

DER ÖKOLOGISCHE ZUSTAND DER BÄCHE

*... im Nationalpark Hunsrück-Hochwald – Diversität,
Belastungen und Bewertung*



21

Der Nationalpark Hunsrück-Hochwald beherbergt eine Vielzahl an Mittelgebirgsbächen der oberen und mittleren Forellenregion. Diese vielfältigen und dynamischen Lebensräume beherbergen natürlicherweise eine diverse Fauna wirbelloser Gewässertiere, die als Bioindikatoren für verschiedene Stressoren verwendet werden können. Der Beginn eines ökologischen Langzeitmonitorings im Frühjahr 2019 brachte erste Erkenntnisse über den ökologischen Zustand und die Gewässerbelastungen an sechs Gewässerabschnitten im Einzugsgebiet des Traunbachs und Hambachs. Auf Grundlage der Gewässerbewertungssoftware „Perlopes Online“ erfolgte eine Zustandsbewertung und Einschätzung der Belastungen. Hier zeigt sich, dass der hauptsächliche Belastungspfad die Gewässerversauerung darstellt. Obwohl in den vergangenen Dekaden eine deutliche Verbesserung vieler chemischer Versauerungs-Kenngrößen erfolgte, was auch zu einer Zunahme der Biodiversität führte, sind immer noch große Defizite in der aquatischen Fauna zu erkennen. Eine Wiederbesiedlung mit säureempfindlichen Arten braucht Zeit und ist bisher nur in Teilen erfolgt. Gleichzeitig gibt es weiterhin Einträge von Säurebildnern aus Luft und Boden, die auf eine Gewässerlandschaft mit geologisch bedingten geringen Säureneutralisationskapazitäten und eine Prägung durch die natürlicherweise leicht sauren Hangbrücher treffen. Weitere Belastungen, durch Gewässerverbau und Schadstoffeinträge, lassen sich nur in sehr geringem Maße feststellen.

Einleitung

Fließgewässer haben in unserer Landschaft einen besonderen Stellenwert, da sie sowohl wichtige Funktionen im Naturhaushalt übernehmen als auch einen hohen ästhetischen Wert und kulturelle Bedeutung aufweisen. Sie stellen eine große Habitatvielfalt bereit und sind durch kleinräumige Variabilität hydrologischer, struktureller und chemisch-physikalischer Bedingungen geprägt. Dadurch beherbergen naturnahe Bäche und Flüsse trotz ihrer vergleichbar geringen Größe einen hohen Artenreichtum. Gleichzeitig sind naturnahe Gewässer durch direkte menschliche Eingriffe und Veränderungen der umgebenden Landschaft selten geworden. Fließgewässer spiegeln in Chemismus, Flora, Fauna, Hydrologie und Morphologie die geologischen Bedingungen sowie die Landnutzung des Einzugsgebietes wieder. Aufgrund dieser engen Verzahnung mit den angrenzenden terrestrischen Lebensräumen werden Hydrologie, Struktur und Stofffrachten der Gewässer mitsamt ihren Lebensgemeinschaften durch die Landnutzung beeinflusst.

Innerhalb eines Nationalparks sollen natürliche Prozesse in der Landschaft erhalten und gefördert werden. In Fließgewässern sind viele Prozesse durch Interaktionen mit dem Umland geprägt. So stellt der Eintrag von Laub einen wesentlichen Bestandteil der Basis des Nahrungsnetzes dar; leicht abbaubare organische Substanzen und Mineralien aus dem Einzugsgebiet versorgen das Gewässer mit Nährstoffen; ein frei fließendes dynamisches Gewässer und Totholz aus angrenzenden Wäldern sorgen für Habitatvielfalt; eine ungestörte Geschiebedynamik ist Voraussetzung für ein gesundes Kieslückensystem, welches als Habitat und Kinderstube für unzählige Gewässertiere essentiell ist und als Ort hoher mikrobieller Aktivität die sogenannte Selbstreinigungskraft des Gewässers erhält. Grundsätzlich wichtig für den Erhalt und die Förderung natürlicher Gewässerlebensräume sind longitudinale und laterale Konnektivität sowie die Landnutzung im Einzugsgebiet zu sehen.

Im Nationalpark Hunsrück-Hochwald (NLPHH) findet sich eine Vielzahl an Bächen, die biozönotisch der oberen und mittleren Forellenregion und dem Fließgewässertyp LAWA-Typ 5 (Pottgiesser & Sommerhäuser 2004) zuzuordnen sind.



