

Wirbellose Fließgewässer-Organismen im Wandel – unter besonderer Berücksichtigung der Insektenfauna

Wolfram Graf, Patrick Leitner, Astrid Schmidt-Kloiber

Das Thema Artensterben wird in den letzten Jahrzehnten international intensiv diskutiert. Dabei werden vor allem terrestrische Organismen wie „Nützlinge“ – z. B. Bienen –, ihre Ökosystemleistungen und ihre Bedeutung für uns Menschen in den Vordergrund gestellt. Analysen unter der Wasseroberfläche werden zwar in Fachjournalen zahlreich publiziert, erreichen die Öffentlichkeit jedoch nur selten. Die überproportional hohe Biodiversität in aquatischen Lebensräumen im Vergleich zu terrestrischen ist zum Großteil auf Wirbellose – das sogenannte Makrozoobenthos – zurückzuführen. Diese Tiere übernehmen wesentliche ökologische Funktionen im Stoffkreislauf von Gewässern und tragen so zum Beispiel zur Selbstreinigungskraft bei. Aufgrund ihrer deutlichen Reaktion auf Umweltveränderungen, werden sie weltweit als Indikatoren für verschiedene Fragestellungen beispielsweise in Biomonitoring-Systemen eingesetzt. Gerade diese Sensitivität führt aber auch dazu, dass sich die Artenzusammensetzung verschiebt, und in einigen Fällen können Arten aufgrund verschiedener menschlicher Nutzungsansprüche von aquatischen Systemen (wie Siedlungsdruck, Wasserkraft, Schifffahrt oder Erholung) sogar regional verschwinden. Dieser Artikel fasst den Wissensstand über die Diversität und Gefährdungssituation des Makrozoobenthos in Österreich, sowie dessen Reaktionen auf spezifische anthropogene Eingriffe zusammen. Darüber hinaus werden Schwierigkeiten bei der Erhebung der aquatischen Biodiversität sowie Lösungsansätze skizziert.

Graf W, Leitner P, Schmidt-Kloiber A (2024) Invertebrate stream organisms in transition – with special consideration of the insect fauna.

In recent decades, the topic of species loss has been intensively discussed internationally. Often the focus is on terrestrial organisms such as “beneficial insects”, e. g. bees, their ecosystem services, and their importance for us humans. Analyses below the water surface are published in numerous scientific journals, but rarely reach the general public. The disproportionately high biodiversity in aquatic ecosystems compared to terrestrial ones is largely due to invertebrates – the so-called benthic invertebrates. These animals take over essential ecological functions in the nutrient cycle of water bodies and thus contribute, for example, to the self-purification capacity. Due to their distinct reaction to environmental changes, they are used as indicators in biomonitoring systems worldwide. However, it is this sensitivity that leads to shifts in species composition and even the regional disappearance of species due to diverse human pressures on aquatic ecosystems (land-use, hydropower, navigation, recreation etc.). This article summarises the state of knowledge on the diversity and endangerment of benthic invertebrates in Austria as well as reactions to specific anthropogenic interventions. In addition, difficulties in the context of aquatic biodiversity surveys and possible solutions are outlined.

Keywords: biodiversity loss, macroinvertebrates, Austria, multiple stressors.

Einleitung

Das Thema Insektensterben wird in den letzten Jahrzehnten international intensiv diskutiert, dabei werden v. a. terrestrische „Nützlinge“ (z. B. Bienen), ihre Ökosystemleistungen und ihre Bedeutung für uns Menschen in den Vordergrund gestellt. Analysen unter der Wasseroberfläche werden zwar in Fachjournalen zahlreich publiziert, erreichen die Öffentlichkeit jedoch nur selten.

Die überproportional hohe Biodiversität in aquatischen Ökosystemen, wird zum Großteil durch Wirbellose – das sogenannte Makrozoobenthos (eine Sammelbezeichnung für stammesgeschichtlich äußerst heterogene Organismengruppen) – erreicht. Diese Tiere übernehmen wesentliche ökologische Funktionen im Stoffkreislauf von Gewässern, und stellen daneben aufgrund ihres hohen Biomassetransfers vom Wasser in die terrestrischen Lebensräume durch emergierende Insekten eine wesentliche Lebensgrundlage für landlebende Organismen wie Spinnen, Käfer, Amphibien, Fledermäuse und Vögel dar. Aufgrund ihrer deutlichen Reaktionen hinsichtlich Umwelt-Veränderungen werden die aquatischen Stadien des Makrozoobenthos als Indikatoren in Biomonitoring-Systemen weltweit eingesetzt. Gerade aber diese Sensitivität führt durch multiple Stressoren zu Verschiebungen der Artenzusammensetzung bis hin zum regionalen Verschwinden von Arten aufgrund vielfältiger menschlicher Nutzungsansprüche.

Der weltweite Rückgang der aquatischen Biodiversität wurde v. a. in den letzten Jahrzehnten dokumentiert und Lösungsansätze intensiv diskutiert (u. a. Dudgeon et al. 2006; Sánchez-Bayo & Wyckhuys 2019; Cardoso et al. 2020a,b; Didham et al. 2020; Harvey et al. 2020; Jähnig et al. 2021). Österreich, als mitteleuropäisches Land mit hohem Flächenverbrauch und intensiver Landwirtschaft, ist von Artenverlusten naturgemäß ebenfalls betroffen.

In diesem Artikel wird der aktuelle Wissensstand zur Vielfalt und Bedrohungssituation verschiedener Gruppen des Makrozoobenthos sowie die Reaktionen auf bestimmte menschliche Eingriffe dargestellt, sowie Lösungsansätze zur Biodiversitätserfassung skizziert.

Wissensstand

Befeuert durch eine Studie von Hallmann et al. (2017), die einen drastischen Rückgang der Insekten-Biomasse in deutschen Naturschutzgebieten feststellen, rückte das Insektensterben international zunehmend in den Fokus wissenschaftlicher Analysen. Der weltweite Verlust an aquatischer Insekten-Biodiversität wird vor allem durch Habitat-Verlust aufgrund von Landwirtschaft und Urbanisierung sowie generell durch Verschmutzung (auch Lichtverschmutzung) und Klimaveränderungen verursacht (Sánchez-Bayo & Wyckhuys 2019). In Bezug auf die Dichte wird ein Rückgang bei terrestrischen, jedoch eine Zunahme der aquatischen Insektenfauna festgestellt (van Klink et al. 2020). Bei der Analyse der Artenvielfalt von wirbellosen Wasserorganismen in Europa über einen Zeitraum von 52 Jahren wird nach einer Erholung der Diversität in der Periode 1990 bis 2000, ab 2010 eine Stagnation der Populationen konstatiert (Haase et al. 2023). Dies ist auf multiple Stressoren, invasive Arten und den Klimawandel zurückzuführen. Eine gesamtgültige Einschätzung ist aufgrund der teilweise kontrastierenden Aussagen der genannten Arbeiten, basierend auf der zum Teil groben taxonomischen Auflösung und der variierenden Stressor-spezifischen Sensitivität der unterschiedlichen Arten, schwierig. Generell hängt die Aussagekraft aller groß-skalierten Analysen wesentlich mit der Datenlage insgesamt und der Auswahl methodisch vergleichbarer Datensätze zusammen und wird daher nicht zu Unrecht häufig in Frage gestellt.

Was wissen wir über Entwicklungen der österreichischen aquatischen Fauna?

