-	-	-	-	-	Mischwald	stark	9	-	-	gering	
0086	-	-	-	-	-	-	nein	-	-	-	-	-	-	-	Laubwald	mittel	7	-	-	-	
0087	-	-	-	-	-	-	ja	-	-	-	-	-	-	-	Nadelwald	stark	8	-	-	gering	
0088	-	-	-	-	-	-	nein	-	-	-	-	-	-	-	Laubwald	stark	7	-	-	-	
0089	-	-	-	-	-	-	nein	-	-	-	-	-	-	-	Nadelwald	stark	5	-	-	-	
0090	-	-	-	-	-	-	nein	-	-	-	-	-	-	-	Acker/Siedlung	schwach	3	-	-	-	
0091	-	-	-	-	-	-	nein	-	-	-	-	-	-	-	Laubwald	stark	2	-	-	-	
0092	-	-	-	-	-	-	nein	-	-	-	-	-	-	-	Mischwald	stark	6	-	-	mittel	
0093	n. f.	n. f.	n. f.	n. f.	n. f.	n. f.	n. f.	n. f.	n. f.	n. f.	n. f.	n. f.	n. f.	n. f.	int. Grünland	n. f.	n. f.	n. f.	n. f.	n. f.	
0094	-	-	-	-	-	-	nein	-	-	-	-	-	-	-	Acker/Siedlung	unbeschattet	2	-	-	-	
0095	-	-	-	-	-	-	ja	-	vereinzelt	-	-	-	-	-	Acker/Siedlung	mittel	2	-	-	-	
0096	-	-	-	-	-	-	nein	-	-	-	-	-	-	-	int. Grünland	schwach	5	-	-	gering</	

H 9 Anhang Datenbank aller Quellen, Teil Struktur und Umfeld

ID-Nr.	Triststeine	Übersdachsung	Wassertretbecken	Wildfutterstelle	Fahrschaden	Abgabenplan	Haus-/Gewerbetüll	Holzabfall	Pflanzenabfall	Erdrauhub/Bauschutt	om. Reste/Faulschlamm	Eingleitungen	Eingleitung nach	Art der Eingleitung	Haugrundfeld	Sommerbeschattung	Anzahl	Substratgruppen	Fels/Böcke	Steine
0168							nein					nein			Mischwald	mittel	11		gering	gering
0169							nein					nein			Mischwald	mittel	7			
0170							nein					nein			Mischwald	stark	9		mittel	gering
0171							nein					nein			Laubwald	mittel	5			
0172							nein					nein			Mischwald	stark	7		gering	gering
0173							nein					nein			Laubwald	stark	8		mittel	gering
0174							nein					nein			Mischwald	mittel	7		gering	gering
0175							nein					nein			Mischwald	stark	9		gering	gering
0176							nein					ja	8	Rohr trocken	Acker/Siedlung	schwach	5			gering
0177	ja						nein					nein			Mischwald	mittel	6			
0178	ja						nein					nein			Mischwald	schwach	5			gering
0179							nein					nein			Laubwald	stark	7			gering
0180	ja						nein					nein			Mischwald	stark	3			
0181							nein					nein			Laubwald	mittel	10		gering	gering
1001							nein					nein			Nadelwald	stark	6		mittel	mittel
1002	ja						nein					nein			int. Grünland	schwach	4			
1003							nein					nein			Mischwald	stark	6		gering	
1004							nein					nein			Acker/Siedlung	unbeschattet	3			
1005							nein					nein			Nadelwald	schwach	8		gering	mittel
1006							nein					nein			Laubwald	stark	7			
1007							nein					nein			Nadelwald	stark	4			
1008							nein					nein			ext. Grünland	unbeschattet	4			
1009							nein					nein			ext. Grünland	unbeschattet	4			
1010							nein					nein			Laubwald	stark	8		gering	mittel
1011	ja						ja	vereinzelt				nein			Laubwald	stark	8			gering
1012							nein		teilweise			nein			ext. Grünland	mittel	6			stark
1013							nein					nein			Acker/Siedlung	schwach	2			
1014							ja	teilweise				nein			ext. Grünland	mittel	2			
1015							nein	vollständig				nein			ext. Grünland	unbeschattet	8			
1016							nein					nein			Laubwald	stark	10		stark	mittel
1017							nein					nein			Laubwald	schwach	5			
1018							nein					nein			Laubwald	stark	8		stark	gering
1019	ja						nein					nein			ext. Grünland	mittel	5			
1020							nein					nein			Laubwald	stark	8		gering	stark
1021							nein					nein			Nadelwald	stark	5			
1022							nein					nein			Nadelwald	stark	5			
1023							nein					nein			Laubwald	mittel	6			gering
1024							nein					nein			Nadelwald	stark	5			
1025							nein					nein			Laubwald	stark	5		mittel	mittel
1026							nein					nein			Laubwald	stark	8		mittel	mittel
1027							nein					nein			Laubwald	stark	8		gering	
1028							nein					nein			Laubwald	mittel	6			
1029			ja				nein					nein			Laubwald	stark	3			
1030							nein					nein			Nadelwald	stark	7			
1031							ja		teilweise			nein			Laubwald	mittel	7		mittel	gering
1032							nein					nein			Mischwald	stark	7			
1033							nein					nein			Laubwald	schwach	10			gering
1034							nein					nein			ext. Grünland	schwach	4			
1035							nein					nein			Nadelwald	stark	7			gering
1037			ja				ja	vereinzelt	teilweise			nein			Nadelwald	stark	6			
1038	ja						nein					nein			int. Grünland	unbeschattet	2			
1039							nein					nein			Nadelwald	mittel	4			
1040							nein					nein			Laubwald	schwach	5			
1041							ja	vereinzelt				nein			ext. Grünland	unbeschattet	9			gering
1042							nein					nein			Nadelwald	mittel	7			gering
1043							nein					nein			Nadelwald	stark	6			
1044							nein					nein			Laubwald	schwach	5		stark	mittel
1045							nein					nein			Mischwald	mittel	9			gering
1046							nein					nein			ext. Grünland	schwach	6			
1047							nein					nein			ext. Grünland	schwach	8			
1048							nein					nein			Mischwald	stark	7		gering	gering
1049							nein					nein			Acker/Siedlung	stark	4			
1050							nein					nein			Acker/Siedlung	mittel	2			
1051	ja						ja	vereinzelt	vereinzelt			nein			Laubwald	mittel	7			
1052							nein					nein			int. Grünland	unbeschattet	5			
1053							nein					nein			int. Grünland	mittel	4			mittel
1054							nein					nein			Acker/Siedlung	unbeschattet	4			
1055	ja						nein					nein			Acker/Siedlung	stark	4			
1056							ja	vereinzelt				nein			Mischwald	mittel	5			
1057							nein					nein			Nadelwald	stark	3			
1058	ja						nein					nein			Acker/Siedlung	unbeschattet	3			
1059							nein					nein			Nadelwald	mittel	3			
1060							nein					nein			ext. Grünland	unbeschattet	6			
1061							nein					nein			ext. Grünland	unbeschattet	6			
1062							nein					nein			Mischwald	stark	5			gering
1063							nein					nein			Mischwald	stark	7			mittel
1064							nein					nein			Nadelwald	stark	6			
1065							nein					nein			Nadelwald	mittel	5			gering
1066							nein					nein			int. Grünland	unbeschattet	3			
1067							nein					nein			int. Grünland	unbeschattet	5			gering
1068							nein					nein			ext. Grünland	unbeschattet	2			
1069							nein					nein			Mischwald	schwach	6			stark
1070							nein					nein			ext. Grünland	unbeschattet	6			
1071							nein		vollständig			nein			Mischwald	stark	4			
1072							nein					nein			Acker/Siedlung	schwach	7			
1073							nein					nein			Mischwald	mittel	3			
1074							ja	vereinzelt				nein			ext. Grünland	stark	9			
1075							nein					nein			Laubwald	mittel	4			
1076							nein					nein			Laubwald	stark	10		mittel	mittel
1077							nein					nein			Nadelwald	schwach	7		gering	gering
1078	ja						nein					nein			Nadelwald	stark	5			gering
1079							nein					nein			ext. Grünland	unbeschattet	5			
1080							nein					nein			Acker/Siedlung	schwach	7			gering
1081							nein					nein			Acker/Siedlung	unbeschattet	6			
1082							nein					nein			ext. Grünland	mittel	3			
1083					ja		nein					nein			Laubwald	stark	6			mittel
1084							nein					nein			Mischwald	mittel	7			gering
1085							nein					nein			ext. Grünland	unbeschattet	3			
1086							nein					nein			Laubwald	unbeschattet	7			gering
1087							nein					nein			ext. Grünland	unbeschattet	5			
1088							nein					nein			Mischwald	stark	5			
1089							nein					nein			Laubwald	stark	8			mittel
1090							nein					nein			Laubwald	schwach	7			gering
1091							nein					nein			Laubwald	stark	6			
1092							nein					nein			Laubwald	mittel	8			gering
1093	ja						nein	vereinzelt				nein			Acker/Siedlung	unbeschattet	3			
1094							nein					nein			Mischwald	stark	6			
1095							nein					nein			Mischwald	schwach	7			
1096							nein													