DIE AUTOREN

Wolfram Remmers M.Sc., wissenschaftlicher Assistent in der AG Interdisziplinärer Umweltschutz an der FH Trier, Umwelt-Campus Birkenfeld.

Erforscht biologische Interaktionen und invasive Arten in Fließgewässern sowie die Biodiversität von aquatischen Wirbellosen im Nationalpark. Beschäftigt sich außerdem mit der Ökologie und Faunistik von verschiedenen Insektengruppen.



Thomas Meißner M.Sc., wissenschaftlicher Mitarbeiter in der AG Interdisziplinärer Umweltschutz an der FH Trier, Umwelt-Campus Birkenfeld.

Erforscht den Einfluss von anthropogenen Stressoren auf die Biologie und Hydrologie von Gewässern sowie die Wirksamkeit von Renaturierungsmaßnahmen. Er organisiert das Wasserwissenforum – eine Bürger-Informationsplattform zu Wasser-Themen – in Kooperation mit dem Umweltministerium Rheinland-Pfalz.



Prof. Dr. Stefan Stoll, Professor für Interdisziplinären Umweltschutz an der FH Trier, Umwelt-Campus Birkenfeld. Erforscht die langfristigen Veränderungen in Gewässerökosystemen durch Klima- und Landnutzungswandel und leitet dazu

ein Monitoring zu Biodiversität und Umweltfaktoren in den Fließgewässern des Nationalparks. Er beschäftigt sich außerdem mit der Optimierung von Gewässermanagementmaßnahmen für Biodiversität und Ökosystemleistungen.

Das größte Einzugsgebiet im Park gehört dem Traunbach, der bei Neubrücke in die Nahe mündet. Die Einzugsgebiete sind in der Regel vollständig bewaldet und von silikatischen Ausgangsgesteinen geprägt. Durch das vergleichsweise große Gefälle in Kombination mit hoher Substratdiversität aus Sand, Kies und Steinen in allen Größen sowie Totholz entstehen hier dynamische und vielfältige Lebensräume. Besiedelt werden diese Habitate von einer Makrofauna aus Fischen, vor allem Bachforellen, und einer Vielzahl an Wirbellosen. Die aquatischen Wirbellosen umfassen Insekten, Krebstiere, Milben, Ringelwürmer, Strudelwürmer sowie Weichtiere und werden als Makrozoobenthos (MZB) bezeichnet.

Durch ihren Artenreichtum und ihre hohe Diversität in vielen Aspekten ihrer Lebensweise wie Ernährung, Lebenszyklus, Fortbewegung sowie Anpassungen an verschiedene Umweltfaktoren eignet sich das MZB sehr gut als Indikator für Veränderungen der Wasserqualität sowie hydrologischer und morphologischer Bedingungen. Als sogenannte Bioindikatoren werden diese Organismen für die Bewertung des ökologischen Zustands der Gewässer verwendet. Im NLPFH findet ein regelmäßiges Monitoring des MZB statt, welches Langzeit-Veränderungen der Lebensgemeinschaften und Belastungen erfassen soll.

Im Folgenden werden Erkenntnisse aus der MZB-Erfassung des Frühjahrs 2019 vorgestellt. Es werden ein Überblick über die Artengemeinschaften sowie eine Einschätzung des ökologischen Zustands und der vorherrschenden Beeinträchtigungen und Stressoren mit einer anschließenden Einordnung der Ergebnisse und Diskussion über Zustand und Belastungen der Bäche des Nationalparks gegeben.

Methodik

Im Frühjahr 2019 wurden im Einzugsgebiet des Traunbachs und im oberen Einzugsgebiet des Hambachs (Zwingbach) an verschiedenen Stellen Proben des MZB genommen. Damit beginnt ein ökologisches Langzeit-Gewässermonitoring mit dem Ziel, Langzeitveränderungen der Gewässerfauna in Abhängigkeit der Entwicklung der Gewässerqualität und weiterer Umweltfaktoren zu untersuchen. Das Monitoring wird von der Arbeitsgruppe Interdisziplinärer Umweltschutz am Umwelt-Campus Birkenfeld der Hochschule Trier durchgeführt und ist Teil des ökologischen Langzeitforschungs-Netzwerks Deutschland (LTER-D).