Zum aktuellen Zustand von Insekten in Österreich schreiben Rabitsch et al. (2020) treffend:

„Insektensterben ist ein komplexes und multifaktorielles Phänomen. Es ist nicht zu erwarten, dass es nur eine einzige Hauptursache für den Biodiversitätsverlust auf allen räumlichen Skalen und funktionellen Ebenen gibt. Für Österreich liegen keine quantitativen Daten vor, die einen Insektenrückgang belegen oder widerlegen könnten. Indizien, insbesondere lokale Studien und Gefährdungsanalysen (Rote Listen) lassen aber keinen Zweifel, dass die Rückgänge in Österreich stattgefunden haben und stattfinden. Auch wenn für viele Insektengruppen keine aktuellen Gefährdungsanalysen vorliegen, zeigen die vorhandenen Daten übergeordnete Bedrohungsbilder: Besonders gefährdet sind Insektenarten in ostösterreichischen Offenlandstandorten sowie Arten von natürlichen Fließgewässer-Uferstandorten, Feuchtwiesen, Quellen und Mooren.“

Durch die Heterogenität der phylogenetischen Gruppen des Makrozoobenthos sowie die hohe Zahl an Arten ist eine aktuelle Bestandsaufnahme – trotz einer überschaubaren Anzahl von Bearbeitern – laufenden Veränderungen unterworfen. Die aktuellste Zusammenfassung der österreichischen aquatischen Fauna ist die „Fauna Aquatica Austriaca“ (Moog & Hartmann 2017), in der 3.429 Arten gelistet werden. Dabei stellen die Zweiflügler mit 38 % bzw. 1.290 Arten, die Wasserkäfer mit 17 % bzw. 577 Arten und die Köcherfliegen 9 % bzw. 314 Arten, die dominanten Gruppen, gefolgt von Steinfliegen und Ruderfußkrebsen mit jeweils 4 % und den Eintagsfliegen (3 %); alle anderen Gruppen liegen darunter (Abb. 1), machen jedoch insgesamt 862 Arten aus und übertreffen damit weitaus populärere Tiergruppen hinsichtlich ihrer Diversität.

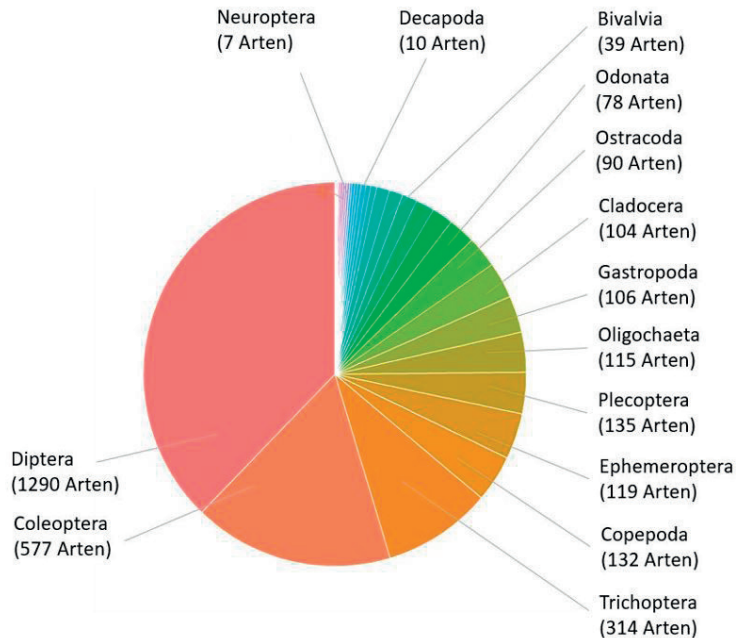


Abb. 1: Artenzahlen der unterschiedlichen Gruppen des Makrozoobenthos nach Fauna Aquatica Austriaca (Moog & Hartmann 2017). – Fig. 1: Number of species of the different macro-invertebrate groups according to Fauna Aquatica Austriaca (Moog & Hartmann 2017).

Ein wesentliches Instrument, um Entwicklungen, Gefährdung von Arten und Ursachen dafür aufzuzeigen, sind die Roten Listen gefährdeter Tier Österreichs. Innerhalb der aquatischen Evertebraten sind Käfer (Jäch et al. 2005), Köcherfliegen (Malicky 2009), Weichtiere (Reischütz & Reischütz 2007), Libellen (Raab et al. 2006), Schlammfliegen und Schwammhafte (Gepp 2005), höhere Krebse (Petutschnig et al. 2009) und Urzeitkrebse (Eder & Hödl 2002) in Österreich bezüglich ihrer Gefährdung eingestuft. Das bedeutet, dass nur für 18 % der bekannten aquatischen Arten Einstufungen vorliegen (Abb. 2). Innerhalb der klassifizierten Gruppen sind 49 % oder 307 Arten in einer der drei Gefährdungsstufen („critically endangered“, „endangered“ bzw. „vulnerable“) gelistet (Abb. 3). Für 45 Arten ist die Datenlage für eine Einstufung unzureichend, was dringenden Forschungsbedarf hinsichtlich dieser Arten andeutet.

Hinsichtlich internationaler Richtlinien wie der Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie, scheinen dort nur 16 der 3.429 österreichischen Makrozoobenthos-Arten auf, für die Österreich eine Berichtspflicht hat und deren Entwicklung daher näher untersucht wird. Neben der absurd geringen Anzahl erscheint auch die Auswahl der Tierarten absonderlich, da keine einzige der als besonders sensitiv gegenüber Umweltveränderungen angesehene Art der sogenannten EPT-Gruppe (Ephemeroptera/Eintagsfliegen, Plecoptera/Steinfliegen, Trichoptera/Köcherfliegen), die weltweit in der ökologischen Beurteilung von Fließgewässern verwendet wird, aufscheint.

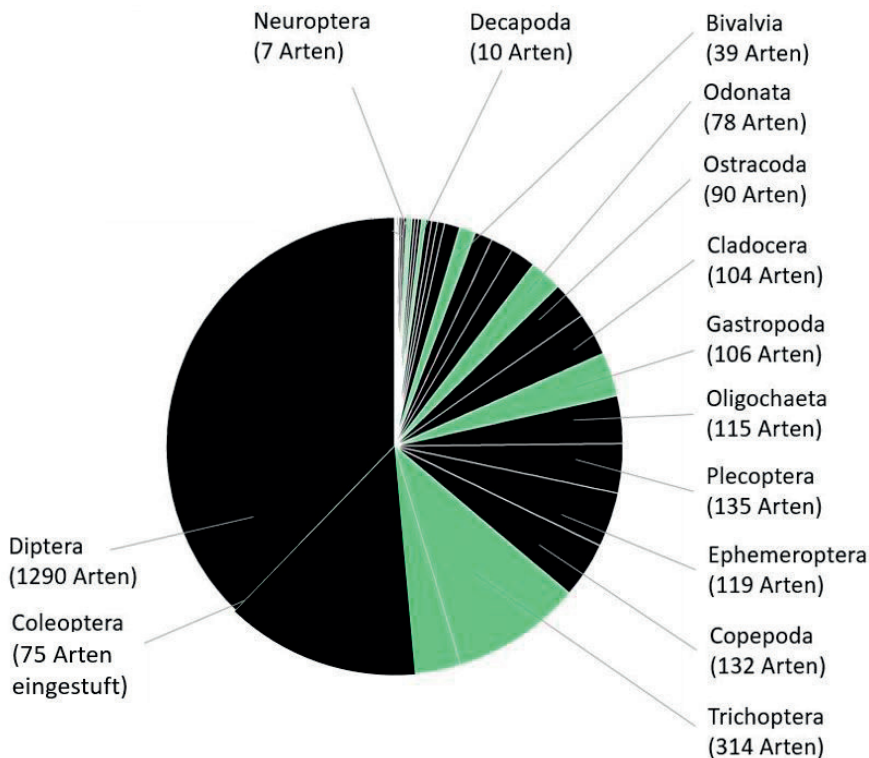


Abb. 2: Anteil der in den Rote Listen gefährdeter Tiere Österreichs eingestuft Gruppen; grün: eingestuft, schwarz: nicht bearbeitet. – Fig 2: Proportion of groups classified in the Austrian Red Lists of Threatened Species; green: classified, black: not processed.