H 9 Anhang Datenbank aller Quellen, Teil Struktur und Umfeld

ID-Nr.	Anz.	Besond.	Strukturen	Laufverweigung	Inselstrukturen	Fließhindernisse	Sandwirbel	natürliche Pools	große Tiefenvarianz	Kaskaden	Wasserfall	starke Quellflur	Wassermoose	gr. Lückensystem	Rieselflur	Gesamteindruck	A-Wert	B-Wert	Aufwertung	Bewertungszahl	Bewertungsklasse
0001	2			ja	ja											bedingt naturnah	3	2,1		2,55	bedingt naturnah
0002	4		ja		ja											mäßig beeinträchtigt	3	2,5		2,75	mäßig beeinträchtigt
0003	1												ja			geschädigt	4	2,5		3,25	mäßig beeinträchtigt
0004	6			ja	ja						ja			ja	ja	naturnah	1	1,45	-0,4		1 naturnah
0005	3	ja		ja												mäßig beeinträchtigt	3	2,81		2,91	mäßig beeinträchtigt
0006	3	ja	ja	ja	ja											geschädigt	5	1,85		3,43	geschädigt
0007	3	ja	ja	ja	ja											geschädigt	3	3,05		3,05	mäßig beeinträchtigt
0008	0															stark geschädigt	5	3,1		4,05	geschädigt
0009	4	ja	ja	ja	ja									ja		bedingt naturnah	2	1,88		1,94	bedingt naturnah
0010	3	ja														geschädigt	5	3,58		4,34	stark geschädigt
0011	0															stark geschädigt	5	3,71		4,36	stark geschädigt
0012	4	ja	ja	ja	ja											naturnah	1	1,52		1,26	naturnah
0013	0															geschädigt	4	3,21		3,61	geschädigt
0014	0															stark geschädigt	5	4,22		4,61	stark geschädigt
0015	3	ja		ja	ja											geschädigt	4	2,31		3,12	mäßig beeinträchtigt
0016	3	ja		ja	ja											geschädigt	5	2,86		3,93	geschädigt
0017	5	ja	ja	ja	ja									ja		bedingt naturnah	3	1,06		2,03	bedingt naturnah
0018	2			ja	ja											mäßig beeinträchtigt	4	1,28		2,64	mäßig beeinträchtigt
0019	5	ja	ja	ja	ja											naturnah	2	1,13		1,57	naturnah
0020	0															stark geschädigt	5	4,1		4,55	stark geschädigt
0021	0			ja	ja											mäßig beeinträchtigt	5	4,1		4,55	mäßig beeinträchtigt
0022	0			ja	ja											stark geschädigt	5	3,78		4,39	stark geschädigt
0023	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	stark geschädigt	5	5		5	stark geschädigt
0024	0															stark geschädigt	5	3,7		4,35	stark geschädigt
0025	1			ja	ja											mäßig beeinträchtigt	3	1,29		2,15	bedingt naturnah
0026	5		ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	naturnah	1	1		1	naturnah
0027	2			ja	ja											mäßig beeinträchtigt	3	1,63		2,32	bedingt naturnah
0028	2			ja	ja											bedingt naturnah	3	1,92		2,46	bedingt naturnah
0029	0															stark geschädigt	5	4,4		4,7	stark geschädigt
0030	0															geschädigt	4	3,55		3,78	geschädigt
0031	0															geschädigt	4	2,89		3,45	geschädigt
0032	0			ja	ja											stark geschädigt	5	3,43		4,22	stark geschädigt
0033	2			ja	ja											geschädigt	5	2,28		3,54	geschädigt
0034	1															geschädigt	5	3,43		4,22	stark geschädigt
0035	0		ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	mäßig beeinträchtigt	2	2		2	bedingt naturnah
0036	4		ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	naturnah	1	1,14		1,07	naturnah
0037	0															stark geschädigt	5	4,33		4,67	stark geschädigt
0038	3	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	geschädigt	5	2,33		3,67	geschädigt
0039	5		ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	naturnah	1	1	-0,4		1 naturnah
0040	6	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	bedingt naturnah	4	1,1	-0,4	2,15	bedingt naturnah
0041	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	stark geschädigt	5	5		5	stark geschädigt
0042	3															bedingt naturnah	3	1,74		2,37	bedingt naturnah
0043	4		ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	naturnah	1	1,25		1,13	naturnah
0044	0															stark geschädigt	4	3,59		3,8	geschädigt
0045	2	ja														mäßig beeinträchtigt	3	2,69		2,85	mäßig beeinträchtigt
0046	2	ja														stark geschädigt	2	2,28		2,14	bedingt naturnah
0047	2			ja	ja											mäßig beeinträchtigt	3	1,29		2,15	bedingt naturnah
0048	7	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	naturnah	1	1,1	-0,4	1	naturnah
0049	3	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	naturnah	2	1,43		1,72	naturnah
0050	0															stark geschädigt	5	4,13		4,57	stark geschädigt
0051	1															geschädigt	5	1,86		3,43	geschädigt
0052	2			ja	ja											geschädigt	3	2,52		2,76	mäßig beeinträchtigt
0053	2			ja	ja											mäßig beeinträchtigt	3	2		2,5	bedingt naturnah
0054	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	stark geschädigt	5	5		5	stark geschädigt
0055	2															ja mäßig beeinträchtigt	5	2,25		3,63	geschädigt
0056	2	ja														mäßig beeinträchtigt	3	2,46		2,73	mäßig beeinträchtigt
0057	2	ja														bedingt naturnah	3	1,63		2,32	bedingt naturnah
0058	1															geschädigt	5	3,31		4,16	geschädigt
0059	1			ja	ja											geschädigt	3	3,31		3,16	mäßig beeinträchtigt
0060	0															mäßig beeinträchtigt	3	2,52		2,76	mäßig beeinträchtigt
0061	2			ja	ja											stark geschädigt	4	3,57		3,79	geschädigt
0062	2	ja														mäßig beeinträchtigt	4	1,16		2,58	bedingt naturnah
0063	3	ja		ja	ja											mäßig beeinträchtigt	5	1,36		3,18	mäßig beeinträchtigt
0064	3	ja		ja	ja											stark geschädigt	5	4,13		4,57	stark geschädigt
0065	3	ja												ja		mäßig beeinträchtigt	3	1,36		2,18	bedingt naturnah
0066	3	ja		ja	ja											bedingt naturnah	3	1,25		2,13	bedingt naturnah
0067	3	ja		ja	ja											mäßig beeinträchtigt	3	2,02		2,51	bedingt naturnah
0068	4	ja		ja	ja					ja						naturnah	3	1,19		2,1	bedingt naturnah
0069	1			ja	ja											geschädigt	5	2,95		3,98	geschädigt
0070	4	ja		ja	ja						ja					naturnah	2	1,13		1,57	naturnah
0071	3	ja									ja					mäßig beeinträchtigt	4	2,17		3,09	mäßig beeinträchtigt
0072	2	ja														mäßig beeinträchtigt	1	2,64		1,82	bedingt naturnah
0073	4	ja														bedingt naturnah	2	2,57		2,29	bedingt naturnah
0074	2	ja		ja	ja											mäßig beeinträchtigt	4	2,22		3,11	mäßig beeinträchtigt
0075	2	ja														mäßig beeinträchtigt	3	2,52		2,76	mäßig beeinträchtigt
0076	2	ja														geschädigt	4	3		3,5	geschädigt
0077	0															stark geschädigt	5	3,88		4,44	stark geschädigt
0078	0															stark geschädigt	5	4,6		4,8	stark geschädigt
0079	4	ja		ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	mäßig beeinträchtigt	4	2,19		3,1	mäßig beeinträchtigt
0080	1															geschädigt	4	2,06		3,03	mäßig beeinträchtigt
0081	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	stark geschädigt	5	5		5	stark geschädigt
0082	0															stark geschädigt	5	4		4,5	stark geschädigt
0083	4	ja		ja	ja											geschädigt	5	3		4	geschädigt
0084	3	ja		ja	ja											mäßig beeinträchtigt	4	2,39		3,2	mäßig beeinträchtigt
0085	4	ja		ja	ja						ja					naturnah	3	1,19		2,1	bedingt naturnah
0086	5	ja	ja	ja	ja						ja					naturnah	1	1,19	-0,4		1 naturnah
0087	3	ja		ja	ja											mäßig beeinträchtigt	3	2,03		2,52	bedingt naturnah
0088	4	ja		ja	ja						ja					naturnah	1	1		1	naturnah
0089	2	ja														geschädigt	5	4,04		4,52	stark geschädigt
0090	0															geschädigt	5	3,04		4,02	geschädigt
0091	0															stark geschädigt	5	3,7		4,35	stark geschädigt
0092	2	ja														bedingt naturnah	3	1,55		2,28	bedingt naturnah
0093	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	stark geschädigt	5	5		5	stark geschädigt
0094	0															stark geschädigt	5	4,15		4,58</	