Die Entnahme und Auswertung der MZB-Proben erfolgte nach der im methodischen Handbuch Fließgewässerbewertung beschriebenen Verfahren (Meier et al. 2006). Die

Methodik erlaubt eine repräsentative Erfassung der Fauna eines Bachabschnittes in Bezug auf die Bestimmung des ökologischen Zustands des Gewässers gemäß der europäischen Wasserrahmenrichtlinie (vgl. UBA 2020a).

Auf Grundlage des erfassten MZB wurde der ökologische Zustand der Gewässerabschnitte anhand des Perloides-Verfahrens (UBA 2020) berechnet. Das Perloides-Verfahren berechnet eine ökologische Zustandsklasse, die auf einer fünfstufigen Skala angegeben wird. Der multi-metrische Aufbau ermöglicht Rückschlüsse auf einzelne Stressoren oder Kategorien von Stressoren, die einen negativen Einfluss auf die Makroinvertebratenfauna ausüben.

Bei der Einstufung der Ergebnisse gilt grundsätzlich: Je stärker die Abweichung vom natürlichen Zustand ist, desto schlechter fällt das Bewertungsergebnis aus. Insgesamt werden drei Module, „Saprobie“, „Allgemeine Degradation“ und „Versauerung“, zu einer Gesamtbewertung, der ökologischen Zustandsklasse (ÖZK), verrechnet. Dabei gilt das „worst-case-Prinzip“, was bedeutet, dass das Modul mit der schlechtesten Einzelbewertung entscheidend für die ÖZK ist (UBA 2020a).

Ergebnisse und Diskussion

Aus insgesamt 6 Proben von 6 verschiedenen Probestellen wurden aus 3219 Individuen 85 Taxa identifiziert. In allen Abbildungen werden die Probestellen entsprechend der Gewässergröße von links nach rechts (größer) dargestellt. Die Taxa können 12 Großgruppen zugeordnet werden (Abb. 1).

Die Zuordnung der Individuen zu den Großgruppen verdeutlicht, dass vor allem die Insekten-Ordnungen Steinfliegen (Plecoptera), Fliegen (Diptera) sowie Köcherfliegen (Trichoptera) die Makroinvertebraten – bezogen auf Individuenzahlen (Abundanz) – dominieren. Die Dominanz bestimmter Großgruppen ist oft auf hohe Abundanzen einzelner Taxa zurückzuführen. Beispielsweise wird im Thranenbruch ein Großteil der

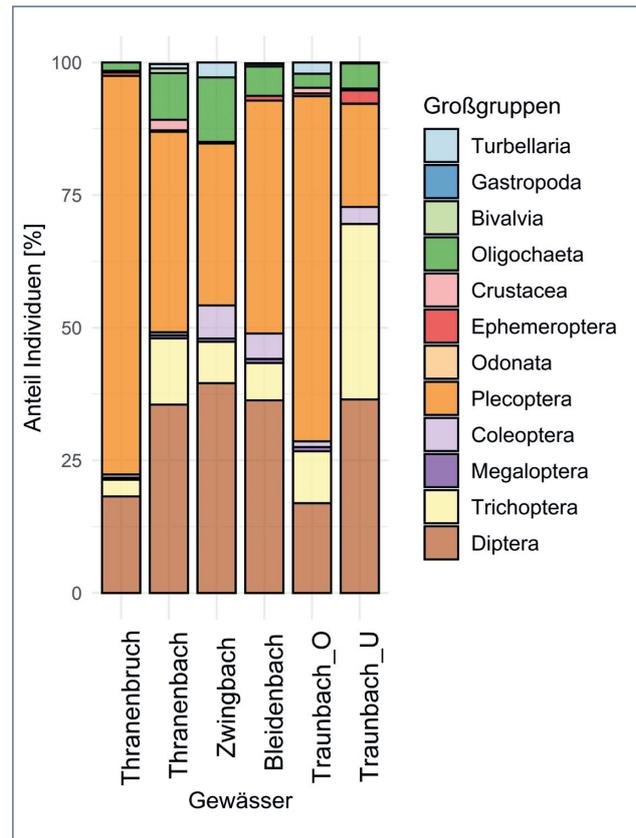


Abbildung 1: Anteile der Großgruppen an der Artengemeinschaft bezogen auf die Individuenzahlen.