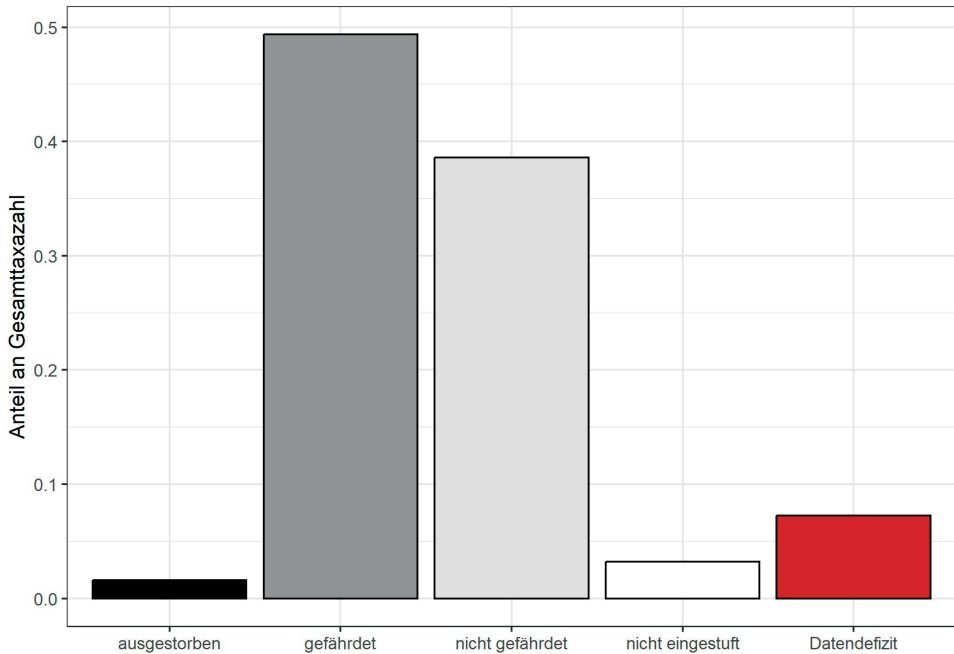


Abb. 3: Prozentuelle Verteilung aller klassifizierten Gruppen österreichischer aquatischer Evertebraten in zusammengefassten Gefährdungsstufen (gefährdet = vom Aussterben bedroht, stark gefährdet, gefährdet). – Fig. 3: Percentage distribution of all classified Austrian aquatic macro-invertebrate groups, summarised in threat levels (endangered = threatened with extinction, critically endangered, endangered).

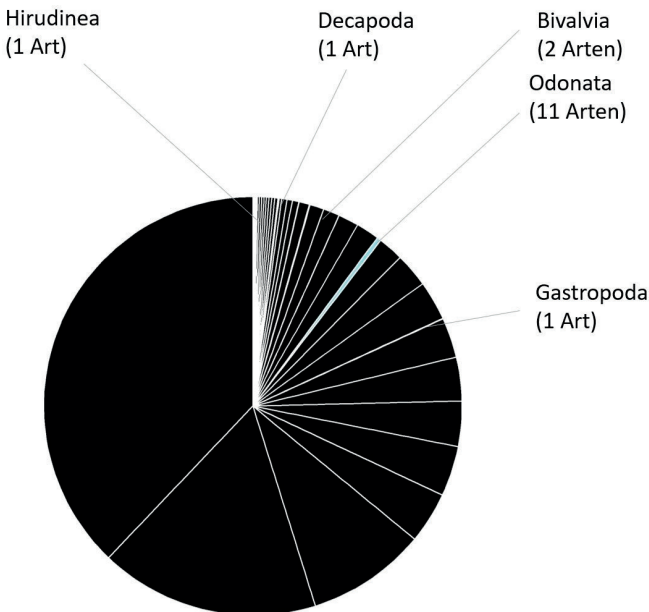


Abb. 4: In den Anhängen II, IV und V der Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie aufgeführte aquatische Makrovertebraten. (https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/themen/naturschutz/arten_der_anhaenge_ii_iv_v_oesterreich.pdf). – Fig. 4: Aquatic macro-invertebrates listed in Annexes II, IV and V of the Habitats Directive. (https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/themen/naturschutz/arten_der_anhaenge_ii_iv_v_oesterreich.pdf).

Raritäten: flusstypische Arten und Endemiten

Die Diversität aquatischer Organismen Österreichs ist relativ gut bekannt und kann als leicht steigend dargestellt werden. Einerseits werden regelmäßig neue Arten – zumeist Neobiota (also gebietsfremde Arten) – gemeldet, andererseits jedoch ist eine faktenbasierte Dokumentation eines Rückganges/Verlustes von spezifischen Arten – auch aufgrund natürlicher Schwankungen von Populationen – schwierig und liegt weitgehend außerhalb der Aufgaben der verantwortlichen Institutionen. So wurde z. B. die Steinfliegenart *Isogenus nubecula* seit 66 Jahren in Österreich nicht mehr nachgewiesen und muss wohl als verschollen eingestuft werden. Ohne historisches und eindeutig identifizierbares Sammlungsmaterial sind langfristige Entwicklungen aber schwer nachvollziehbar, was den hohen Wert von Museen unterstreicht.



Abb. 5: *Isogenus nubecula*, eine Charakterart größerer Flüsse. Die Art ist heute noch in naturnahen Flüssen wie Loire und Allier (Frankreich) häufig. Aufgrund von Museumsmaterial und historischen Schriften (Bauer & Löw 1857) weiß man, dass sie einst an der Donau ebenfalls häufig war. Der letzte Nachweis gelang 1958 an der Donau. – Fig. 5: *Isogenus nubecula*, a character species of large rivers. The species is still common today in near-natural rivers such as the Loire and Allier (France). Based on museum material and historical publications (Bauer & Löw 1857), we know that it was once also common in the Danube, where it was last recorded in 1958.

Da größere Fließgewässer des intensiv genutzten Flachlandes von anthropogenen Veränderungen besonders betroffen waren und sind, ist es erfreulich, dass europaweit sehr seltene Arten noch in einzelnen Gewässerabschnitten Österreichs vorkommen. Als Stellvertreter vieler gefährdeter, aber weitgehend unbekannter Organismen, sei die Steinfliege *Agnentina elegantula* erwähnt, die weltweit nur noch im Gewässersystem Lafnitz/Raab in Österreich und Ungarn vorkommt (Abb. 6 u. 7). Ein einziger negativer Einfluss im Einzugsgebiet kann diese Population jedoch vernichten, was die Wichtigkeit eines Flusseinzugsgebietsmanagements unterstreicht. Derzeit gibt es jedoch keine systematische Überwachung der Bestandsentwicklung dieser und anderer gefährdeter Arten.



Abb. 6: *Agneta elegantula*, das vielleicht seltenste aquatische Insekt Mitteleuropas. – Fig. 6: *Agneta elegantula*, perhaps the rarest aquatic insect in Central Europe.

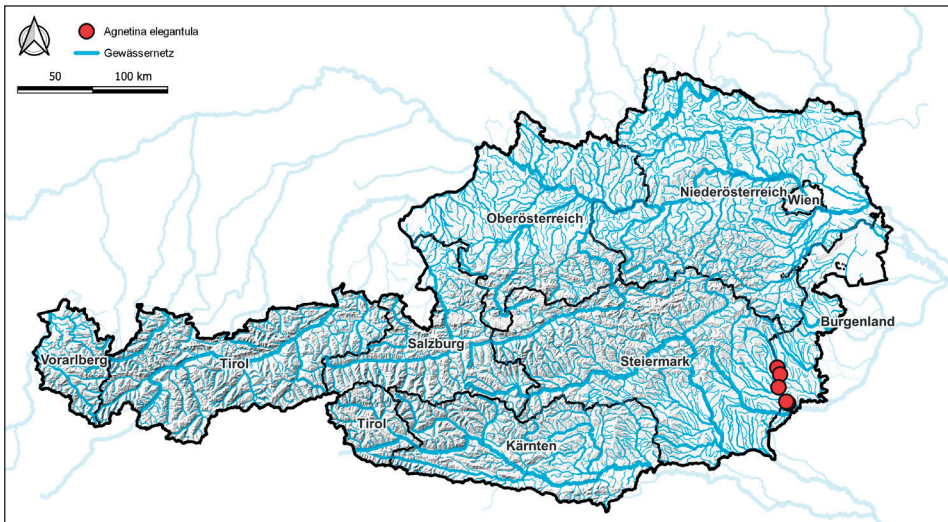


Abb. 7: Vorkommen der Steinfliege *Agneta elegantula* in Österreich. – Fig. 7: Occurrence records of the stonefly *Agneta elegantula* in Austria.

