

Veränderungen der Wasserinsektenfauna (Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera) in einem Zürcher Bach zwischen 1987 und 2018

VERENA LUBINI

Eichhalde 14, CH-8053 Zürich; lubini@sunrise.ch

Abstract: Changes in the aquatic insect fauna (Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera) in a stream in the city of Zurich between 1987 and 2018. – A stream that was surveyed in 1987/88 was surveyed again in 2017/18 to determine if the faunistic composition had changed after 30 years. The focus was on Ephemeroptera, Plecoptera and Trichoptera. The total number of species was relatively stable (1987-88: 32, 2017/18: 30) but the species composition changed. Five out of 11 cold-water stenothermic species, mostly Plecoptera, disappeared. The number of eurythermic species, on the other hand, increased from 13 to 17. The number of species of Trichoptera remained relatively stable. The observed changes may be associated with climate change. The temperature of Swiss streams has increased continually and in all seasons over the past 50 years.

Zusammenfassung: Um einen allfälligen Wandel in der Zusammensetzung der aquatischen Lebensgemeinschaften nach 30 Jahren zu erfassen, wurde einer der auf Zürcher Stadtgebiet 1987/88 inventarisierten Bäche 2017/18 erneut untersucht, wobei der Fokus auf den Eintags-, Stein- und Köcherfliegen lag. Obwohl die Artenzahlen der beiden Untersuchungsperioden fast gleich geblieben sind (1987/88: 32, 2017/18: 30), hat sich die Zusammensetzung der Lebensgemeinschaft verändert: Fünf von 11 kaltstenothermen Arten, überwiegend Steinfliegen, sind 2017/18 nicht mehr nachgewiesen worden, während die eurythermen Arten von 13 auf 17 zugenommen haben. Die Köcherfliegenfauna blieb dagegen nahezu unverändert. Die beobachteten Veränderungen der Biozönose dürften ein Hinweis auf den Klimawandel sein. Die Wassertemperatur in den Schweizer Fließgewässern hat in den letzten 50 Jahren in allen Jahreszeiten stetig zugenommen.

Résumé: Modification de la faune d'insectes aquatiques (Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera) dans un cours d'eau à Zurich entre 1987 et 2018. – Afin de vérifier si la composition de la faune a changé après 30 ans, un cours d'eau inventorié dans les années 1987/88 été à nouveau étudié en 2017/18 en se focalisant sur les éphémères, plécoptères et trichoptères. Le nombre total d'espèces est resté quasiment stable (1987/88: 32, 2017/18: 30), mais la composition faunistique a changé: 5 espèces sténothermes d'eaux froides sur 11, surtout des plécoptères, ont disparu. Au contraire, les espèces eurythermes (sans préférence de température) ont augmenté de 13 à 17. La faune des trichoptères est restée assez stable. Les changements observés sont à mettre en lien avec le changement climatique. La température dans les cours d'eaux Suisse a augmenté continuellement et en toutes saisons durant les 50 dernières années.

Keywords: Mayflies, stoneflies, caddisflies, climate change, Zurich, Switzerland

EINLEITUNG

Anlässlich des Stadtzürcher Bachinventars (1986–1988) wurden total 84 Bäche mit einer Gesamtlänge von rund 70 km hydrobiologisch erfasst. Für 10 dieser Bäche wurde

1987/88 auch die Flora und Fauna erhoben (Lubini, 1989). Es zeigte sich damals, dass die besonders strukturreichen Waldbäche mit regelmässiger Wasserführung die höchste Artenvielfalt enthielten. Um einen allfälligen Wandel in der Zusammensetzung der benthischen Lebensgemeinschaft nachzuweisen, wurde einer dieser Bäche, der Stöckentobelbach, nach 30 Jahren erneut untersucht, wobei der Fokus auf den Eintagsfliegen, den Steinfliegen und den Köcherfliegen lag, im folgenden EPT genannt.