Steinfliegen durch Vertreter der Gattungen *Amphinema* und *Leuctra* gestellt; im Traunbach_U wurde die Köcherfliegenart *Hydropsyche siltalai* in großer Anzahl gefunden. Gammariden (Crustacea: *Amphipoda*) fehlen dahingegen vollkommen; Eintagsfliegen (Ephemeroptera) sowie Schnecken (Gastropoda) und Muscheln (Bivalvia) sind deutlich unterrepräsentiert (Abb. 1). Von besonderem Interesse für die Gewässerbewertung sind die sensitiven Taxa, zu denen die Großgruppen Ephemeroptera, Plecoptera und Trichoptera (EPT) gehören.

Sowohl die Anzahl der Taxa als auch die Abundanzen verdeutlichen, dass Artenreichtum und Produktivität stromabwärts zunehmen. Eine solche Entwicklung wird von einer moderaten Erhöhung der Nährstoffverfügbar-

Tabelle 1: Artenreichtum und Diversitätsmaße: hochgerechnete Abundanz/m², Anzahl der Taxa, Shannon-Wiener-Index (Shannon), Evenness (Gleichverteilung).

	Thranenbruch	Thranenbach	Zwingbach	Bleidenbach	Traunbach_O	Traunbach_U
Abundanz [m²]	1528	2816	1540	3212	1296	5659
Anzahl Taxa	25	32	28	36	32	58
Shannon	2,09	2,79	2,74	2,75	2,44	2,64
Evenness	0,65	0,81	0,82	0,77	0,7	0,65



Abbildung 2: Typische Vertreter der Wirbellosenfauna der Bäche im Nationalpark. Von links nach rechts: *Chaetopteryx villosa*, *Elmis maugetii*, *Odontocerum albicorne*, *Protonemura sp.*, *Plectrocnemia conspersa*, *Hydropsyche siltalai*.

keit begünstigt. Die kleinen, sauren und nährstoffarmen Oberläufe weisen extremere Lebensbedingungen auf, was die Entwicklung einer vergleichsweise artenarmen und spezialisierten Fauna zur Folge hat.

Die Diversität anhand des Shannon-Wiener-Index berücksichtigt neben der Anzahl der Taxa auch deren Gleichverteilung (Evenness) und sinkt bei zunehmender zahlenmäßiger Dominanz einzelner Taxa. Die niedrigste

Diversität weist der Bach im Thranenbruch auf, da hier die geringste Taxazahl zu finden ist und einige Steinfliegenarten stark dominieren.

Ein wichtiges Kriterium zur Einstufung des ökologischen Zustands ist die Zuordnung der Taxa zu den längszonotischen Gewässerabschnitten (Abb. 3), in denen sie natürlicherweise ihren Vorkommensschwerpunkt haben. Hier zeigt sich, dass Arten des Krenals und Hypokrenals in den Oberläufen recht häufig und im Mittellauf des Traunbachs (Traunbach_U) seltener geworden sind. Die für kleine Bäche typischen Bewohner des Epirhithrals sind in allen Gewässerabschnitten am häufigsten vertreten. Lediglich im Bereich des Traunbachs zwischen Einschiederhof und Abentheuer wurden die meisten Taxa dem Metarhithral zugeordnet und hier finden sich auch die meisten Bewohner des Hyporhithrals. Typische Besiedler von größeren Flüssen (Potamal) und Stillgewässern (Littoral, Profundal) kommen in allen Proben selten vor.

Die Einteilung in eine ÖZK erfolgt anhand der drei Module Saprobie, Allgemeine Degradation und Versauerung. Die beprobten Gewässerabschnitte sind überwiegend in einem guten Gesamtzustand. Lediglich im Zwingbach erfolgt eine Einstufung in die ÖZK „mäßig“, im Thranenbruch sogar „unbefriedigend“. In beiden Fällen ist die schlechtere Einstufung auf Defizite im Modul Versauerung zurückzuführen.