Endemiten sind Tiere oder Pflanzen, die ausschließlich in einem bestimmten geografischen Gebiet vorkommen und nirgends sonst auf der Welt zu finden sind. Aus naturschutzfachlicher Sicht sind gerade die Areale endemischer Arten bedeutsam, da sich spezifische Arten – auch aufgrund des manchmal noch immer geringen Kenntnisstandes über die alpine Fauna – auf einzelne kleine Einzugsgebiete beschränken und geringste Veränderungen den weltweiten Verlust dieser Arten nach sich ziehen können (Rabitsch & Essl 2009). In Österreich sind das Steirische Randgebirge und die Süd-Ostalpen als aquatische Endemiten-Zentren bekannt, die sich weiters am Rand der letzten Vergletscherung am Alpenbogen in südwestlicher Richtung verteilen. Unser Kenntnisstand über das Vorkom-

men der Endemiten, die meist Bewohner von Quellen bzw. Oberläufen sind, ist lückenhaft, da regelmäßige, flächendeckende Aufsammlungen fehlen. Dennoch wurden in den letzten 20 Jahren alleine hinsichtlich der Köcherfliegen 16 Endemiten der Alpen neu für die Wissenschaft beschrieben, was auf weitere unentdeckte Arten hinweist.

Aquatisches Monitoring in Österreich

Gemäß den Vorgaben der EU-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) werden österreichische Gewässer seit mehr als zwei Jahrzehnten intensiv untersucht. Im Rahmen der WRRL erfolgt die Erhebung von Arten aber nicht primär zur Erfassung der Biodiversität, sondern um den ökologischen Zustand der Gewässer zu beurteilen. So werden beispielsweise für das WRRL-Monitoring keine Referenzgewässer (also keine naturbelassenen Gewässer) und keine Oberläufe oder Quellen (<10 km² Einzugsgebiet) untersucht. Damit werden wesentliche, arten- und endemitenreiche Gewässersysteme nicht beprobt. Weiters werden ausschließlich aquatische Stadien, die oftmals nicht auf Artniveau bestimmbar sind, untersucht. Aufgrund der Ziele und des daraus folgenden Untersuchungsdesigns der WRRL, können Ergebnisse dieser Untersuchungen nur bedingt auch für ein Biodiversitätsmonitoring herangezogen werden. Entwicklungen dominanter und relativ toleranter Gruppen sind durch das WRRL-Monitoring gut beobachtbar, kleinräumig verteilte Arten (Endemiten in Quellregionen oder Arten von Mikrohabitaten) werden jedoch großflächig ignoriert.

Aquatische Wirbellose haben – mit Ausnahme fischereiwirtschaftlich relevanter Gruppen wie höhere Krebse – keinen kommerziellen Wert und werden in der Regel – außerhalb rechtlicher Vorgaben – nicht systematisch besammelt. Seltene Ausnahmen sind beispielsweise die invasive Quagga-Muschel (*Dreissena rostriformis*), die durch ihr massenhaftes Auftreten den Stoffhaushalt von aquatischen Systemen massiv verändern kann und zudem hohe finanzielle Schäden durch das Verstopfen von Wasserleitungen verursacht (https://info.bml.gv.at/themen/wasser/wasserqualitaet/fluesse_seen/quaggamuschel.html).

Als Folge davon, sind eindeutige Arealveränderungen für den Großteil der Arten – vor allem aufgrund der fehlenden Daten – bisher nicht erkenn- oder nachvollziehbar. Eine längerfristige und flächendeckende Aufnahme der aquatischen wirbellosen Fauna, die als Basis für die Abschätzung der Bestandsentwicklung dienen könnte, fehlt auf Landes- wie auch Bundesebene.

Da gewisse Arten ein spezielles Monitoring zur Erfassung benötigen (Adultfang am Tag, Emergenzfallen, Lichtfallen etc.) ist für ein umfassendes Biodiversitätsmonitoring taxonomisch geschultes Personal und der Einsatz unterschiedlicher Methoden unerlässlich.

Daher werden gesicherte Artnachweise im Wesentlichen von meist außer-akademischen Liebhabern – sogenannten Laien-Experten – erbracht (deren Arbeit nicht hoch genug geschätzt werden kann) und werden – wenn überhaupt – in z. T. unübersichtlichen Journalen, wie z. B. Vereinsorganen, publiziert. Eine Überführung dieser Daten in eine allgemein zugängliche Plattform erfolgt mit Ausnahme der Zoologisch-Botanischen Datenbank ZOBODAT (<https://www.zobodat.at>) des Biologiezentrum der Oberösterreichischen Landeskultur GmbH nicht; eine Datenanalyse der Entwicklung einzelner Arten wird sporadisch im Zuge der Erstellung von Roten Listen durchgeführt.

Gefährdungsursachen

Die Reaktionen der wirbellosen Wasserfauna hinsichtlich spezifischer Stressoren sind so heterogen wie die Gruppe selbst. Über die Entwicklung von spezifischen aquatischen Habitatbedingungen und damit über das Vorkommen von aquatischen Organismen können österreichweit nur prozesshafte Überlegungen angestellt werden. Anthropogene Stressoren im alpinen Raum unterscheiden sich in ihrer Qualität und Quantität von jenen im intensiver genutzten Flachland und haben daher auch unterschiedliche Auswirkungen auf die Fauna. Während alpine Quellen und Bergbäche zwar von Überweidung, Wasserableitungen, Schwallereignissen und Verbauungen betroffen sind, ist ihre Beeinträchtigung in ihrer Gesamtheit generell noch als gering anzunehmen. Ausnahmen bestehen allerdings in den äußerst sensiblen Bereichen der Randgebirge und Südalpen, in denen besonders gehäuft Endemiten vorkommen, die in keiner Weise durch (inter)nationale Richtlinien geschützt sind und beispielsweise durch Beschneigungsteiche zunehmend gefährdet sind.

Flachländer hingegen weisen generell eine starke landwirtschaftliche Nutzung bei gleichzeitig hohem Besiedlungsdruck auf. Die Folgen sind Gewässerbegradigungen und -verbau, Eutrophierung, Verlust an Ufervegetation und Kleingewässern (z. B. Quellen, Mooren, Tümpeln) sowie das Abschneiden und Trockenfallen von Augewässern und Überschwemmungswiesen.

Zur allgemeinen ökologischen Situation von aquatischen Lebensräumen stellen Paternoster et al. (2021) fest, dass „... nach dem Nationalem Gewässerbewirtschaftungsplan 2009 (BMLFUW 2015) mehr als 50 % der Gewässerbereiche in einer schlechteren ökologischen Zustandsklasse als „gut“ gemäß Wasserrahmen-Richtlinie der EU liegen, im Fall von Auen ergibt sich ein ähnliches Bild. Bei Mooren wiederum wird bei 2.716 Objekten oder bei 94 % der Gesamtfläche ein Restaurationsbedarf angenommen.“ In den meisten Fällen ist der Grund für das Verfehlen des EU-Zielzustandes (der „gute ökologische Zustand“) eine Degradation der hydromorphologischen Ausprägung der Gewässer (v. a. Verbauung, Aufstau etc.). Organische Verschmutzung, in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts noch weit verbreitet, spielt durch den Aufbau eines dichten Kläranlagennetzes heute nur noch eine untergeordnete Rolle.

Das vermehrt massive Auftreten invasiver, gebietsfremder Arten in Verbindung mit dem zunehmend dokumentierten Verlust einheimischer Faunen großer Flüsse wird europaweit beobachtet (z. B. Füreder & Pöckl 2007; Moog et al. 2007; Arbačiauskas et al. 2008; Graf et al. 2008; Panov et al. 2009). Die Donau ist – neben einem nördlichen Korridor über die Wolga zur Ostsee und einem zentralen Weg über den Dnjepr zur Elbe und zum Rhein – die wichtigste südliche Migrationsroute aquatischer ponto-kaspischer Elemente (Bij de Vaate et al. 2002). Die meisten Neozoen in der Donau stammen daher aus dieser Region und gehören zu den Krebstieren (Gattungen *Dikerogammarus*, *Echinogammarus*, *Chelicorophium*), während nur wenige andere wie die Garnele *Atyaephyra desmaresti*, die Wollhandkrabbe *Eriocheir sinensis* und die Mollusken *Corbicula fluminea*, *Sinanadonta woodiana* bzw. *Potamopyrgus antipodarum* aus anderen Regionen stammen (Mittelmeer, Ostasien und Neuseeland; Moog et al. 2007).