H 10 Anhang Datenbank aller Quellen, Teil Hydrochemie, Frühjahr

ID-Nr.	Datum	Uhrzeit	Fließstrecke	Lufttemperatur [°C]	Wassertemperatur [°C]	elektr. Leit. [mS/cm]	pH-Wert []	Sauerstoff [mg/l]	Sauerst.-Sättig. [%]	Säurebind.-vermögen [mmol/l]	Carbonathärte [°dH]	Summe Erdalkalien	Ammonium
0001	01.03.1n.f.	7:12	0,5	10	8,9	0,8	7	8,3	90	4,2	11,4	21,7	0
0002	02.03.1n.f.	0:00	0,7	10	7,9	0,28	6,8	10,5	95	0,8	2,5	5,1	0
0003	02.03.1n.f.	10:48	0,3	11,5	9,1	0,27	6,7	9,7	86	0,8	2,2	6,8	0
0004	02.03.1n.f.	0:00	5	11	10,2	0,7	7,9	10,6	99	3,9	11	19,1	0
0005	03.03.1n.f.	0:00	3	12	9,1	0,22	7,2	9,6	85	0,8	2,2	3,6	0
0006	03.03.1n.f.	0:00	0,2	12	9,8	0,41	6,5	9,5	91	0,8	2,2	7,6	0
0007	04.03.1n.f.	4:48	30	9,5	8,5	0,61	8,4	10,5	91	0,8	2,2	8,6	0,04
0008	04.03.1n.f.	0:00	0,2	8,5	8,5	0,42	6,9	9,1	95	4,5	12,6	11,1	0
0009	05.03.1n.f.	0:00	1,5	10	7,7	0,21	7,2	10,7	95	1	2,8	4,9	0,01
0010	10.03.1n.f.	0:00	0,5	5	6,4	0,33	6,3	11,4	95	0,5	1,6	5,3	0,02
0011	11.03.1n.f.	7:12	0,1	6	3,5	1,14	5,9	4	35	14	37	31,7	0,1
0012	11.03.1n.f.	0:00	2,5	6,5	7,3	0,23	7,4	11,4	97	1	3,6	4,5	0,02
0013	11.03.1n.f.	0:00	13	8	6,4	0,63	7,4	10,4	37	2,6	7,2	15,8	0
0014	12.03.1n.f.	12:00	0,1	3	6,7	0,27	6,8	n.f.	94	0,8	2,4	5,9	0,01
0015	12.03.1n.f.	3:36	0,1	9	3,7	0,29	6,5	10,9	97	0,4	1,2	5	0,02
0016	08.03.1n.f.	9:36	1	9	8,4	0,35	7,6	9,8	84	0,9	2,6	6,5	0,02
0017	08.03.1n.f.	7:12	0,1	5	6,5	0,5	7,5	9,6	90	4,3	11,8	11,8	0,03
0018	09.03.1n.f.	10:48	1,5	7	8,3	0,3	6,7	9,1	83	2,2	6	8,8	0
0019	09.03.1n.f.	3:36	0,5	11	8,7	0,52	7,5	10	90	3,9	0,9	14,2	0,04
0020	09.03.1n.f.	3:36	0,2	10	27	5,91	7	8,2	100	49,7	135	80,5	0,87
0021	10.03.1n.f.	0:00	0,1	8	9,2	0,71	6,9	8,1	72	5,3	14,3	19,6	0,05
0022	15.03.1n.f.	3:36	0,1	14	11,1	0,54	7,1	10,2	94	1,3	3,9	7,9	0
0023	15.03.1n.f.	0:00	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.
0024	15.03.1n.f.	3:36	0,2	10	9,8	0,55	7,1	10,2	90	4,7	13	14,2	0,01
0025	16.03.1n.f.	3:36	0,2	6	8	0,54	7,2	9,5	84	4,6	13	14,2	0
0026	16.03.1n.f.	0:00	0,3	15,5	10,1	0,37	6,8	9,1	80	2	5,8	8,6	0,04
0027	16.03.1n.f.	0:00	2	14	10,8	0,64	7,2	8,6	75	5,6	15,8	17,4	0,04
0028	17.03.1n.f.	0:00	2	6	7,4	0,74	7,2	8,9	76	7	19	20,7	0
0029	17.03.1n.f.	10:48	0,1	12	7,6	1,03	5,9	5,5	47	3,2	9	23,6	0,06
0030	17.03.1n.f.	7:12	0,2	9	9,4	0,51	6,8	10	98	2,5	7	7,1	0
0031	24.03.1n.f.	0:00	0,1	10	8,4	0,79	7,3	8,7	75	8,5	23,2	23,8	0
0032	29.03.1n.f.	0:00	0,5	13	8,6	0,8	7,4	10	86	7,6	20,5	22	0,04
0033	29.03.1n.f.	0:00	0,2	14	9,1	0,66	7,6	10,7	90	7	19	18,7	0,07
0034	29.03.1n.f.	7:12	0,5	15	8,4	0,8	7,7	10,3	87	6,6	18,5	21,7	0,13
0035	30.03.1n.f.	7:12	3	13	9,7	0,76	7,4	9	80	7	19	21,9	0,03
0036	30.03.1n.f.	7:12	0,5	15	9,1	0,51	7,1	7,6	65	5,6	15,8	14,3	0
0037	30.03.1n.f.	0:00	0,3	15	8,8	1,27	8,1	13,8	120	4,5	12,2	23,2	0
0038	30.03.1n.f.	0:00	0,2	16	6,5	0,7	7,3	5,1	55	6	16,9	18,3	0,01
0039	31.03.1n.f.	7:12	10	11	10,1	0,77	8	10	108	6,8	18,9	21,9	0
0040	31.03.1n.f.	0:00	0,5	16	9,6	0,73	7,9	8,3	90	6,9	18,8	20,7	0,01
0041	31.03.1n.f.	0:00	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.
0042	31.03.1n.f.	7:12	0,6	14	8,7	0,78	7,9	8,1	87	4,7	13	21,8	0
0043	01.04.1n.f.	0:00	0,7	10	7,5	0,53	7,7	6,3	68	5,4	15	15,5	0,02
0044	01.04.1n.f.	2:24	0,3	12	8,2	0,74	7,7	8,3	91	6,4	17,8	20,8	0,01
0045	17.05.1n.f.	10:48	1	17	10,6	0,18	6,2	7	65	0,3	0,8	4,6	0,04
0046	17.05.1n.f.	9:36	3	11	10,8	0,11	6,6	9,3	93	0,3	0,8	2,8	0,22
0047	18.05.1n.f.	3:36	4	16	9,8	0,16	5,4	9,1	83	0,3	0,8	2,1	0,02
0048	18.05.1n.f.	0:00	2	16	8,6	0,11	6	9,4	84	0,3	0,8	2,8	0,01
0049	18.05.1n.f.	8:24	3	20	11,5	0,09	6	8,7	86	0,3	0,8	1,9	0,02
0050	18.05.1n.f.	0:00	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.
0051	18.05.1n.f.	4:48	3	19	14,9	0,11	6,2	8,4	86	0,3	0,8	1,9	0,06
0052	19.05.1n.f.	12:00	n.f.	15	10,3	0,16	6,8	8,8	83	0,3	0,8	3,7	0,02
0053	19.05.1n.f.	13:12	5	16	8,6	0,21	6,6	10,8	97	0,8	2,5	4,7	0,02
0054	19.05.1n.f.	0:00	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.
0055	25.05.1n.f.	0:00	0,3	15	10	0,53	7,1	8,1	76	3,3	9,1	10,6	0
0056	25.05.1n.f.	9:36	0,5	19	13,7	0,12	5,4	7,5	80	0,3	0,8	1,8	0,06
0057	26.05.1n.f.	0:00	1	13	10,3	0,13	6,6	6,5	68	0,3	0,8	1,7	0,13
0058	26.05.1n.f.	0:00	0,2	17	9,5	0,1	6,3	4	43	0,3	0,8	1,7	0,04
0059	26.05.1n.f.	8:24	0,5	21	10	0,39	6	9,9	93	0,3	0,8	7,1	0
0060	26.05.1n.f.	9:36	0,5	22	11,1	0,11	6,1	8,5	82	0,3	0,8	1,7	0,03
0061	26.05.1n.f.	7:12	0,5	22	16,4	0,25	6,5	8,1	83	0,3	0,8	2,8	0
0062	27.05.1n.f.	4:48	0,5	18	9,6	0,84	7,6	9,6	88	6,5	18,1	21	0,07
0063	27.05.1n.f.	10:48	0,3	18	12,4	0,35	6,3	9,5	90	0,5	1,8	7,2	0,01
0064	27.05.1n.f.	0:00	0,1	25	9,8	1,12	6	2,7	25	12,5	34,1	28	0,04
0065	27.05.1n.f.	13:12	1	24	10,9	0,07	5,9	6,8	69	0,3	0,8	1,1	0,06
0066	27.05.1n.f.	3:36	0,5	25	9,4	0,24	5,7	8,1	76	0,3	0,8	3,3	0,01
0067	28.05.1n.f.	7:12	0,5	20	9,3	0,21	5,7	8	71	0,3	0,8	3,7	0,01
0068	31.05.1n.f.	13:12	0,3	20	9,6	0,02	5,6	8,8	84	0,3	0,8	0,2	0,09
0069	31.05.1n.f.	13:12	0,2	19	7,9	0,08	5,2	10	91	0,3	0,8	0,64	0,01
0070	01.06.1n.f.	9:36	0,2	17	8,6	0,05	6,1	10	94	0,3	0,8	0,55	0
0071	01.06.1n.f.	3:36	1	20	7,8	0,04	5,9	8,9	80	0,3	0,8	0,44	0,02
0072	01.06.1n.f.	12:00	0,5	20	8,4	0,05	4,9	10	90	0,3	0,8	0,4	0
0073	01.06.1n.f.	10:48	1	20	10,9	0,03	5,5	8,7	82	0,3	0,8	0,21	0,01
0074	01.06.1n.f.	8:24	0,2	23	9,7	0,14	6	10,4	94	0,3	0,8	2,4	0,03
0075	01.06.1n.f.	8:24	0,2	24	8,2	0,12	5,4	9	80	0,3	0,8	2,4	0
0076	02.06.1n.f.	8:24	0,2	25	10,3	0,29	6	6,9	65	0,3	0,8	4,4	0
0077	02.06.1n.f.	2:24	0,2	25	11,6	0,26	6,7	9,3	86	0,8	1,7	4,2	0,02
0078	02.06.1n.f.	0:00	0,2	20	15,4	0,58	7,7	8,7	89	2,6	7,1	14,5	0,08
0079	28.06.1n.f.	2:24	1	13	7,9	0,05	4,8	11,1	70	n.f.	n.f.	0,65	0,01
0080	29.06.1n.f.	3:36	1,5	16	12,3	0,27	5,7	11,1	12	2,4	6,8	6,5	0,08
0081	29.06.1n.f.	0:00	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.
0082	29.06.1n.f.	0:00	0,2	18	10	0,62	5,8	3,3	32	6,5	18	13,3	0,16
0083	29.06.1n.f.	3:36	2	18	6,6	0,07	4,9	8,1	73	n.f.	n.f.	0,95	0
0084	30.06.1n.f.	12:00	0,5	14	7,6	0,03	5,9	10,3	90	0,3	0,8	0,56	0
0085	30.06.1n.f.	7:12	2	15	9,7	0,05	5,1	6	57	n.f.	n.f.	0,64	0
0086	30.06.1n.f.	0:00	2	16	11	0,04	4,8	6,9	69	n.f.	n.f.	0,96	0,02
0087	30.06.1n.f.	2:24	2	14	10,3	0,15	4,9	7,8	74	n.f.	n.f.	0,77	0,01
0088	30.06.1n.f.	0:00	0,2	15	8,9	0,12	6,4	8,8	80	0,3	0,8	1,4	0,07
0089	14.06.1n.f.	0:00	0,3	19	8,1	0,3	7,3	8,8	80	1,3	3,8	4,9	0,02
0090	17.06.1n.f.	0:00	0,1	23	12,1	0,2	6,2	9,5	93	0,4	1,2	4,35	0,02
0091	15.06.1n.f.	0:00	0,1	17	9,2	1,1	5,8	1,5	13	25,6	62,2	29,2	0
0092	15.06.1n.f.	0:00	2	21	10	0,09	6,6	4,9	45	1,4	4	2,5	0,04
0093	15.06.1n.f.	0:00	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.
0094	15.06.1n.f.	0:00	0,1	25	12	1,7	5,5	1,5	21	39,7	108,7	55,6	0,01
0095	16.06.1n.f.	7:12	0	23	9	0,23	6,1	9	58	1	15,0	15,0	0
0096	16.06.1n.f.	0:00	0,3	24	9,6	1	5,8	0,4	4	29	62,9	27,3	0
0097	16.06.1n.f.	7:12	0,1	24	13,4	0,24	6,7	9	89	3,3	9,1	6,5	0,02
0098	17.06.1n.f.	0:00	0,4	23	10,9	0,46	7,5	6,6	61	9,1	25	13,6	0,01
0099	17.06.1n.f.	0:00	0	20	8,3	0,39	5,4	0,2	2	7,6	20,9	7,4	0,07
0100	16.06.1n.f.	7:12											