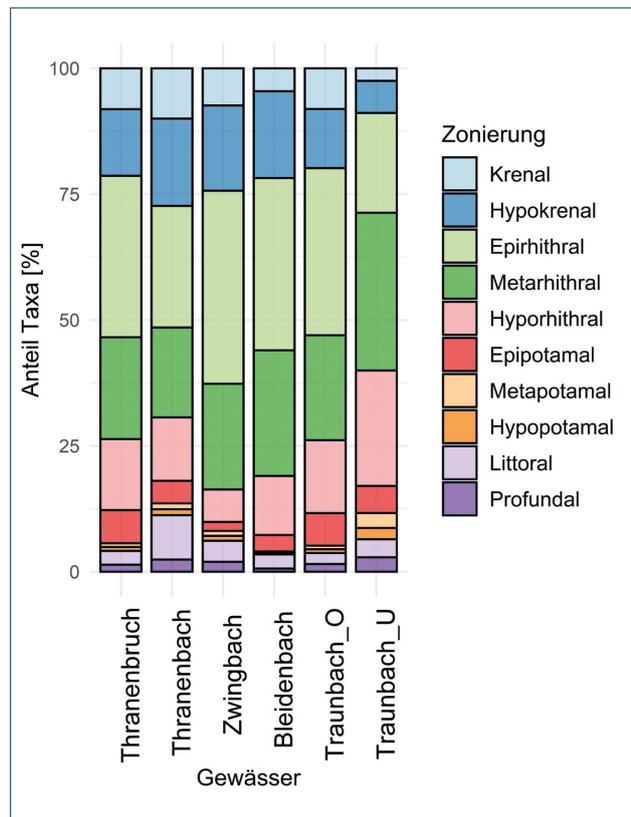


Abbildung 3: Anteile der typischen Arten der Gewässerabschnitte an der beprobten Fauna der Gewässer Thranenbruch, Thranenbach, Zwingbach, Bleidenbach, Traunbach oberhalb Börfink (O), Traunbach oberhalb Abentheuer (U). Lebensraumabschnitte: Krenal + Hypokrenal = Quelle + direkt anschließender Gewässerabschnitt; Epi-, Meta-Rhithral = obere, untere Forellenregion und Hypo-Rhithral = Äschenregion; Epipotamal = Barbenregion; Metapotamal = Bleiregion; Hypopotamal = Kaulbarsch- und Flunderregion.

Gewässerversauerung

Die Versauerungsproblematik (z. B. Bittersohl 2014, Moss 2010) wird durch Schwefel-, Stickoxide und Ammoniak, die bei der Verbrennung fossiler Energieträger und in der Tierhaltung entstehen und als Säurebildner agieren, verursacht. Über die Luft und Niederschläge gelangen diese Stoffe in Böden und Gewässer. Im Hunsrück mit seinen devonischen Quarziten gibt es kaum Kapazitäten zur Säureneutralisation, wodurch Böden und Gewässer sehr empfindlich auf Einträge von Säurebildnern und saurem Regen reagieren und es leicht zu Gewässerversauerung kommen

Tabelle 2: Einteilung der Gewässer in ökologische Zustandsklassen (ÖZK) auf Grundlage der Module Saprobie, Allgemeine Degradation (AD) und Versauerung. Einteilung in sehr gut (1/blau), gut (2/grün), mäßig (3/gelb), unbefriedigend (4/orange), schlecht (5/rot). Die Einstufung des Moduls Saprobie entspricht dem deutschen Saprobienindex (neu), die des Moduls Versauerung den Säureklassen nach Braukmann (vgl. UBA 2020).

	Thranenbruch	Thranenbach	Zwingbach	Bleidenbach	Traunbach_O	Traunbach_U
ÖZK	4	2	3	2	2	2
Saprobie	2	2	1	2	2	2
AD	1	1	1	1	1	2
Versauerung	4	2	3	2	2	2

kann. Die Gewässerfauna wird durch direkte Auswirkungen niedriger pH-Werte sowie Mobilisierung von Schadstoffen wie Al^{3+} -Ionen beeinträchtigt. Dies äußert sich in starken Defiziten der biologischen Besiedlung sowohl in der Besiedlungsdichte als auch im Arteninventar. Sichtbar werden diese Defizite durch eine starke Reduktion in Abundanz und Diversität einiger besonders empfindlicher Artengruppen wie Gammariden, Eintagsfliegen, Schnecken und Muscheln (vgl. Abb. 1) bei gleichzeitigem Vorkommen säuretoleranter Arten.