In kleineren Fließgewässern können v. a. Blasenschnecken (*Physella* spp.) und die Neuseeländische Zwergdeckelschnecke *Potamopyrgus antipodarum* neben dem Signalkrebs (*Pacifastacus leniusculus*) und dem Marmorkrebs (*Procambarus virginialis*) als aquatische Neozoa dominant auftreten (u. a. Moog et al. 2013). Die verheerenden Auswirkungen der die

Krebspest übertragenden Großkrebse auf einheimische Arten sind weitgehend bekannt. Im Unklaren bleiben allerdings die Auswirkungen von z. T. massenhaft vorkommenden Mollusken wie *Corbicula* spp. (Asiatische Körbchenmuschel), *Dreissena rostriformis* (Quagga-Muschel) oder der Neuseeländischen Zwergdeckelschnecke auf den Stoffhaushalt der Gewässer.

Um die wirtschaftliche Bedeutung der Neobiota neben ihren ökologischen Effekten zu unterstreichen, werden die Gesamtkosten der „invasive alien species“ (IAS) in Europa zwischen 1960 und 2020 mit 140,20 Mrd. US-Dollar (bzw. 116,61 Mrd. Euro) angeführt (Haubrock et al. 2021). Ein systematisches Monitoring von aquatischen Neobiota wird mit wenigen Ausnahmen in Österreich nicht durchgeführt.

Ein weiterer wichtiger Einflussfaktor auf die Verbreitung von aquatischen Organismen ist die Wassertemperatur. Durch die Temperatur hervorgerufene Änderungen sind weitgehend bekannt und langfristige Reaktionen auf Temperaturerhöhungen wurden mittlerweile festgestellt (Domisch et al. 2011; Haase et al. 2019). Auch über die Temperaturpräferenzen von aquatischen Insekten ist einiges bekannt (Haidekker & Hering 2007), Effekte von Veränderungen auf die Biologie von aquatischen Evertebraten bzw. auf Interaktionen zwischen Lebensgemeinschaften sind bislang aber eher das Thema von Prognosemodellen (Hershkovitz et al. 2015; Pletterbauer et al. 2016), die allerdings selten nachevaluiert werden. Ein gezieltes Monitoring von Areal-Veränderungen von Arten findet in Österreich derzeit nicht statt.

Hydrologische Veränderungen, verbunden mit der Klimakatastrophe, können generell starke Auswirkungen auf aquatische Organismen haben. Grundwasserabsenkungen und/oder Wasserableitungen von Quellen (aufgrund von erhöhtem Wasserbedarf durch Dürren) können wichtige Bruthabitate von stenöken und kleinräumig verbreiteten aquatischen Organismen vernichten und die wenigen Populationen weiter reduzieren, was v. a. Endemiten betrifft. Auch derzeit noch permanent wasserführende Gewässer könnten in Zukunft weniger Wasser aufweisen, was eine Veränderung der tierischen Gemeinschaften hin zu an temporäre Gewässer angepasste Zönosen führen würde. Dieses Szenario betrifft vor allem den außer-alpinen Raum Österreichs. Die extrem hohe Versiegelung österreichischer Landschaften führt im Zusammenhang mit dem Klimawandel bei Extremereignissen zu katastrophalen Hochwässern, die auch die aquatische Fauna betreffen und teilweise zu hohen Bestandsverlusten bis hin zur Verödung von Abschnitten führen.

Künstliche Änderungen der Hydrologie, wie sie etwa im Zusammenhang mit Wasserkraftwerken (durch Schwall- und Sunkereignisse) auftreten, wirken sich ebenfalls negativ auf aquatische Lebensgemeinschaften aus (Holzapfel et al. 2017), in dem sie beispielsweise die Individuendichten spezifischer Arten reduzieren (Leitner et al. 2017; Schülting et al. 2016, 2018). In Kombination mit morphologischen Degradationen wie Begradigungen wirken sich diese hydraulischen Schwankungseffekte besonders stark auf bodenlebende Organismen aus. Restwasser-Situationen durch Wasserableitung (v. a. zur Stromproduktion) treten weitverbreitet in Österreich zwischen etwa 200 bis 2000 m Seehöhe auf. Neben dem Verlust der natürlichen Abflusssdynamik und der Verringerung des Lebensraumes stellen vor allem Temperaturveränderungen und Sedimentation von Feinsubstraten eine Herausforderung für die Fauna dar.

Ebenfalls für die Stromproduktion errichtete Stauanlagen in Fließgewässern stellen einen weiteren Gefährdungsfaktor dar. Staudämme haben weitreichende Auswirkungen und

betreffen im Staubereich eine Veränderung der Fließgeschwindigkeit, der Temperatur sowie der Substratverhältnisse und führen damit zu drastischen Faunenveränderungen (Ofenböck et al. 2011). Darüber hinaus werden die Bereiche unterhalb der Dämme durch den Sedimentrückhalt in Stauanlagen langfristig in ihrer Sedimentzusammensetzung und Morphologie verändert, was wiederum zu deutlichen Habitatveränderungen führt.

Eine andere zunehmende Herausforderung sind die Versandung bzw. der Eintrag von Feinsedimenten aus landwirtschaftlichen Flächen, wobei die Substratstruktur von Bächen grundlegend geändert wird. Allerdings wird das Problem aufgrund seiner langsamen Auswirkungen über Generationen selten als solches erkannt. Versandete Gewässer weisen generell eine deutlich herabgesetzte Faundichte und Diversität auf (Leitner et al. 2015; Graf et al. 2016; Hauer et al. 2018). Dazu kommen noch diverse Schadstoffeinträge aus der Landwirtschaft und anderen Quellen, die eine große Unbekannte darstellen (Beketov et al. 2013; Davison et al. 2021; Veseli et al. 2022), da ihre Effekte auf spezifische Arten weitgehend unbekannt sind und/oder ignoriert werden.

Eine natürliche und heterogene Flussmorphologie wird oftmals von Totholzansammlungen mit geprägt, die ein wesentliches Element von Fließgewässern darstellen. Sie tragen

Tab. 1: Ursachenmatrix und Auswirkungen auf abiotische Habitatparameter sowie auf die benthischen Evertebraten in verschiedenen Lebensraumtypen. – Tab. 1: Matrix of causes and effects on abiotic habitat parameters and benthic evertibrates in different habitat types.

Verursacher	Ursache	Wasserqualität	Hydrologie	Konnektivität	Morphologie	Sedimente	Makrovertebraten		
							Oberläufe	Untersläufe	Auen
L/U/I/S	Fluss/Uferregulierungen	grün	gelb	rot	rot	rot	rot	rot	rot
W	Schwall & Sunk	gelb	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot
W	Stauhaltungen	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot
U/I	Boden-Versiegelung	grün	gelb	grün	grün	gelb	rot	rot	gelb
S	Wellenschlag	blau	blau	blau	gelb	rot	blau	rot	blau
L/F	Feinsedimenteintrag	gelb	blau	grün	gelb	rot	rot	rot	gelb
L/W/I/U/T	Wasserentnahmen	gelb	gelb	gelb	grün	rot	gelb	gelb	gelb
L	Viehtritt	rot	rot	gelb	rot	rot	rot	grün	grün
S	Invasive Spezies	gelb	blau	blau	grün	gelb	rot	rot	rot
L/I/U	Verschmutzung – Nährstoffe	gelb	grün	grün	grün	gelb	gelb	gelb	grün
L/I/U	Verschmutzung – Spurenstoffe	braun	blau	blau	blau	braun	rot	rot	braun
K	Temperaturerhöhung	gelb	rot	rot	blau	blau	rot	rot	gelb
K/U/I	hydrologische Extremereignisse	gelb	rot	gelb	gelb	gelb	rot	rot	rot
	Kumulative Effekte	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot

Wasserkraft	W	stark	rot
Urbanisierung	U	mäßig	gelb
Schifffahrt	S	gering	grün
Forstwirtschaft	F	keine	blau
Landwirtschaft	L	teilweise unbekannt	braun
Industrie	I		
Klimawandel	K		
Tourismus	T		

zur Nährstoffretention bei, sind aber auch ein wesentliches Habitat für etliche rare Arten (Dossi et al. 2018, 2020). Durch den gezielten Anbau von wirtschaftlichen Holzarten (Fichtenplantagen) sowie die Heranführung von landwirtschaftlichen Flächen bis an das Ufer der Gewässer, wird die Struktur der natürlicher Ufervegetation und damit auch das Ausmaß und die Qualität des Totholzes im Gewässer maßgeblich verändert, mit all ihren Auswirkungen auf die Faunengemeinschaften.