H 10 Anhang Datenbank Quellen, Teil Hydrochemie, Frühjahr

ID-Nr.	Datum	Uhrzeit	Fließstrecke	Lufttemperatur [°C]	Wassertemperatur [°C]	elektr. Leit. [mS/cm]	pH-Wert []	Sauerstoff [mg/l]	Sauerst.-Sättig. [%]	Säurebind.-vermögen [mmol/l]	Carbonathärte [°dH]	Summe Erdalkalien	Ammonium
0129	08.04.1n.f.	9:36	0,1	10	8,3	0,09	7,8	9,2	100	0,3	0,8	1,52	0
0130	08.04.1n.f.	6:00	1	10	6,9	0,57	7,3	4,6	50	5,9	16,4	16,1	0,01
0131	08.04.1n.f.	4:48	0,1	10	8,5	0,27	5,3	8,8	95	0,3	0,8	3,2	0,1
0132	09.04.1n.f.	3:07	0,1	14	9,8	0,9	7,1	6,7	73	4,9	13,6	24,7	0
0133	09.04.1n.f.	1:12	2	15	9,9	0,88	7,3	5,7	62	5,3	14,8	22,5	0
0134	12.04.1n.f.	7:12	0,2	9	8,8	0,1	6,2	8,7	93	2	0,7	1,4	0,05
0135	12.04.1n.f.	7:12	0,2	9	8,4	0,71	7,1	8,4	90	5,2	14,4	19,8	0,01
0136	12.04.1n.f.	3:36	0,1	9	10,7	0,71	7,1	3,1	34	5,7	16	19,5	0
0137	13.04.1n.f.	10:48	3	9	7,8	0,19	5,1	7,4	76	0,8	2	3,5	0,02
0138	13.04.1n.f.	7:12	0,5	9	9,1	0,34	6,8	5,8	62	2,1	6	7,8	0
0139	14.04.1n.f.	7:12	0,2	3	7,1	0,11	7	3,6	40	1,2	3,1	1,8	0,04
0140	14.04.1n.f.	7:12	0,5	4	7,5	0,6	7	2,3	25	1,5	15	16,1	0,01
0141	14.04.1n.f.	7:12	0,1	5	8,7	0,27	6,7	4,3	47	2,8	7,9	6,7	0,04
0142	14.04.1n.f.	0:00	0,5	2	7,5	0,11	5,5	6,9	75	0,8	7,1	1,8	0,01
0143	15.04.1n.f.	7:12	2	3	6,2	0,31	7,1	9,4	100	2,5	7	7,8	0,01
0144	15.04.1n.f.	0:00	1	3,5	7,3	0,16	5,5	6,4	70	0,7	2	2,7	0,01
0145	15.04.1n.f.	7:12	2	2,5	6,5	0,09	5,2	8,7	93	0,5	1,8	1,5	0,02
0146	15.04.1n.f.	10:48	0,1	5	8	0,46	7	1,4	15	5,2	14,8	11,6	0,18
0147	16.04.1n.f.	0:00	0,5	5	7,4	0,26	6,2	9,4	100	1,1	3,1	4,6	0,02
0148	16.04.1n.f.	7:12	2	7	8,2	0,23	5,6	8,7	94	0,6	1,7	3,8	0,02
0149	11.05.1n.f.	10:48	0,2	14	9	0,42	6,9	10	90	1,3	3,9	9,8	0,03
0150	11.05.1n.f.	10:48	1	12,5	8,7	0,54	7,2	10,7	94	3,8	10,8	14,8	0,23
0151	12.05.1n.f.	6:00	0,2	14	9,7	0,37	6,9	9,9	92	1,7	4,9	6,5	0,08
0152	12.05.1n.f.	8:24	0,5	16	8,8	0,36	6,9	10,5	94	1,6	4,2	8,6	0,07
0153	14.05.1n.f.	7:12	0,5	13	8,2	0,22	7,2	11	96	0,8	2,5	5,1	0,12
0154	14.05.1n.f.	12:00	2	15	9,4	0,29	7,8	11,4	105	1,1	2,5	4,1	0,05
0155	14.05.1n.f.	0:00	0,5	13	8,2	0,24	6,7	10,2	94	1,4	4,6	5,7	0,04
0156	14.05.1n.f.	0:00	n. f.	n. f.	n. f.	n. f.	n. f.	n. f.	n. f.	n. f.	n. f.	n. f.	n. f.
0157	23.04.1n.f.	0:00	0,2	16,5	9,9	0,25	7,5	9,8	89	1,7	4,8	5,9	0
0158	23.04.1n.f.	7:12	0,3	15	8,9	0,18	6,9	9,8	88	0,9	2,6	4,1	0
0159	26.04.1n.f.	0:00	0,2	10	7,5	0,13	4,5	10,7	92	0,3	0,8	1,7	0,01
0160	26.04.1n.f.	0:00	0,3	15	8,5	0,08	5,5	10,5	95	0,3	0,8	1,3	0
0161	26.04.1n.f.	0:00	0,4	25	9,2	0,11	5,7	9,3	81	0,3	0,8	1,6	0,01
0162	27.04.1n.f.	8:52	0,6	17	8,2	0,09	5	10,3	84	0,3	0,8	1,5	0
0163	27.04.1n.f.	7:12	0,3	15,5	8,9	0,06	5,7	10,8	95	0,3	0,8	1,1	0,01
0164	28.04.1n.f.	0:00	0,4	15	8,6	0,12	5,8	9,6	85	0,3	0,8	2,3	0
0165	29.04.1n.f.	0:00	0,3	17	8,8	0,11	4,2	8,3	75	n. f.	n. f.	0,79	0
0166	29.04.1n.f.	0:00	1	21	8,6	0,11	5,7	10	88	0,3	0,8	1,6	0,01
0167	30.04.1n.f.	3:36	0,3	20	9,7	0,09	5,2	9,6	87	0,3	0,8	1,4	0
0168	30.04.1n.f.	9:36	0,5	18	10,4	0,09	5,3	9,9	88	0,3	0,8	1,3	0,01
0169	30.04.1n.f.	0:00	0,5	22	9,1	0,07	5,8	9,8	87	0,3	0,8	0,94	0,05
0170	30.04.1n.f.	7:12	0,5	17	8,4	0,08	5,4	11	98	0,3	0,8	1,2	0,02
0171	03.05.1n.f.	10:48	0,3	17	8,9	0,06	5,8	7,3	79	0,3	0,8	1,1	0,04
0172	03.05.1n.f.	2:24	0,5	21	8,4	0,09	5,3	9,7	105	0,3	0,8	1,3	0,04
0173	03.05.1n.f.	4:48	0,3	19	8	0,14	5	9,9	105	0,3	0,8	1,5	0,08
0174	03.05.1n.f.	7:12	0,2	18	8,5	0,07	5,4	8,2	89	0,5	1,7	0,95	0,01
0175	04.05.1n.f.	7:12	1	15	7,9	0,09	5,4	9,7	104	0,3	0,8	1,2	0
0176	04.05.1n.f.	6:00	0,3	17	9,2	0,1	5,7	9,3	100	0,3	0,8	1,1	0,01
0177	04.05.1n.f.	9:36	1	14	8,9	0,07	4,8	8,7	95	0,3	0,8	0,86	0,07
0178	04.05.1n.f.	9:36	0,2	14	8,5	0,12	5,4	9,5	102	0,3	0,8	1,14	0
0179	06.05.1n.f.	0:00	0,1	14	7,6	0,08	4,9	12	104	0,3	0,8	1,4	0,05
0180	06.05.1n.f.	0:00	0,8	15	7,9	0,1	4,6	10,8	94	0	0	0,53	0
0181	26.10.1n.f.	0:00	n. f.	11	8,4	0,6	7,6	8,8	79	5,4	15	17,3	0,01
1001	26.03.2001	0:00	0,1	3	8,3	0,1	4,9	10	90	0,3	0,8	n. f.	n. f.
1002	26.03.2001	0:00	1	3	8	n. f.	7,3	9	78	0,9	2,6	n. f.	n. f.
1003	26.03.2001	0:00	2	4	8,4	n. f.	7,3	9,2	81	n. f.	n. f.	n. f.	n. f.
1004	26.03.2001	0:00	0,5	6	8,9	n. f.	7,3	9,6	86	1,3	3,8	n. f.	n. f.
1005	26.03.2001	12:00	0	8	8,9	0,11	6,8	9,7	87	0,3	0,8	n. f.	n. f.
1006	26.03.2001	7:12	1	6	8,2	0,08	5,8	9,6	86	0,2	0,6	n. f.	n. f.
1007	26.03.2001	7:12	3	4	8,5	0,3	7,4	10	89,5	0,3	0,8	n. f.	n. f.
1008	26.03.2001	2:24	0,5	5	8,8	0,13	6,7	9,3	84	0,5	1,8	n. f.	n. f.
1009	26.03.2001	7:12	1	5	8	0,1	9	9,2	84	1,1	2,6	n. f.	n. f.
1010	26.03.2001	0:00	0,5	5	8,2	0,25	7,1	9,7	96	1	2,4	n. f.	n. f.
1011	26.03.2001	0:00	1	5	8,8	0,25	7,1	9,4	84	1,4	4	n. f.	n. f.
1012	26.03.2001	4:48	0,1	5	9	0,12	6,9	9,5	86	0,3	0,8	n. f.	n. f.
1013	26.03.2001	9:36	0,2	4	8,7	0,13	7	9,9	88	0,4	0,8	n. f.	n. f.
1014	26.03.2001	0:00	0,1	4	8,2	0,16	6,7	9,5	83	0,7	2	n. f.	n. f.
1015	26.03.2001	7:12	1	4	9,5	n. f.	6	n. f.	n. f.	n. f.	n. f.	n. f.	n. f.
1016	30.03.2001	7:12	1	5	7,9	0,09	5,2	10,2	90	0,2	0,6	n. f.	n. f.
1017	27.03.2001	0:00	1	1	8,6	0,08	5,9	9,9	87	0,3	0,8	n. f.	n. f.
1018	27.03.2001	0:00	0,5	1	8,1	0,1	5,5	10,2	90	0,3	0,8	n. f.	n. f.
1019	27.03.2001	0:00	1	2	8,1	0,12	6,3	9,5	83,5	0,4	1,1	n. f.	n. f.
1020	27.03.2001	7:12	1	3	8,3	0,13	5,9	9,3	82	0,4	1,1	n. f.	n. f.
1021	27.03.2001	9:36	0,5	4	8,6	0,12	5,3	9,5	86	0,3	0,8	n. f.	n. f.
1022	27.03.2001	0:00	1	4	8,4	0,12	5,1	9,5	85	0,3	0,8	n. f.	n. f.
1023	27.03.2001	9:36	0	5	8,4	0,08	5,5	9,9	88	0,4	1,1	n. f.	n. f.
1024	27.03.2001	7:12	0	6	8,8	0,13	5,1	9,4	84,5	0,4	1,1	n. f.	n. f.
1025	27.03.2001	0:00	0	7	8,7	0,1	5,9	9,9	89,5	0,3	0,8	n. f.	n. f.
1026	27.03.2001	0:00	0	10	8,6	0,08	5,1	9,8	88	0,3	0,8	n. f.	n. f.
1027	27.03.2001	0:00	0	11	7,8	0,07	5,2	9,8	86,5	0,3	0,8	n. f.	n. f.
1028	27.03.2001	3:36	0	11	9,1	0,12	5,1	8,2	76	0,3	1	n. f.	n. f.
1029	27.03.2001	7:12	0	10	8,8	0,17	5,5	9,1	86	0,3	0,8	n. f.	n. f.
1030	27.03.2001	0:00	0	11	8,8	0,13	5,7	9,7	88	0,3	0,9	n. f.	n. f.
1031	27.03.2001	0:00	3	9	8	0,12	5,4	10	87	0,2	0,8	n. f.	n. f.
1032	27.03.2001	4:48	0	8	8,7	0,14	6,6	7,6	69	0,8	2,1	n. f.	n. f.
1033	27.03.2001	0:00	0	8	7,9	0,12	5,1	9,9	86	0,3	0,8	n. f.	n. f.
1034	27.03.2001	9:36	0	7	9	0,18	6,8	9,3	83	1,2	3,4	n. f.	n. f.
1036	27.03.2001	0:00	n. f.	n. f.	n. f.	n. f.	5,8	n. f.	n. f.	n. f.	n. f.	n. f.	n. f.
1037	09.05.2000	7:12	0,5	4	8,1	0,09	5	10	89	0,2	0,6	n. f.	n. f.
1038	30.05.2001	7:12	0	5	8,9	0,08	5,8	9,7	86	0,3	0,8	n. f.	n. f.
1039	30.05.2001	0:00	0	7	8,2	0,1	5,4	10,5	96	0,3	0,8	n. f.	n. f.
1040	30.03.2001	0:00	0	9	8,7	0,11	5,6	9,6	86	0,4	1	n. f.	n. f.
1041	30.03.2001	0:00	0	10	8,7	0,08	5,8	9,8	88	0,3	0,9	n. f.	n. f.
1042	30.03.2001	0:00	0,5	10	8,8	0,21	7	10,5	93	1,2	3,4	n. f.	n. f.
1043	30.03.2001	7:12	1	11	8,4	0,1	5,8	9,3	82	0,3	0,8	n. f.	n. f.
1044	30.03.2001	0:00	0	12	8,6	0,1	5,4	11	100	0,3	0,8	n. f.	n. f.
1045	30.03.2001	0:00	10	11	7,8	0,09	5,3	11,6	100	0,3	0,9	n. f.	n. f.
1046	30.03.2001	7:12	0	12	9,6	0,11	5,5	9,3	83	0,3	0,8	n. f.	n. f.
1047	30.03.2001	7:12	0	12	9,1	0,07	5,6	10	92	0,3	0,9	n. f.	n. f.
1048	30.03.2001	0:00	0,5	10	9,1	0,07							