Besonders empfindlich reagieren Gewässer, die natürlicherweise schon niedrige pH-Werte aufweisen. Im NLPHH betrifft das vor allem Bäche, die im Einflussbereich der hier typischen und einzigartigen Hangbrücher liegen (z. B. Thranenbach). Dies muss in der Bewertung berücksichtigt werden, sodass als natürlicher Zustand eine Einstufung in die Säureklasse 2 angenommen wird (LfU 2018).

Betrachtet man die Entwicklung der Gewässerversauerung über die letzten Jahrzehnte, lassen sich Verbesserungen vieler chemischer Versauerungs-Kenngrößen (pH, Sulfat-Konzentration, Aluminium-Konzentration etc.) feststellen. Diese Trends wurden im Hunsrück seit den 1980er Jahren, im Rahmen des Saure-Bäche-Programms, detailliert beobachtet. Sie lassen sich – mit regionalen und lokalen Unterschieden – auch in anderen Regionen Deutschlands sowie Europas feststellen und sind hauptsächlich auf eine Reduktion der Schwefeloxid-Emissionen zurückzuführen. Diese Entwicklung spiegelt sich auch in den biologischen Kenngrößen der Gewässerbewertung wieder, ist hier aber weniger konsistent und tritt mit zeitlicher Verzögerung ein (LfU 2018, Bittersohl 2014, Malmqvist & Rundle 2002).

Bisher hat sich die Biodiversität der untersuchten Gewässer stark erhöht: Wurden zu Beginn der 1990er Jahre im Traunbach und Bleidenbach nur noch <10 Taxa gefunden (LfU 2018), sind es in den hier untersuchten Proben schon wieder >25 Taxa. Trotzdem sind weiterhin Defizite in der Zusammensetzung der Artengemeinschaft vorhanden, die sich an Diversitätsmaßen alleine nicht er-

kennen lassen. Immer noch fehlen einige typische, meist weniger säuretolerante Vertreter der Fauna grobmaterialreicher silikatischer Mittelgebirgsbäche weitgehend. Dazu gehören die Eintagsfliegen *Epeorus assimilis* und *Rhithrogena* ssp. sowie die Köcherfliegen der Gattung *Philopotamus* und die Steinfliege *Perla marginata*. Ebenfalls in den hier untersuchten Gewässern fehlend, aber im Umland weit verbreitet, sind die Gammariden *Gammarus fossarum* und *Gammarus pulex* sowie die Flussnapfschnecke *Ancylus fluviatilis*.

IM ÜBERBLICK

- > Die untersuchten Gewässer sind überwiegend in einem guten ökologischen Gesamtzustand.
- > Nach starkem Artenrückgang durch Versauerung beherbergen die Bäche jetzt wieder eine hohe Biodiversität.
- > Weiterhin fehlen jedoch viele säureempfindliche Arten, vor allem Eintagsfliegen, Mollusken und Krebstiere.

Aufgrund der positiven Trends von Versauerungs-Kenngrößen sind weitere Verbesserungen der MZB-Besiedlung im NLPHH zu erwarten. Wiederbesiedlungsprozesse brauchen allerdings viel Zeit und können temporäre Rückschläge erleiden, wodurch es zu erheblichen Schwankungen um bis zu 2 Säurezustandsklassen innerhalb weniger Jahre kommen kann (LfU 2018). Gründe für die Verzögerungen bei der Gewässerregeneration können Auswaschungen der als Altlasten im Boden gespeicherten Aluminiumsulfate sowie der weiterhin vergleichsweise hohen Immissionen von Stickstoffverbindungen sein (MUEEF 2018). Des Weiteren deutet sich

im unteren Abschnitt des Traunbachs eine Auffüllung der Fauna mit längszönotisch im Hyporhithral vorkommenden Arten an, wie es sich an der Probestelle Traunbach_U erkennen lässt.

Aufgrund der langen Geschichte der Gewässerversauerung, die seit ca. 50 Jahren als Problem anerkannt wird, aber schon lange vorher begann, ist es schwierig, einen Vorher-Zustand der Artengemeinschaft zu rekonstruieren. Einen Hinweis auf mögliche Entwicklungen können strukturell ähnliche, weniger von der Versauerung betroffene Gewässer der Region geben. Hier finden sich noch viele der fehlenden Taxa, was eine Wiederbesiedlung möglich erscheinen lässt. Gleichzeitig verändern sich andere Umweltfaktoren durch Erwärmung und zunehmende Abflussextrême. Die Gewässer des Nationalparks eignen sich hervorragend zur weiteren Erforschung dieser Prozesse, da sie von anderen anthropogenen Einflüssen weitgehend unbeeinflusst sind.