Ein gänzlich anderes Gefährdungsproblem wird durch Überweidung ausgelöst und betrifft v. a. Quellen und kleine Bäche der Almen, die durch Viehtritt verschlammten und in ihrer Struktur vernichtet werden. Zudem führt der Dung zur übermäßigen Eutrophierung dieser sensiblen Habitate, was zum völligen Verschwinden typischer Quell-Lebensgemeinschaften führen kann.

Nicht zuletzt trägt in den letzten Jahrzehnten das Phänomen der Lichtverschmutzung vermehrt zur Gefährdung von aquatischen Insekten bei. Adulte Stadien gewisser Arten werden von Lichtquellen angezogen und erleiden dadurch Verluste in ihrer Energiebilanz. Dieser Faktor wird vor allem in urbanen Bereichen zum Risiko (u. a. Eisenbeis & Hänel 2009; Jechow & Hölker 2019).

Einzelne der oben genannten Faktoren können sensitive Arten stark beeinträchtigen, zu meist ist es jedoch die Kombination vieler/aller, in den meisten Fällen kumulativ wirkender Stressoren, die ganze Lebensgemeinschaften langfristig und nachhaltig verändert (u. a. Hering et al. 2015; Cardoso et al. 2020a,b).

Conclusio

Fließgewässersysteme sind lineare Lebensräume und stark von den Eigenschaften des Einzugsgebietes geprägt. Lokale Eingriffe beeinträchtigen daher nicht nur eine spezifische Stelle, sondern wirken sich auf weite Strecken der darunterliegenden Flussabschnitte aus (z. B. Graf et al. 2016). Abholzung im Oberlauf beispielsweise kann zu schädlicher Sedimentation von Feinsubstraten in weit entfernten Gewässerabschnitten oder Schadstoffeintrag zum Veröden von ganzen Flussläufen führen. Darüber hinaus führt die großflächige Bodenversiegelung verstärkt zu katastrophalen Hochwasserereignissen, die in Zusammenspiel mit der Klimakatastrophe aquatische Lebensgemeinschaften stark reduzieren können. Daraus ergeben sich prinzipiell höhere anthropogen verursachte Gefährdungen für tierische Bewohner von flussab gelegenen Abschnitten. Aber auch die Fauna (alpiner) Quellen unterliegt anthropogener Gefährdung, wie z. B. durch Überweidung und deren Auswirkungen (Viehtritt, Eutrophierung) sowie in letzter Zeit auch durch Wasserableitungen für Teiche zur Kunstschneeproduktion. Fließgewässer sind immens sensible und dynamische Ökosysteme, die aufgrund ihrer Komplexität nur schwer zu managen sind. Sie beherbergen in ihrem natürlichen Zustand eine vielfältige benthische Lebensgemeinschaft. Die wenigen intakten Fließgewässer Österreichs sollten daher streng geschützt und unter keinen Umständen beeinträchtigt werden, um diese Faundiversität langfristig zu erhalten.

Österreich hat aufgrund seiner heterogenen Landschaft und der Vielzahl an Ökoregionen eine reichhaltige aquatische Fauna, die es zu erhalten gilt. Es besteht die Gefahr, eine schleichende und langsame Ausdünnung von Populationen durch die oben erwähnten Faktoren zu übersehen, da die gegenwärtige Datenlage weder Zustand noch Trends der

Biodiversität widerspiegelt. Gerade für die Prognose der Aussterbewahrscheinlichkeit innerhalb von zeitlichen Dimensionen würde es Informationen wie die artspezifische minimale Populationsgröße, die Bestandes-Entwicklung und den Genpool einer Art brauchen. Solche Daten sind aber nur durch ein systematisches, langfristiges und damit kostenintensives Monitoring zu generieren.

Aus naturschutzfachlicher Sicht stellen Rote Listen ein wirkungsvolles Planungsinstrument im Management von Gewässern dar. Die Basis für die seriöse Erstellung solcher Listen ist jedoch ein solider Kenntnisstand von Verbreitungsdaten, den es in Österreich derzeit nur für vereinzelte aquatische Wirbellose gibt „*Um aktuellen Ansprüchen gerecht zu werden, sind Investitionen erforderlich, insbesondere hinsichtlich der Digitalisierung der Daten. Bestehende Monitoringprogramme decken einen kleinen Teil der Insektenvielfalt ab, standardisierte, langfristig gesicherte Freiland-Erhebungen fehlen jedoch* (Rabitsch et al. 2020)“. Zur Datenverdichtung und um Abschätzungen der Bestandsentwicklung von Organismen unter den vielfältigen und anhaltenden anthropogenen Belastungen der aquatischen Ökosysteme vornehmen zu können, ist daher eine methodisch adäquate, langfristige und flächendeckende faunistische Erfassung der aquatischen Organismen bzw. spezieller Indikatorgruppen, dringend vonnöten. In erster Linie sind dabei Bestände von gefährdeten Arten (z. B. Endemiten), mittlerweile seltenen Arten oder Arten von Flachlandgewässern zu beobachten. Dementsprechend müssten für eine nachhaltige Bestandsdokumentation und zukunftsorientierte Maßnahmensetzung zur Erhaltung der Lebensräume und damit auch der aquatischen Fauna Österreichs folgende Punkte gewährleistet werden:

- Stärkung der taxonomischen und ökologischen Ausbildung
- Integration aquatischer Wirbelloser in bestehende internationale Regelwerke (FFH-Richtlinie) und internationale Gefährdungseinstufungen (IUCN Red Lists)
- Langfristiges, standardisiertes und artspezifisches Monitoring von (ausgesuchten) Arten hinsichtlich Bestandes- und Arealentwicklung
- Hydromorphologische Verbesserungsmaßnahmen (Renaturierungen)
- Stressor-spezifische Wirkungsanalysen (v. a. hinsichtlich Spurenstoffe)
- Geeignetes Datenmanagement und geeignete Dateninfrastruktur
- Gemeinsame Strategie und politisches Bekenntnis in Bezug auf Umsetzung und Finanzierung

Gleichzeitig verweisen wir auf den umfassenden Maßnahmenkatalog von Schiemer et al. (2022).

Literatur

- Arbačiauskas K, Semenchenk V, Grabowski M, Leuven R, Paunović M, Son M O, Csányi B, Gumuliauskaitė S, Konopacka A, Nehring S, van der Velde G, Vezhnovetz V, Panov VE (2008) Assessment of biocontamination of benthic macroinvertebrate communities in European inland waterways. *Aquatic Invasions* 3(2), 211–230
- Beketov M A, Kefford B J, Schäfer R B, Liess M (2013) Pesticides reduce regional biodiversity of stream invertebrates. *PNAS* 110(27), 11039–11043
- Bij de Vaate A, Jazdezewski K, Ketelaars H A M, Gollach S & Van der Velde G (2002) Geographical patterns in range extension of Ponto-Caspian macroinvertebrate species in Europe. *Can J Fish Aquat Sci* 59, 1159–1174