H 10 Anhang Datenbank aller Quellen, Teil Hydrochemie, Frühjahr

ID-Nr.	Nitrit	Nitrat	Chlorid	Sulfat	Gesamtschwefel	Phosphor	Oxidierbares KMnO4	Bor	Natrium	Kalium	Calcium	Magnesium	Eisen	Mangan	Aluminium	Arsen	Blei	Cadmium	Chrom	Kupfer	Nickel	Zink	Summe Kationen	Summe Anionen
0001	0,06	93	78	62,3	0,02	0,92	0,05	16	15	20	122	0,02	0,05	0	0	3,5	0,45	0	5,2	0	30	8,81	8,61	
0002	0	28,6	17	29,5	0	1,3	0,03	1,6	7,1	5,9	27	0,02	0,04	0	0	0,23	0	0	0	0	20	2,19	2,3	
0003	0	32,9	29	20,7	0	0,99	0,03	2,3	12	6,6	38	0	0,09	0	0	0	0	0	0	0	20	3,03	3,08	
0004	0	60,9	39	74,6	0	0,96	0,03	3,4	9	19	105	0,01	0,05	0	0	5,4	0,45	0	0	0	25	7,3	7,04	
0005	0	6,2	30	39,2	0	4,1	0,02	4,6	13	6,9	14	0,03	0,05	0	0	0	0	0	0	0	44	1,96	1,99	
0006	0	57,9	58	33,2	0,02	1,1	0,03	4,3	18	11	36	0	0,05	0	0	0	0	0	0	0	16	50	3,6	3,9
0007	0,05	1,42	124	58,2	0,07	4,4	0,03	4	46	10	45	0,02	0,05	0	0	0	0	0	0	0	30	5,19	5,25	
0008	0,02	8,7	23	26	0	0,77	0,03	3	9,4	13	58	0,01	0,05	0	0	3,9	0,35	0	0	0	20	4,46	4,33	
0009	0,03	14,3	11	44,5	0,02	1,1	0,03	3,6	7,4	8,3	21	0	0,04	0	0	3,4	0,27	0	0	0	25	2,15	2,08	
0010	0	37,1	53,6	22,3	0	1,2	0,02	6,4	18	7,7	25	0,02	0,02	95	0	0	0	0	0	4,2	0	2,84	2,96	
0011	0	0,18	10	33,3	0	1,1	0	4,3	50	53	139	14	3,05	80	0	0	0	0	0	0	13,5	0	13,45	
0012	0	8,4	12	59	0	1,2	0	4,1	8	8	19	0,08	0,03	40	0	0	0	0	0	0	0	0	2,07	2,23
0013	0	86,9	59	43,3	0,02	1,1	0	2,4	11	18	83	0,04	0,02	80	0	0	0	0	0	0	0	0	6,18	5,97
0014	0	59,3	17	30,5	0,02	1,5	0	4	5	9,8	26	0,04	0	50	0	0	0	0	0	0	0	0	2,43	2,5
0015	0	40,3	14	30,9	0,02	1,7	0	3,9	5,8	8,9	21	0,05	0,02	30	0	0	0	0	0	0	0	0	2,14	2,21
0016	0	34,6	17	82,6	0,03	1,4	0	7,5	15	11	28	0,03	0	70	0	0	0	0	0	0	0	0	3,15	3,23
0017	0	9,4	19	56,1	0,08	0,94	0	12	20	21	50	0,04	0	50	0	0	0	0	0	0	0	0	5,41	5,26
0018	0	14,9	34	48,1	0	0,86	0	5,8	16	11	45	0	0	65	0	0	0	0	0	0	0	0	4	3,9
0019	0,02	54,7	15	39,1	0	1,3	0	4,4	10	19	70	0,02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5,62	5,32
0020	0	1,6	719	152,7	0,06	1,1	2,92	40	930	240	180	0,09	0,38	0	118	0	0	0	0	0	6,3	0	70,45	68,56
0021	0	26,2	30	48,7	0	0,69	0,02	5,7	14	22	104	0,02	0,02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7,77	7,78
0022	0	97,1	19	77	0,02	0,81	0	9,8	37	11	38	0	0	65	0	0	0	0	0	0	0	20	4,68	5,02
0023	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.
0024	0	13,2	13	54,3	0	0,66	0	2,3	9	13	80	0	0	45	0	0	0	0	0	0	0	20	5,53	5,81
0025	0	12,9	13	54,2	0	0,53	0	2,5	8,8	13	80	0	0	60	0	0	0	0	0	0	0	20	5,52	5,7
0026	0	21,1	20	55,4	0,02	0,95	0	4,3	9	9,2	46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	3,56	3,86
0027	0	12,6	18	50,3	0	1,2	0	2,8	7,7	18	95	0	0	55	0	0	0	0	0	0	0	20	6,65	6,86
0028	0	9,3	17	60,4	0	1,1	0	2,3	8,8	25	107	0	0	50	0	0	0	0	0	0	0	20	7,86	8,09
0029	0	4,1	20	66,1	0	0,78	0	14	52	52	83	0	2,88	60	0	0	0	0	0	9,6	53,9	130	11,17	11,41
0030	0	65,2	18	76,8	0,04	0,86	0	14	41	9,2	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40	4,71	4,96
0031	0	23,1	15	10,5	0	1,3	0	3,1	4,5	48,9	91	0,2	0,03	105	0	0	0	0	0	0	0	0	8,74	8,74
0032	0	17,2	29	8,9	0,05	2,6	0	2,3	9,8	44	85	0,03	0,02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8,36	8,48
0033	0,14	17,7	14	15	0,14	3,2	0	3	3,2	37	73	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6,91	7,19
0034	0,1	24,7	43	13,5	0,1	1,5	0	3,4	17	43	84	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8,58	8,79
0035	0	43,4	19	30,6	0,03	1,2	0	2,8	2,9	45	82	0,01	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	8,27
0036	0	1,8	6	21,3	0	1,5	0	1,1	3,1	30	53	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5,28	5,64
0037	0	4,6	272	15	0,03	4,3	0	10	62	40	100	0,03	0,01	0	0	0	0	0	5,4	0	14,5	0	11,26	12,05
0038	0	42,5	16	12,6	0,1	2,2	0	2,1	9,7	38	68	0,03	0,01	0	0	0	0	0	0	2,3	0	0	7,01	7,3
0039	0	53,7	22	33,7	0	0,76	0	2,1	3,7	46	81	0,02	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8,05	8,29
0040	0	43,6	24	28,4	0	1	0	2,7	6,1	42	79	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7,74	7,87
0041	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.
0042	0	82,9	23	85,2	0	1,8	0	2,6	5	35	98	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8,07	8,16
0043	0	13,1	8	25,5	0	1,5	0	2	6,5	32	58	0,02	0,02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5,87	5,87
0044	0	45,4	20	25,4	0,15	1,7	0	4,4	4,9	38	86	0,02	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7,76	7,92
0045	0	25,5	13	16,6	0	1,3	0	0,6	5,3	4,6	25	0,02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,88	2,12
0046	0	9,1	6	10,6	0,03	0,36	0	1,2	3,4	3,1	15	0,04	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,34	1,34
0047	0	7,9	22	23,2	0	0,95	0	0	11	4	8,7	0,01	0,05	70	0	0	0,25	0	8,9	25,4	15	1,26	1,33	
0048	0	9,9	6	19	0	0,65	0	0,5	3,6	3,8	14	0,01	0,07	0	0	0	0,56	2,2	0	20,2	60	1,19	1,3	
0049	0	6,3	5	19,7	0	1,3	0	1,3	3,1	3,8	7,3	0,05	0,01	50	0	0	0,41	0	0	21,8	35	0,86	0,96	
0050	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.
0051	0	1,8	5	22,8	0	2,6	0	1,1	3,5	3,8	7,5	0,05	0,13	30	0	0	0,21	0	0	13,4	20	0,88	0,9	
0052	0	20,8	15	13	0	0,38	0	2,5	6,5	4,4	12	0,01	0,03	40	0	0	0,18	0	0	24,5	0	1,32	1,55	
0053	0	10,6	21	13,7	0,02	0,57	0	1,5	6,6	5,7	24	0,03	0,01	0	0	0	0,14	0	0	0	55	2	2,05	
0054	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.
0055	0	20,6	48	19,8	0	0,76	0	2,4	22	14	52,7	0,1	0,22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,82	5
0056	0	1,9	6	29,9	0	3,5	0	1,5	3,5	3,1	7,5	0,14	0,34	130	0	0	0,35	0	0	7,1	35	0,86	1,03	
0057	0	1,2	14	4,8	0,02	3,4	0	2	3,7	2,4	8,2	0,1	0,23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,84	0,89
0058	0	3,2	6	9,3	0	0,7	0	1,3	2,9	2,1	9	0,05	0,24	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0	0,8	0,84
0059	0	74,8	56	24,4	0	1,6	0	2,9	17	10	34,3	0,01	0,02	0	0	0	0,1	2,1	0	20,2	0	3,36	3,59	
0060	0	1,1	10	16,6	0	4,8	0	6,4	2,9	7,4	0,17	0,09	120	0	0	0,11	0	2,6	19,5	0	0,91	0,97		
0061	0	15	38	11,4	0,02	1,3	0	1,6	17	3,7	14	0	0,02	35	0	0	0,11	0	0	9,5	0	1,79	1,86	
0062	0	34,5	52	46,3	0,03	2,1	0,02	10	17	26	107	0,03	0,03	45	0	0	0	0	0	0	0	0	8,79	8,79
0063	0	63	32	30,7	0	0,94	0	3,2	7,4	10	35	0,02	0,03	80	0	0	0	0	0	0	0	0	2,89	3,12
0064	0	6	0	0	0	0,53	0	4	5,5	6,4	95	0,1	0,92	25	0	0	0,11	0	0	0	150	12,56	12,47	
0065	0	11,1	7	0	0	1,1	0	2	5,5	1,8	4,6	0,02	0,02	0	0	3,3	0	0	0	0	0	0	0,67	0,79
0066	0	36,5	34	6,2	0	0,6	0	2,4	14	5	15	0,04	0,02	0	0	0	0,14	0	0	10,3	50</			

H 13 Faunaliste der zusätzlichen 48 Taxa mit Erstbeschreiber

Nachgewiesene Taxa, die nicht in Schmedtje (1996) enthalten sind:

Taxon	Erstbeschreiber, Jahr
Bazarella subneclecta	Tonnoir, 1922
Berdeniella	Vaillant, 1976
Berdeniella unispinosa (Chaetopteryx) (Clinoceriinae)	(Tonnoir, 1919)
Clytocerus	Eaton, 1904
Clytocerus ocellaris	(Meigen, 1804)
Diplectrona felix (Diptera)	McLachlan, 1878
Dolichocheza albipes	(Ström, 1768)
Electrogena affinis	(Eaton, 1983)
Ellipteroides	Becker, 1907
Erpobdella	De Blainville, 1818
Eutonia	Van der Wulp, 1874
Feuerborniella obscura (Gastropoda)	(Tonnoir, 1940)
Haliphus heydeni (Hirudinea)	Wehncke, 1875
Hydrobates fluviatilis	Ström, 1768
Jungiella (Leptophlebiidae) (Limoniini)	Vaillant, 1972
Ulomyia	Walker, 1856
Ulomyia fuliginosa	(Meigen, 1804)
Ulomyia undulata	Tonnoir, 1919
Lymnaea stagnalis	(Linnaeus, 1758)
Neolimnomyia (s. str.)	
Peripsychoda (Phylidorea-Grp.)	Enderlein, 1935
Prionocera (Psychoda / Tinearia) (Rana)	Loew, 1844
Riolus	Mulsant & Rey, 1872
Satchelliella	Vaillant, 1979
Satchelliella canescens	(Meigen, 1804)
Satchelliella mutua	(Eaton, 1893)
Satchelliella stammeri	(Jung, 1956)
Satchelliella trivialis	(Eaton, 1893)
Scleroprocta	Edwards, 1938
Szaboiella hibernica (Tanytarsini)	(Tonnoir, 1940)
Telmatoscopus pseudolongicornis	(Wagner, 1975)
Tinodes assimilis	McLachlan, 1865
Tonnoiriella	Vaillant, 1972
Tonnoiriella pulchra (Trichoptera) (Simulium venum / naturale) (Simulium venum-Grp.)	(Eaton, 1893)