Saprobie

Mit dem Modul Saprobie werden Defizite im Sauerstoffhaushalt erfasst. Insgesamt ist die saprobielle Belastung an allen Probestellen gering oder gar nicht vorhanden (Tab. 2). Defizite können durch Nährstoffeintrag, erhöhte Sonneneinstrahlung und erhöhte Temperaturen entste-

hen. Die leichten Abweichungen vom sehr guten Zustand könnten im Thranenbruch, Thranenbach und Bleidenbach auf eine geringere Beschattung der Gewässer und der dadurch erhöhten Primärproduktion zurückzuführen sein. Die beiden Abschnitte des Traunbachs liegen im Einflussbereich von Siedlungen und im Falle von Traunbach_U auch Aquakultur, welche als Nährstoffemittenten in Frage kommen. Auch hohe Temperaturen und niedrige Wasserstände wie im Sommer 2018 können negative Auswirkungen auf die Sauerstoffversorgung haben.

Allgemeine Degradation

Das Modul allgemeine Degradation indiziert Belastungen der Hydromorphologie des Gewässers, Einflüsse durch Landnutzung im Einzugsgebiet und Einträge von Feinsedimenten, Pestiziden und hormonell wirksamen Substanzen. In den beprobten Gewässerabschnitten sind, bis auf den Traunbach zwischen Börfink und Hujetsmühle, keine dieser Belastungen festzustellen (Tab. 2). Im Bereich der Probestelle Traunbach_U ist eine leichte Abweichung zu der natürlicherweise in einem solchen Gewässer vorkommenden Artengemeinschaft sichtbar. Die Veränderungen äußern sich im erhöhten Anteil an Hyporhithralbesiedlern, die ihren Vorkommensschwerpunkt eigentlich deutlich weiter stromabwärts haben (Abb. 3).

Quellen

- Bittersohl, J., Walther, W., Meesenburg, H. (2014):** Gewässerversauerung durch Säuredeposition in Deutschland – Entwicklung und aktueller Stand. *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung*, 58(5): 260-273.
- LfU (Landesamt für Umwelt Rheinland-Pfalz) (Hrsg.) (2018):** Gewässerschutz und Luftschadstoffe – 30 Jahre Monitoring versauerter Waldbäche in Rheinland-Pfalz. Download: https://lfu.rlp.de/fileadmin/lfu/Downloads/Wasserwirtschaft/SaureBaeche_Internetversion.pdf
- Malmqvist, B., Rundle, S. (2002):** Threats to the running water ecosystems of the world. *Environmental Conservation*, 29(2): 143-153.
- Meier, C., Haase, P., Rolauffs, P., Schindehütte, K., Schöll, F., Sundermann, A., Hering, D. (2006):** Methodisches Handbuch Fließgewässerbewertung. Handbuch zur Untersuchung und Bewertung von Fließgewässern auf der Basis des Makrozoobenthos vor dem Hintergrund der EG-Wasserrahmenrichtlinie 110.
- Moss, B.R. (2010):** *Ecology of Freshwaters: A View for the Twenty-First Century*, 4th Edition. Wiley-Blackwell.
- MUEEF (Ministerium für Umwelt, Energie, Ernährung und Forsten Rheinland-Pfalz) (2018):** Waldzustandsbericht 2018. Download: https://mueef.rlp.de/fileadmin/mulewf/Publikationen/Waldzustandsbericht_2018.pdf
- Pottgiesser, T., Sommerhäuser, M. (2004):** Fließgewässertypologie Deutschlands, in: *Handbuch Angewandte Limnologie: Grundlagen - Gewässerbelastung - Restaurierung - Aquatische Ökotoxikologie - Bewertung - Gewässerschutz*. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, Germany, pp. 1–61. <https://doi.org/10.1002/9783527678488.hbal2004005>
- UBA (Umweltbundesamt) (2020):** Begleitinformationen zum Verfahren „Perlodes Online“. <https://www.gewaesser-bewertung-berechnung.de/index.php/perlodes-online.html>
- UBA (Umweltbundesamt) (2020a):** Gewässerbewertung gemäß Wasserrahmenrichtlinie. https://www.gewaesser-bewertung.de/index.php?article_id=2&clang=0