- Brauer F & Löw F (1857) *Neuroptera austriaca*. Die im Erzherzogthum Österreich bis jetzt gefundenen Neuropteren nach der analytischen Methode zusammengestellt, nebst einer kurzen Charakteristik aller europäischen Neuropteren-Gattungen. Carl Gerold's Sohn, Wien, 74 pp
- Cardoso A C, Couture R M, Cremona F, de Zwart D, Feld C K, Ferreira M T, Feuchtmayr H, Gessner M O, Gieswein A, Globevnik L, Graeber D, Graf W, Gutiérrez-Cánovas C, Hanganu J, Işkın U, Järvinen M, Jeppesen E, Kotamäki N, Kuijper M, Lemm J U, Lu S, Solheim A L, Mischke U, Moe S J, Nöges P, Nöges T, Ormerod S J, Panagopoulos Y, Phillips G, Posthuma L, Pouso S, Prudhomme C, Rankinen K, Rasmussen J J, Richardson J, Sagouis A, Santos J M, Schäfer R B, Schinegger R, Schmutz S, Schneider S C, Schülting L, Segurado P, Stefanidis K, Sures B, Thackeray S J, Turunen J, Uyarra, M C. Venohr M. von der Ohe P C, Willby N, Hering D (2020a) Impacts of multiple stressors on freshwater biota across spatial scales and ecosystems. *Nat Ecol Evol* 4 1060–1068 (DOI: <https://doi.org/10.1038/s41559-020-1216-4>)
- Cardoso P, Barton P S, Birkhofer K, Chichorro F, Deacon C, Fartmann T, Fukushima C S, Gaigher R, Habel J C, Hallmann C A, Hill M J, Hochkirch A, Kwak M L, Mammola S, Noriega J A, Orfinger A B, Pedraza F, Pryke J S, Roque F O, Settele J, Simaika J P, Stork N E, Suhling F, Vorster C, Samways M J (2020b) Scientists' warning to humanity on insect extinctions. *Biological Conservation* 242, 108426
- Davison H, Macadam C R, Smith D (2021). Pharmaceuticals in freshwater environments and their potential effects on freshwater invertebrates. <https://cdn.buglife.org.uk/2021/09/Pharmaceuticals-in-freshwater-environments-and-their-potential-effects-on-freshwater-invertebrates-September-2021.pdf>
- Didham R K, Basset Y, Collins C M, Leather S R, Littlewood N A, Menz M H M, Müller J, Packer L, Saunders M E, Schönrogge K, Stewart Aja, Yanoviak S P, Hassall C (2020) Interpreting insect declines seven challenges and a way forward *Insect Conservation and Diversity* 13, 103–114
- Domisch S, Jähniß S C & Haase P (2011) Climate-change winners and losers stream macroinvertebrates of a submontane region in Central Europe *Freshwater Biology* 56, 2009–2020 (DOI: <https://doi.org/10.1111/j1365-2427201102631x>)
- Dossi F, Leitner P, Pauls S U, Graf W (2018) In the mood for wood -habitat specific colonization patterns of benthic invertebrate communities along the longitudinal gradient of an Austrian river *Hydrobiologia* 805, 245–258
- Dossi, F, Leitner, P, Graf W (2020) Age matters substrate-specific colonization patterns of benthic invertebrates on installed large wood *Aquatic Ecology* 54, 741–760
- Dudgeon D, Arthington A H, Gessner M O, Kawabata Z-I, Knowler D J, Lévêque C, Naiman R J, Prieur-Richard A-H, Soto D, Stiassny M L J, Sullivan C A (2006) Freshwater biodiversity: importance, threats, status and conservation challenges. *Biological Reviews* 81, 163–182 (DOI: <https://doi.org/10.1017/S1464793105006950>)
- Eder E & Hödl W (2002) Large freshwater branchiopods in Austria diversity, threats and conservational status In Escobar-Briones E, Alvarez F (eds) *Modern approaches to the study of Crustacea*. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 281–289
- Eisenbeis G, Hänel A (2009) Light pollution and the impact of artificial night lighting on insects. In: McDonnell MJ, Hahs AK, Breuste JH, eds. *Ecology of Cities and Towns: A Comparative Approach*. Cambridge University Press, 243–263
- Füreder L & Pöckl M (2007) Ecological traits of aquatic NIS invading Austrian freshwaters. In Gjirardi F (ed.) *Biological invaders in inland waters Profiles, distribution, and threats*. 233–259
- Gepp J (2005) Rote Liste der Neuropterida (Netzflügler) Österreichs. In Zulka K P (Red.) *Rote Listen gefährdeter Tiere Österreichs Checklisten, Gefährdungsanalysen, Handlungsbedarf Teil 1 Säugtiere, Vögel, Heuschrecken, Wasserkäfer, Netzflügler, Schnabelfliegen, Tagfalter Grüne Reihe des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (Gesamtherausgeberin Ruth Wallner) Band 14/1 Wien, Böhlau, 285–312*

- Graf W, Csányi B, Leitner P, Paunovic M, Chiriac G, Stubauer I, Ofenböck T, Wagner F (2008) Macroinvertebrates. In Liška, I, Wagner, F, Slobodník, J (eds.) Joint Danube Survey Final Scientific Report ICPDR, Wien, 41–53
- Graf W, Leitner P, Hanetseder I, Ittner L D, Dossi F & Hauer C (2016) Ecological degradation of a meandering river by local channelization effects. A case study in an Austrian lowland river. *Hydrobiologia*, 772(1), 145–160
- Graf W, Moritz, C, Schmidt-Kloiber A, Hartmann A, Dossi F, Leitner P (2019) Makrozoobenthos. Vielfalt von der Quelle bis zur Mündung- Alles beginnt in den Alpen. In: Muhar S, Muhar A, Egger G & Siegrist D (eds.) Flüsse der Alpen - Vielfalt in Natur und Kultur: 150–162, Haupt Verlag. (ISBN: 978-3-258-08114-4)
- Harvey J A, Heinen R, Gols R, Thakur M P (2020) Climate change-mediated temperature extremes and insects: From outbreaks to breakdowns. *Global Change Biology* 26, 6685–6701 (Doi: <https://doi.org/10.1111/gcb.15377>)
- Haase P, Bowler D E, Baker N J, Bonada N, Domisch S, Garcia Marquez J R, Welti E A. (2023) The recovery of European freshwater biodiversity has come to a halt. *Nature*, 620(7974), 582–588 (DOI: <https://doi.org/10.1038/s41586-023-06400-1>)
- Haase P, Pilotto F, Li F, Sundermann A, Lorenz A W, Tonkin J D & Stoll S (2019) Moderate warming over the past 25 years has already reorganized stream invertebrate communities. *Science of the Total Environment* 658, 1531–1538 (DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.234>)
- Hallmann C A, Sorg M, Jongejans E, Siepel H, Hoffland N, Schwan H, Stenmans W, Müller A, Sumser H, Hörren T, Goulson D, de Kroon H (2017) More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas *PLoS ONE* 12(10) e0185809 (DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0185809>)
- Haubrock P J, Turbelin A J, Cuthbert R N, Novoa A, Taylor N G, Angulo E, Ballesteros-Mejia L, Bodey T W, Capinha C, Diagne C, Essl F, Golivets M, Kirichenko N, Kourantidou M, Leroy B, Renault D, Verbrugge L, Courchamp F (2021) Economic costs of invasive alien species across Europe In Zenni RD, McDermott S, García-Berthou E, Essl F (Eds) The economic costs of biological invasions around the world *NeoBiota* 67, 153–190 (DOI: <https://doi.org/10.1038/758196>)
- Hauer C, Leitner P, Unfer G, Pulg U, Habersack H, Graf W (2018) The Role of Sediment and Sediment Dynamics in the Aquatic Environment In: Schmutz, S & Sendzimir J (eds) *Riverine Ecosystem Management - Science for Governing Towards a Sustainable Future* 8, 151–169, Springer, Cham, Switzerland (ISBN 978-3-319-73250-3)
- Hering D, Carvalho L, Argillier C, Beklioglu M, Borja A, Cardoso A C, Duel H, Ferreira T, Globevnik L, Hanganu J, Hellsten S, Jeppesen E, Kodeš V, Solheim AI, Nôges T, Ormerod S, Panagopoulos Y, Schmutz S, Venohr M, Birk S (2015) Managing aquatic ecosystems and water resources under multiple stress - An introduction to the MARS project. *Science of the Total Environment*, 503–504, 10–21 (DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.06.106>)
- Hershkovitz Y, Dahm V, Lorenz A W, Hering D (2015) A multi-trait approach for the identification and protection of European freshwater species that are potentially vulnerable to the impacts of climate change. *Ecological Indicators* 50, 150–160
- Holzappel P, Leitner P, Habersack H, Graf W, Hauer C (2017) Evaluation of hydropeaking impacts on the food web in alpine streams based on modelling of fish- and macroinvertebrate habitats. *Science of the Total Environment* 575, 1489–1502
- Jäch M A, Dietrich F, Raunig B (2005) Rote Liste der Zwergwasserkäfer (Hydraenidae) und Krallenkäfer (Elmidae) Österreichs. (Insecta Coleoptera) In Zulka, K P (Red) *Rote Listen gefährdeter Tiere Österreichs Checklisten, Gefährdungsanalysen, Handlungsbedarf Teil 1 Säugetiere, Vögel, Heuschrecken, Wasserkäfer, Netzflügler, Schnabelfliegen, Tagfalter Grüne Reihe des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft* 14(1) Wien, Böhlau 211–284