H 14 Übersicht über die Ergebnisse der faunistischen Verfahren

ID-Nr.	Taxazahl	Quelltaxazahl	ökolog. Wertsumme	ökolog. Wertklasse	Benthos-Index	Benthos-Klasse	KTI	KTI-Klasse
0001	19	9	15,4	bedingt quelltypisch	3,42	gut	15,27	unbefriedigend
0002	19	6	15,8	bedingt quelltypisch	3,42	gut	12,5	unbefriedigend
0003	10	4	14,4	quellverträglich	3,27	gut	13,56	unbefriedigend
0004	15	7	14,3	quellverträglich	3,54	gut	15,33	unbefriedigend
0005	9	2	10,8	quellverträglich	3,13	gut	9,88	unbefriedigend
0006	4	1	zu wenig Taxa	.	5	sehr gut	25	mäßig
0007	4	1	zu wenig Taxa	.	4	gut	16	unbefriedigend
0008	5	3	zu wenig Taxa	.	4,5	sehr gut	18,75	mäßig
0009	7	2	zu wenig Taxa	.	3,43	gut	15,75	unbefriedigend
0010	22	6	13,2	quellverträglich	2,93	mäßig	9,89	unbefriedigend
0011	5	0	zu wenig Taxa	.	3	mäßig	9	unbefriedigend
0012	10	6	27,1	quelltypisch	4	gut	16,67	unbefriedigend
0013	15	7	14,7	quellverträglich	3,7	gut	14,17	unbefriedigend
0014	1	1	zu wenig Taxa	.	4	gut	16	unbefriedigend
0015	15	5	10,6	quellverträglich	3,26	gut	12,46	unbefriedigend
0016	8	4	18,7	bedingt quelltypisch	3,79	gut	16,67	unbefriedigend
0017	14	5	12,6	quellverträglich	3,36	gut	12	unbefriedigend
0018	14	5	15	bedingt quelltypisch	3,54	gut	12,08	unbefriedigend
0019	16	4	11,3	quellverträglich	3,3	gut	10,77	unbefriedigend
0020	1	0	zu wenig Taxa	.	3	mäßig	9	unbefriedigend
0021	18	9	13,6	quellverträglich	3,7	gut	14,18	unbefriedigend
0022	7	0	zu wenig Taxa	.	2,33	mäßig	6,5	schlecht
0023	0	0	0	sehr quellfremd	0	schlecht	0	schlecht
0024	3	2	zu wenig Taxa	.	4	gut	16,67	unbefriedigend
0025	12	3	13,7	quellverträglich	3,47	gut	13,29	unbefriedigend
0026	15	6	19,1	bedingt quelltypisch	3,66	gut	13,92	unbefriedigend
0027	20	9	15,3	bedingt quelltypisch	3,67	gut	13,81	unbefriedigend
0028	14	3	11	quellverträglich	3,33	gut	13,88	unbefriedigend
0029	0	0	0	sehr quellfremd	0	schlecht	0	schlecht
0030	9	3	10,5	quellverträglich	3,24	gut	11,63	unbefriedigend
0031	15	4	12,8	quellverträglich	3,1	gut	10,08	unbefriedigend
0032	15	7	12,5	quellverträglich	3,82	gut	14,64	unbefriedigend
0033	12	2	18,3	bedingt quelltypisch	3,54	gut	11,5	unbefriedigend
0034	7	2	zu wenig Taxa	.	2,6	mäßig	12,5	unbefriedigend
0035	16	5	8,2	quellfremd	2,81	mäßig	9,8	unbefriedigend
0036	20	9	11,8	quellverträglich	3,33	gut	13,24	unbefriedigend
0037	0	0	0	sehr quellfremd	0	schlecht	0	schlecht
0038	8	2	12,8	quellverträglich	3,44	gut	12,6	unbefriedigend
0039	29	7	11,4	quellverträglich	3,33	gut	11,04	unbefriedigend
0040	17	8	13	quellverträglich	3,47	gut	12,82	unbefriedigend
0041	0	0	0	sehr quellfremd	0	schlecht	0	schlecht
0042	28	10	9,8	quellfremd	3,32	gut	12,46	unbefriedigend
0043	7	2	zu wenig Taxa	.	3,5	gut	14	unbefriedigend
0044	3	0	zu wenig Taxa	.	3	mäßig	9	unbefriedigend
0045	16	6	24,6	quelltypisch	3,81	gut	12,33	unbefriedigend
0046	26	7	12,9	quellverträglich	3,38	gut	10,77	unbefriedigend
0047	19	4	8,9	quellfremd	3	mäßig	10,64	unbefriedigend
0048	15	8	19,5	bedingt quelltypisch	3,96	gut	16,25	unbefriedigend
0049	27	11	21,9	quelltypisch	3,77	gut	13,86	unbefriedigend
0050	0	0	0	sehr quellfremd	0	schlecht	0	schlecht
0051	22	5	8,9	quellfremd	2,75	mäßig	9,31	unbefriedigend
0052	22	9	20,3	quelltypisch	3,68	gut	13,5	unbefriedigend
0053	22	8	16,1	bedingt quelltypisch	3,74	gut	12,78	unbefriedigend
0054	0	0	0	sehr quellfremd	0	schlecht	0	schlecht
0055	16	8	20,8	quelltypisch	3,9	gut	15,69	unbefriedigend
0056	10	3	10,7	quellverträglich	2,93	mäßig	11,43	unbefriedigend
0057	17	2	7,9	quellfremd	3,14	gut	9,11	unbefriedigend
0058	5	0	zu wenig Taxa	.	0,5	schlecht	4,5	schlecht
0059	9	3	7,8	quellfremd	3,08	.	10,63	unbefriedigend
0060	16	6	12,7	quellverträglich	3,37	gut	10,79	unbefriedigend
0061	9	2	15	bedingt quelltypisch	2,05	.	9,71	unbefriedigend
0062	6	1	zu wenig Taxa	.	3,2	gut	10,75	unbefriedigend
0063	12	7	17,3	bedingt quelltypisch	3,83	gut	14,64	unbefriedigend
0064	0	0	0	sehr quellfremd	0	schlecht	0	schlecht
0065	13	3	13,1	quellverträglich	3,15	gut	9,86	unbefriedigend
0066	16	7	15,9	bedingt quelltypisch	3,85	gut	13,43	unbefriedigend
0067	11	3	15,4	bedingt quelltypisch	3,42	gut	12	unbefriedigend
0068	20	8	16	bedingt quelltypisch	3,65	gut	12,35	unbefriedigend
0069	8	4	14,3	quellverträglich	3,67	gut	13	unbefriedigend
0070	14	6	14,8	quellverträglich	3,6	gut	12,58	unbefriedigend
0071	16	6	14,2	quellverträglich	3,54	gut	13,69	unbefriedigend
0072	6	3	17,6	bedingt quelltypisch	3,82	gut	15	unbefriedigend
0073	13	4	12,5	quellverträglich	3,4	gut	14,13	unbefriedigend
0074	8	2	zu wenig Taxa	.	4	gut	14,75	unbefriedigend
0075	13	4	14,5	quellverträglich	3,53	gut	12,5	unbefriedigend
0076	18	5	13,4	quellverträglich	3,13	gut	10,57	unbefriedigend
0077	0	0	0	sehr quellfremd	0	schlecht	0	schlecht
0078	0	0	0	sehr quellfremd	0	schlecht	0	schlecht
0079	11	3	12,4	quellverträglich	3,13	gut	10	unbefriedigend
0080	2	0	0	sehr quellfremd	0	schlecht	0	schlecht
0081	0	0	0	sehr quellfremd	0	schlecht	0	schlecht
0082	0	0	0	sehr quellfremd	0	schlecht	0	schlecht
0083	8	2	12,8	quellverträglich	3,45	gut	11,8	unbefriedigend
0084	4	0	zu wenig Taxa	.	3	mäßig	9	unbefriedigend
0085	10	5	18,6	bedingt quelltypisch	3,65	gut	14,57	unbefriedigend
0086	8	4	18	bedingt quelltypisch	3,5	gut	12	unbefriedigend
0087	8	3	18,9	bedingt quelltypisch	3,5	gut	12,57	unbefriedigend
0088	9	4	29,3	quelltypisch	4,06	.	16,67	unbefriedigend
0089	7	3	12,7	quellverträglich	3,78	gut	15,5	unbefriedigend
0090	14	6	10	quellverträglich	3,44	gut	13,58	unbefriedigend
0091	0	0	0	sehr quellfremd	0	schlecht	0	schlecht
0092	15	7	19,5	bedingt quelltypisch	3,92	gut	15,67	unbefriedigend
0093	0	0	0	sehr quellfremd	0	schlecht	0	schlecht
0094	1	0	zu wenig Taxa	.	3	mäßig	9	unbefriedigend
0095	0	0	0	sehr quellfremd	0	schlecht	0	schlecht
0096	2	0	zu wenig Taxa	.	2	unbefriedigend	4	schlecht
0097	11	1	9	quellfremd	2,93	mäßig	8,14	schlecht
0098	10	2	13,4	quellverträglich	3	mäßig	9,63	unbefriedigend
0099	2	0	zu wenig Taxa	.	3	mäßig	9	unbefriedigend
0100	18	8	17,3	bedingt quelltypisch	3,67	gut	14,13	unbefriedigend
0101	5	2	zu wenig Taxa	.	3,57	gut	12,5	unbefriedigend
0102	9	5	16,9	bedingt quelltypisch	3,88	gut	15,89	unbefriedigend
0103	14	6	14,9	quellverträglich	3,37	gut	12,62	unbefriedigend
0104	9	0	5,1	quellfremd	2	unbefriedigend	3,17	schlecht
0105	7	3	16	bedingt quelltypisch	3,64	gut	15	unbefriedigend