- Jähnig S C, Baranov V, Altermatt F, Cranston P, Friedrichs-Manthey M, Geist J, He F, Heino J, Hering D, Hölker F, Jourdan J, Kalinkat G, Kiesel J, Leese F, Maasri A, Monaghan M T, Schäfer R B, Tockner K, Tonkin J D, Domisch S (2021) Revisiting global trends in freshwater insect biodiversity WIREs Water 8:e1506
- Jechow A, Hölker F (2019) How dark is a river? Artificial light at night in aquatic systems and the need for comprehensive night-time light measurements. WIREs Water 6:e1388
- Leitner P, Hauer C, Graf W (2017) Habitat use and tolerance levels of macroinvertebrates concerning hydraulic stress in hydropeaking rivers - A case study at the Ziller River in Austria. Science of The Total Environment 575, 112-118 (DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.10.011>)
- Leitner P, Hauer C, Ofenböck T, Pletterbauer F, Schmidt-Kloiber A, Graf, W (2015) Fine sediment deposition affects biodiversity and density of benthic macroinvertebrates a case study in the freshwater pearl mussel river Waldaist (Upper Austria). Limnologica, 50, 54-57
- Malicky H (2009) Rote Liste der Köcherfliegen Österreichs (Insecta, Trichoptera). In Zulka, K P (Red) Rote Liste gefährdeter Tiere Österreichs Checklisten, Gefährdungsanalysen, Handlungsbedarf Teil 3 Flusskrebse, Köcherfliegen, Skorpione, Weberknechte, Zikaden Grüne Reihe des Lebensministeriums (Gesamtherausgeberin Ruth Wallner) Band 14(3) Wien, Böhlau 319-358
- Moog O, Hartmann A (Eds.) (2017) Fauna Aquatica Austriaca, 3 Lieferung 2017 BMLFUW, Wien
- Moog O, Graf W, Ofenböck T (2007) Benthic invertebrate neozoa in Austrian rivers. In: Rabitsch, W F Essl & Klingenstein F (eds) Biological Invasions – from Ecology to Conservation. NEOBIOTA 7, 132-139
- Moog O, Leitner P, Huber T (2013) Aquatische Neobiota in Österreich – Aquatische Wirbellose Neozoa Bundesministerium für Land- u. Forstwirtschaft, Umwelt u. Wasserwirtschaft, 54-90
- Ofenböck T, Graf W, Hartmann A, Huber T, Leitner P, Stubauer I & Moog O (2011) Abschätzung des ökologischen Zustandes von Stauen auf Basis von Milieufaktoren. Lebensministerium, Wien, 1-100
- Panov V E, Alexandrov B, Arbačiauskas K, Binimelis R, Copp G H, Grabowski, M, Lucy F, Leuven R S E W, Nehring S, Paunović M, Semenchenko V, Son M O (2009) Assessing the risks of aquatic species invasions via European inland waterways from concepts to environmental indicators. Integrated Environmental Assessment and Management 5, 110-126
- Paternoster D, Danzinger F, Koukal T, Kudrnovsky H, Lackner S, Berger A, Schadauer K, Wrbka T, Stejskal-Tiefenbach M, Ellmauer T (2021) Strategischer Rahmen für eine Priorisierung zur Wiederherstellung von Ökosystemen auf nationalem und subnationalem Niveau. Endbericht, Umweltbundesamt Wien, Reports, Band 0741, 147p. ISBN 978-3-99004-561-9. https://www.umweltbundesamt.at/studien-reports/publikationsdetail?pub_id=2370&cHash=4babebf3d5c56f46ecdeac55d9ea4bc6
- Petutschnig J (2009) Rote Liste der Flusskrebse (Decapoda) Österreichs. In Zulka K P (Red.) Rote Liste gefährdeter Tiere Österreichs Checklisten, Gefährdungsanalysen, Handlungsbedarf Teil 3 Flusskrebse, Köcherfliegen, Skorpione, Weberknechte, Zikaden. Grüne Reihe des Lebensministeriums (Gesamtherausgeberin Ruth Wallner) 14(3) Wien, Böhlau, 25-40
- Pletterbauer F, Graf W, Schmutz S (2016) Effect of biotic dependencies in species distribution models: The future distribution of *Thymallus thymallus* under consideration of *Allogamus auricollis*. Ecological Modelling 327, 95-104
- Raab R, Chovanec A, Pennerstorfer J (2006) Libellen Österreichs. Springer, Umweltbundesamt, Wien 343 pp

- Rabitsch W, Essl F (2009) Endemiten – Kostbarkeiten in Österreichs Pflanzen- und Tierwelt Klagenfurt & Wien; Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten & Umweltbundesamt, 924 pp
- Rabitsch W, Zulka K P, Götzl M (2020) Insekten in Österreich. Artenzahlen, Status, Trends, Bedeutung und Gefährdung. Umweltbundesamt Bundesministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie, 118 pp
- Reischütz A, Reischütz P L (2007) Rote Liste der Weichtiere (Mollusca) Österreichs. In Zulka K P (Red.) Rote Liste gefährdeter Tiere Österreichs Checklisten, Gefährdungsanalysen, Handlungsbedarf Teil 2 Kriechtiere, Lurche, Fische, Nachtfalter, Weichtiere Grüne Reihe des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (Gesamtherausgeberin Ruth Wallner) 14(2) 363–433, Wien, Böhlau
- Sánchez-Bayo F, Wyckhuys K A G (2019) Worldwide decline of the entomofauna A review of its drivers *Biological Conservation*, 232, 8–27 (DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.01.020>)
- Schiemer F, Aubrecht G, Essl F, Gusenleitner F, Haring E, Herzig A, Kiehn M, Komposch C, Lindner R, Pöllinger U, Sauberer N, Scherzinger W, Schlick-Steiner B, Schön B, Schröck C, Steiner F, Sturmbauer C, Tribsch A, Winkler H, Zulka K P (2022) Dringende Erfordernisse zur Erhaltung und Förderung der österreichischen Biodiversität. Eine Stellungnahme von Naturschutzexperten. *Acta ZooBot Austria* 158, 1–12
- Schülting L, Feld K, Graf W (2016) Effects of hydro- and thermopeakings on benthic macroinvertebrate drift. *Science of the Total Environment* 573, 1472–1480
- Schülting L, Feld K, Zeiringer B, Hudek H & Graf W (2018) Macroinvertebrate drift response to hydropeaking. An experimental approach to assess the effect of varying ramping velocities. *Écohydrology* (DOI: <https://doi.org/10.1002/eco.2032>)
- Van Klink R, Bowler D E, Gongalsky K B, Swengel A B, Gentile A, Chase J M (2020) Meta-analysis reveals declines in terrestrial but increases in freshwater insect abundances. *Science* 24, 368, 417–420 (DOI: 10.1126/science.aax9931)
- Veseli M, Rožman M, Vilenica M, Petrović M, Previšić A (2022). Bioaccumulation and bioamplification of pharmaceuticals and endocrine disruptors in aquatic insects. *Science of the total Environment* 838(2), 156208 (DOI:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156208>)

Eingelangt: 2023 12 15

Anschriften:

Wolfram Graf, E-Mail: wolfram.graf@boku.ac.at, ORCID: 0000-0001-6559-0644
(korrespondierender Autor)

Patrick Leitner, E-Mail: patrick.leitner@boku.ac.at, ORCID: 0000-0001-8122-4265

Astrid Schmidt-Kloiber, E-Mail: astrid.schmidt-kloiber@boku.ac.at,
ORCID:0000-0001-8839-5913

Department Wasser – Atmosphäre – Umwelt, Institut für Hydrobiologie und
Gewässermanagement, Universität für Bodenkultur Wien, Gregor-Mendel-Straße 33,
A-1180 Wien.