H 14 Übersicht über die Ergebnisse der faunistischen Verfahren

ID-Nr.	Taxazahl	Quelltaxazahl	ökolog. Wertsumme	ökolog. Wertklasse	Benthos-Index	Benthos-Klasse	KTI	KTI-Klasse
0106	16	7	13,2	quellverträglich	3,54	gut	14,08	unbefriedigend
0107	12	2	9,9	quellfremd	3,05	.	8,6	schlecht
0108	22	6	11	quellverträglich	3,19	gut	11,16	unbefriedigend
0109	17	2	8,8	quellfremd	3	mäßig	9,69	unbefriedigend
0110	16	4	9,6	quellfremd	2,92	mäßig	9,58	unbefriedigend
0111	10	4	12,5	quellverträglich	3,47	gut	12,5	unbefriedigend
0112	12	4	10	quellverträglich	3,1	gut	10,36	unbefriedigend
0113	0	0	0	sehr quellfremd	0	schlecht	0	schlecht
0114	1	0	zu wenig Taxa	.	2	unbefriedigend	4	schlecht
0115	5	2	zu wenig Taxa	.	3,83	gut	14	unbefriedigend
0116	1	0	zu wenig Taxa	.	1	schlecht	1	schlecht
0117	16	1	4,6	sehr quellfremd	1,81	unbefriedigend	5,64	schlecht
0118	7	3	zu wenig Taxa	.	4,6	sehr gut	22	mäßig
0119	5	1	zu wenig Taxa	.	2,86	mäßig	8,5	schlecht
0120	3	0	zu wenig Taxa	.	1,67	unbefriedigend	2,5	schlecht
0121	15	6	19	bedingt quelltypisch	3,4	gut	12,82	unbefriedigend
0122	9	1	7	quellfremd	2,36	mäßig	9,5	unbefriedigend
0123	12	1	4,8	sehr quellfremd	1,4	unbefriedigend	5,33	schlecht
0124	21	9	18,9	bedingt quelltypisch	3,84	gut	14,13	unbefriedigend
0125	17	2	12,4	quellverträglich	2,96	mäßig	9,18	unbefriedigend
0126	17	4	7,5	quellfremd	3,11	gut	10,69	unbefriedigend
0127	17	6	17,2	bedingt quelltypisch	3,66	gut	13,92	unbefriedigend
0128	8	4	10,3	quellverträglich	3,67	gut	12,83	unbefriedigend
0129	12	6	16,9	bedingt quelltypisch	3,57	gut	14,55	unbefriedigend
0130	13	5	11,5	quellverträglich	3,17	gut	11,55	unbefriedigend
0131	0	0	0	sehr quellfremd	0	schlecht	0	schlecht
0132	12	2	7,7	quellfremd	2,9	mäßig	10	unbefriedigend
0133	11	3	8,4	quellfremd	3,11	gut	10,1	unbefriedigend
0134	7	1	zu wenig Taxa	.	2,38	mäßig	7,5	schlecht
0135	7	2	9,6	quellfremd	3,2	gut	11,8	unbefriedigend
0136	0	0	0	sehr quellfremd	0	schlecht	0	schlecht
0137	13	6	17,1	bedingt quelltypisch	4,05	.	16,09	unbefriedigend
0138	6	2	zu wenig Taxa	.	1,57	unbefriedigend	11,25	unbefriedigend
0139	3	0	zu wenig Taxa	.	3	mäßig	9	unbefriedigend
0140	11	5	16,7	bedingt quelltypisch	3,67	gut	13	unbefriedigend
0141	10	3	zu wenig Taxa	.	4,33	sehr gut	21	mäßig
0142	49	18	16,4	bedingt quelltypisch	3,51	gut	12,85	unbefriedigend
0143	14	4	13,5	quellverträglich	3,5	gut	13,5	unbefriedigend
0144	15	6	19	bedingt quelltypisch	3,88	gut	14	unbefriedigend
0145	11	4	15,8	bedingt quelltypisch	3,56	gut	15,25	unbefriedigend
0146	28	12	12,2	quellverträglich	3,7	gut	13,58	unbefriedigend
0147	46	19	15,5	bedingt quelltypisch	3,61	gut	13,78	unbefriedigend
0148	14	7	14,3	quellverträglich	3,59	gut	14,43	unbefriedigend
0149	13	5	16,3	bedingt quelltypisch	3,6	gut	16,88	unbefriedigend
0150	15	5	8,5	quellfremd	3,05	.	11	unbefriedigend
0151	34	9	11,2	quellverträglich	3,13	gut	21,11	mäßig
0152	62	21	12,2	quellverträglich	3,25	gut	23,87	mäßig
0153	14	4	13,6	quellverträglich	3,6	gut	26,8	mäßig
0154	16	4	13,5	quellverträglich	3,32	gut	25,42	mäßig
0155	10	5	10,4	quellverträglich	3,5	gut	20,4	mäßig
0156	0	0	0	sehr quellfremd	0	schlecht	0	schlecht
0157	19	6	10,1	quellverträglich	3,23	gut	21,13	mäßig
0158	19	8	11,2	quellverträglich	3,48	gut	23,06	mäßig
0159	4	1	zu wenig Taxa	.	3	mäßig	9,67	unbefriedigend
0160	38	15	15,9	bedingt quelltypisch	3,46	gut	29,32	gut
0161	18	10	13,6	quellverträglich	3,65	gut	25,71	mäßig
0162	17	6	17,2	bedingt quelltypisch	3,73	gut	32	gut
0163	7	5	18,7	bedingt quelltypisch	4,18	sehr gut	33	gut
0164	12	6	13,2	quellverträglich	3,88	gut	24,8	mäßig
0165	4	0	zu wenig Taxa	.	2,57	mäßig	16	unbefriedigend
0166	14	3	17	bedingt quelltypisch	3,58	gut	32,4	gut
0167	21	5	10,5	quellverträglich	3,1	gut	20,5	mäßig
0168	7	4	24,7	quelltypisch	4,07	.	43,17	sehr gut
0169	14	6	18,1	bedingt quelltypisch	3,7	gut	33	gut
0170	10	6	15,4	bedingt quelltypisch	3,79	gut	28,6	gut
0171	21	7	10,7	quellverträglich	3,42	gut	21,4	mäßig
0172	10	5	18,4	bedingt quelltypisch	3,94	gut	32,78	gut
0173	14	7	14,2	quellverträglich	3,84	gut	26,45	mäßig
0174	13	3	9,8	quellfremd	3,47	gut	20,44	mäßig
0175	18	8	10,7	quellverträglich	3,52	gut	21,33	mäßig
0176	7	3	22,4	quelltypisch	4	gut	40	sehr gut
0177	3	1	zu wenig Taxa	.	3,75	gut	28,5	gut
0178	40	16	14,6	quellverträglich	3,51	gut	28,09	gut
0179	8	4	13,3	quellverträglich	3,46	gut	27,17	gut
0180	0	0	0	sehr quellfremd	0	schlecht	0	schlecht
0181	29	10	14,5	quellverträglich	3,45	gut	26,04	mäßig
1001	3	2	zu wenig Taxa	.	3,8	gut	24,33	mäßig
1002	10	5	17,1	bedingt quelltypisch	3,4	gut	32,1	gut
1003	1	1	zu wenig Taxa	.	5	sehr gut	25	mäßig
1004	8	3	12,1	quellverträglich	3,05	.	25,13	mäßig
1005	14	7	13,8	quellverträglich	3,54	gut	27,77	gut
1006	6	2	zu wenig Taxa	.	3,83	gut	22,75	mäßig
1007	13	3	9,8	quellfremd	3,33	gut	18,2	mäßig
1008	4	1	zu wenig Taxa	.	3,33	gut	17	unbefriedigend
1009	7	2	6,2	quellfremd	2,56	mäßig	12,17	unbefriedigend
1010	13	4	13,3	quellverträglich	3,37	gut	26,75	mäßig
1011	10	3	11,9	quellverträglich	3,17	gut	22,78	mäßig
1012	6	1	15,2	bedingt quelltypisch	3,19	gut	33	gut
1013	3	1	zu wenig Taxa	.	3,5	gut	25	mäßig
1014	4	2	zu wenig Taxa	.	3,38	gut	24,75	mäßig
1015	7	1	11,7	quellverträglich	3	mäßig	24,86	mäßig
1016	13	3	12,3	quellverträglich	3,27	gut	23,45	mäßig
1017	14	4	12,7	quellverträglich	3,09	.	23,36	mäßig
1018	7	3	zu wenig Taxa	.	4,2	sehr gut	22,75	mäßig
1019	13	8	24	quelltypisch	3,91	gut	43,75	sehr gut
1020	9	6	23,1	quelltypisch	4	gut	40,89	sehr gut
1021	8	3	11,1	quellverträglich	3,14	gut	22,29	mäßig
1022	5	4	23,2	quelltypisch	4,08	.	41,4	sehr gut
1023	5	4	17,6	bedingt quelltypisch	3,83	gut	35,6	gut
1024	8	4	16,3	bedingt quelltypisch	3,69	gut	31	gut
1025	7	3	15,3	bedingt quelltypisch	3,62	gut	29,5	gut
1026	5	3	8,8	quellfremd	3,57	gut	18,2	mäßig
1027	5	3	15,2	bedingt quelltypisch	3,73	gut	31	gut
1028	8	5	21,1	quelltypisch	4,06	.	38,71	sehr gut
1029	6	3	14	quellverträglich	4,13	sehr gut	23,83	mäßig

H 14 Übersicht über die Ergebnisse der faunistischen Verfahren

ID-Nr.	Taxazahl	Quelltaxazahl	ökolog. Wertsumme	ökolog. Wertklasse	Benthos-Index	Benthos-Klasse	KTI	KTI-Klasse
1030	8	4	16	bedingt quelltypisch	3,73	gut	30,86	gut
1031	6	3	20,7	quelltypisch	3,87	gut	38,67	sehr gut
1032	11	4	20,9	quelltypisch	3,68	gut	39,33	sehr gut
1033	6	4	18,7	bedingt quelltypisch	3,79	gut	34,83	gut
1034	7	4	32,6	quelltypisch	3,73	gut	62	sehr gut
1036	7	4	21,3	quelltypisch	4,08	.	37,5	sehr gut
1037	6	2	16	bedingt quelltypisch	3,31	gut	30,6	gut
1038	7	1	13,8	quellverträglich	2,94	mäßig	28,83	gut
1039	6	2	16,7	bedingt quelltypisch	3,53	gut	32,5	gut
1040	11	1	5	quellfremd	1,55	unbefriedigend	8,44	schlecht
1041	14	5	13,5	quellverträglich	3,44	gut	25,23	mäßig
1042	9	2	14,4	quellverträglich	3,25	gut	28,38	gut
1043	5	1	zu wenig Taxa	.	3,42	gut	47,67	sehr gut
1044	5	1	14,4	quellverträglich	3,67	gut	25,8	mäßig
1045	7	2	16,8	bedingt quelltypisch	3,73	gut	31,8	gut
1046	12	4	29,5	quelltypisch	3,76	gut	53,88	sehr gut
1047	9	5	18	bedingt quelltypisch	3,58	gut	35,56	gut
1048	7	3	24,7	quelltypisch	3,72	gut	44,17	sehr gut
1049	5	3	24	quelltypisch	3,93	gut	44,6	sehr gut
1050	1	1	zu wenig Taxa	.	4	gut	48	sehr gut
1051	1	0	zu wenig Taxa	.	3	mäßig	27	gut
1052	9	2	9,4	quellfremd	3,08	.	18,86	mäßig
1053	4	1	zu wenig Taxa	.	3	mäßig	11,75	unbefriedigend
1054	4	0	zu wenig Taxa	.	3	mäßig	18	mäßig
1055	3	1	zu wenig Taxa	.	2,67	mäßig	8,67	schlecht
1056	8	2	16	bedingt quelltypisch	3,53	gut	31,43	gut
1057	8	4	12,6	quellverträglich	3,82	gut	23,71	mäßig
1058	3	1	zu wenig Taxa	.	3,18	gut	37,67	sehr gut
1059	1	0	0	sehr quellfremd	0	schlecht	0	schlecht
1060	10	3	13,8	quellverträglich	3,35	gut	26,38	mäßig
1061	10	5	16,8	bedingt quelltypisch	3,39	gut	32,44	gut
1062	10	5	13,8	quellverträglich	3,59	gut	25,67	mäßig
1063	7	2	12,3	quellverträglich	3,33	gut	24,86	mäßig
1064	6	2	14,7	quellverträglich	3,54	gut	28,33	gut
1065	8	4	16	bedingt quelltypisch	3,67	gut	30,14	gut
1066	5	2	zu wenig Taxa	.	3,25	gut	16,33	unbefriedigend
1067	5	1	zu wenig Taxa	.	3,2	gut	27,5	gut
1068	1	0	0	sehr quellfremd	0	schlecht	0	schlecht
1069	17	7	16,1	bedingt quelltypisch	3,43	gut	28,88	gut
1070	8	4	23,5	quelltypisch	3,56	gut	45	sehr gut
1071	9	4	17	bedingt quelltypisch	3,41	gut	33,63	gut
1072	10	3	22,3	quelltypisch	3,65	gut	40,71	sehr gut
1073	15	5	13,1	quellverträglich	3,31	gut	25,85	mäßig
1074	9	6	27,1	quelltypisch	3,83	gut	49,44	sehr gut
1075	13	6	20	quelltypisch	3,81	gut	37,18	sehr gut
1076	11	5	18,2	bedingt quelltypisch	3,76	gut	34,33	gut
1077	6	2	14,4	quellverträglich	3,5	gut	30	gut
1078	3	1	zu wenig Taxa	.	3,38	gut	31	gut
1079	8	1	23,2	quelltypisch	3,71	gut	41,2	sehr gut
1080	8	1	11,8	quellverträglich	3,1	gut	25	mäßig
1081	9	2	12,1	quellverträglich	3,18	gut	25,71	mäßig
1082	6	1	17,6	bedingt quelltypisch	3,16	gut	38,4	sehr gut
1083	10	3	24,8	quelltypisch	3,64	gut	46	sehr gut
1084	10	6	26,2	quelltypisch	3,86	gut	48,22	sehr gut
1085	5	3	30,4	quelltypisch	3,83	gut	55,4	sehr gut
1086	7	5	28	quelltypisch	4	gut	52	sehr gut
1087	6	3	32,8	quelltypisch	3,89	gut	60	sehr gut
1088	10	6	23,6	quelltypisch	4	gut	42,44	sehr gut
1089	5	2	13,6	quellverträglich	3,5	gut	25,8	mäßig
1090	7	3	20,7	quelltypisch	3,61	gut	40,5	sehr gut
1091	9	4	15,4	bedingt quelltypisch	3,6	gut	29,43	gut
1092	12	8	14,6	quellverträglich	3,8	gut	27,64	gut
1093	8	4	11,4	quellverträglich	3,58	gut	22,71	mäßig
1094	7	4	18	bedingt quelltypisch	3,79	gut	34,5	gut
1095	8	3	14	quellverträglich	3,5	gut	29,17	gut
1096	6	4	22,8	quelltypisch	4,3	sehr gut	38,6	sehr gut
1097	6	0	6	quellfremd	2,8	mäßig	13,33	unbefriedigend
1098	6	5	25,6	quelltypisch	4,23	sehr gut	47	sehr gut
1099	14	3	11,6	quellverträglich	2,85	mäßig	21,58	mäßig
1100	3	1	zu wenig Taxa	.	3,67	gut	21,5	mäßig
2101	16	4	9,9	quellfremd	3,08	.	18,71	mäßig
2102	17	6	12,5	quellverträglich	3,53	gut	22,18	mäßig
2103	19	5	9,5	quellfremd	2,96	mäßig	18,21	mäßig
2104	1	1	zu wenig Taxa	.	4	gut	16	unbefriedigend
2201	7	2	7,4	quellfremd	3	mäßig	13,2	unbefriedigend
2202	13	2	11,3	quellverträglich	2,89	mäßig	20	mäßig
2203	21	10	15,4	bedingt quelltypisch	3,35	gut	27,67	gut
2204	19	8	16,6	bedingt quelltypisch	3,58	gut	32,08	gut
2205	18	9	13,5	quellverträglich	3,46	gut	25,13	mäßig
2301	12	5	19,7	bedingt quelltypisch	3,95	gut	33,9	gut
2302	15	4	9,7	quellfremd	3,4	gut	19,83	mäßig
2303	13	5	8,9	quellfremd	3,32	gut	19	mäßig
2304	59	21	14,7	quellverträglich	3,47	gut	27,85	gut
2305	4	1	zu wenig Taxa	.	3,22	gut	24,25	mäßig
2306	11	5	12,4	quellverträglich	3,56	gut	25,78	mäßig
2307	12	5	12,4	quellverträglich	3,45	gut	24,73	mäßig
2308	12	5	16,4	bedingt quelltypisch	3,84	gut	29,5	gut
2309	5	1	zu wenig Taxa	.	3,67	gut	14,33	unbefriedigend
2401	5	3	zu wenig Taxa	.	4,14	sehr gut	31,25	gut
2402	12	5	15,2	bedingt quelltypisch	3,78	gut	27,2	gut
2403	18	9	21,8	quelltypisch	4,38	sehr gut	37,45	sehr gut
2501	49	20	14,6	quellverträglich	3,63	gut	27,03	gut
2503	28	13	18,4	bedingt quelltypisch	3,8	gut	33,76	gut
2504	19	6	10,2	quellverträglich	3,33	gut	19,41	mäßig
3001	19	9	19,3	bedingt quelltypisch	3,97	gut	33,53	gut
3002	11	3	9,1	quellfremd	3,5	gut	18,14	mäßig
3003	20	9	17,2	bedingt quelltypisch	3,67	gut	30,71	gut
3004	16	4	15,1	bedingt quelltypisch	3,71	gut	27,82	gut
4006	10	4	17	bedingt quelltypisch	3,8	gut	30,6	gut
4016	17	6	16,9	bedingt quelltypisch	3,37	gut	34,07	gut

H 14 Überblick über die Ergebnisse der faunistischen Verfahren und Zusatzabbildungen

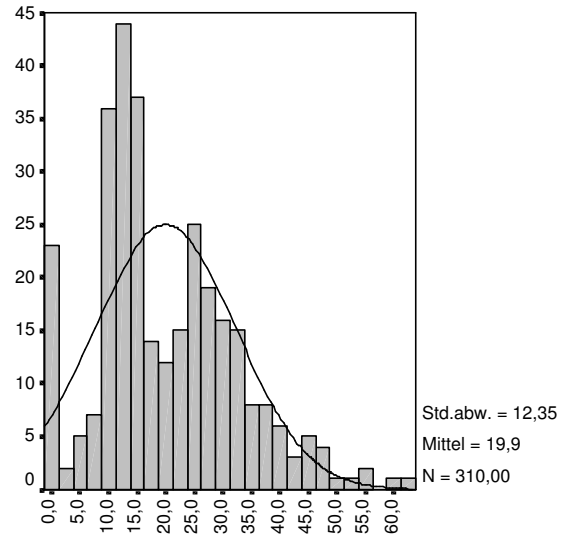
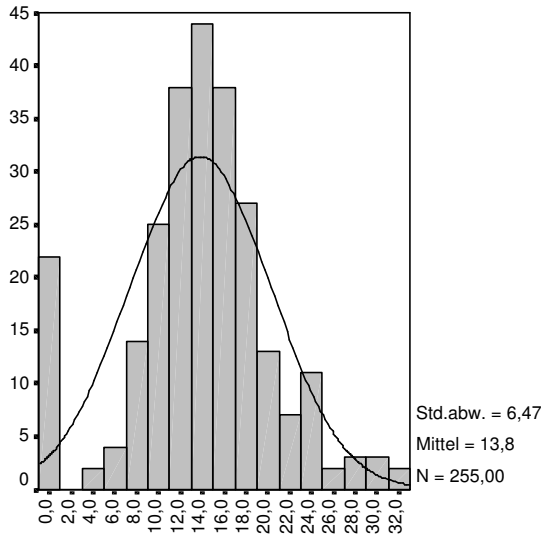


Abb. H14/1: Histogramm des Fischer-Verfahrens (li.) u. des Krenon-Type-Index (re.) mit Normalverteilung

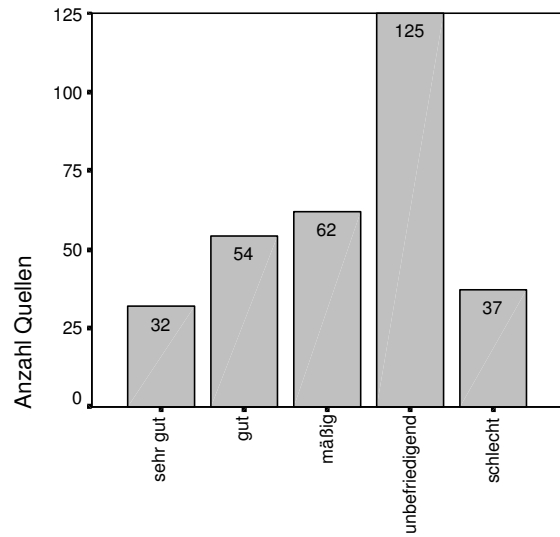
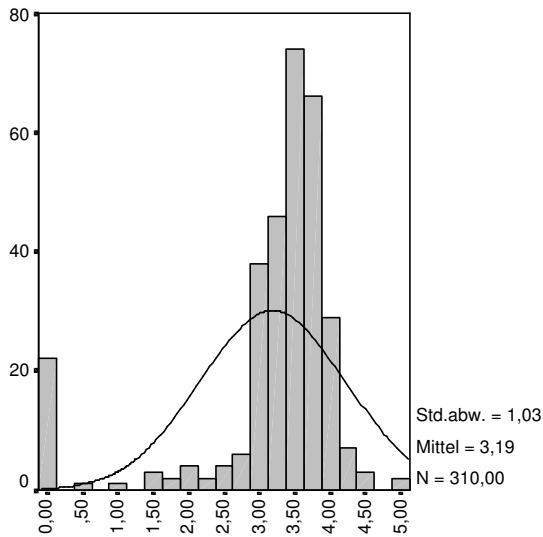


Abb. H14/2: Histogramm des Benthos-Index (links) und Klassenverteilung des Krenon-Type-Index (rechts)

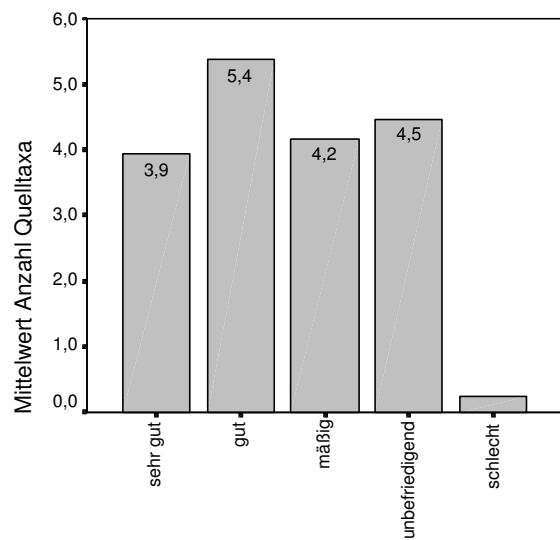
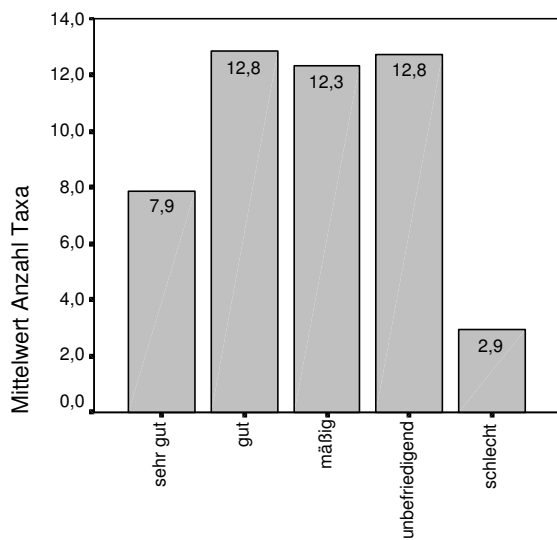


Abb. H14/3: Mittelwert der Taxazahl (links) bzw. Quelltaxa (rechts) und Krenon-Type-Klassen