MATERIAL UND METHODEN

Der Stöckentobelbach ist ein Zufluss des grösseren Wehrenbachs, der auf Stadtgebiet in den Zürichsee entwässert (Abb. 1). Sein Gerinne ist nach wie vor naturnah (Abb. 2). Sein Einzugsgebiet von rund 3 km² liegt zu 57 % im Wald, zu 26 % im Siedlungsraum und zu 17 % in landwirtschaftlich genutzten Flächen. Der Abfluss beträgt im Jahresmittel 49 l/s (www.hw.zh.ch/chemie/fg497_L.pdf). Auf der untersuchten Strecke, die ca. 1 km lang ist und zwischen 500 und 550 m ü. M. liegt, mündet am oberen Ende eine Hochwasserentlastung der Kanalisation (Abb. 1).

Der Bach wurde das erste Mal 1987/88 auf einer Strecke von ca. 1 km zwischen 500 und 550 m ü. M. mehrmals jährlich von Januar bis November mit Kicksampling beprobt (BAFU 2019). Berücksichtigt wurden dabei alle vorkommenden Substrate (Kies, Steine, Totholz, Moos) an langsam (Uferzonen) bis rasch (Schnellen) fließenden Stellen. Um möglichst das ganze Artenspektrum zu erfassen, wurde nach Larven der EPT in reifen, bestimmaren Stadien gesucht, mit Luftkescher und Klopfschirm die Ufervegetation nach Adulten abgesucht und im Sommer/Herbst wurden Lichtfänge durchgeführt. Letztere, um die larval schwierig bestimmaren Köcherfliegenlarven mit Imaginalfängen zu bestätigen. Es wurde nur die Präsenz von Arten festgehalten,

ohne Abundanzen zu ermitteln.

Die Suche wurde 2017/18 mit ähnlichem Aufwand und ähnlichen Methoden in der gleichen Strecke wiederholt. Die in 85 % Ethanol konservierten Tiere wurden im Labor bestimmt. Die Belege sämtlicher Arten aus beiden Untersuchungsperioden wurden dem Musée cantonal de zoologie in Lausanne übergeben oder blieben in der Sammlung der

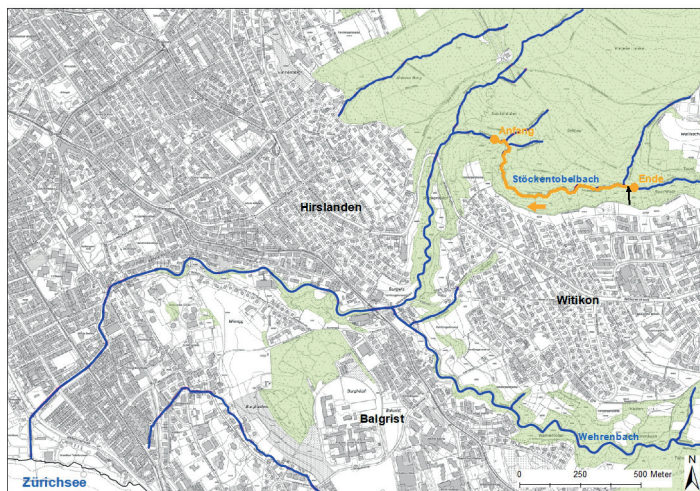


Abb. 1: Lage des Stöckentobelbachs auf dem Gebiet der Stadt Zürich. Farblich markiert ist die Untersuchungsstrecke. Der orange Pfeil bezeichnet die Abflussrichtung. Die Lage der Hochwasserentlastung aus dem Siedlungsgebiet ist mit einem schwarzen Pfeil gekennzeichnet.



Abb. 2: Der mehrheitlich bestockte Stöckentobelbach auf dem Gemeindegebiet der Stadt Zürich.
(Foto V. Lubini 6.2.2021)

Autorin. Die Daten befinden sich in der nationalen Datenbank von info fauna – CSCF (Neuchâtel).

ERGEBNISSE UND DISKUSSION

In beiden Untersuchungsperioden sind insgesamt 38 Arten aus der Gruppe der EPT nachgewiesen worden (Tab. 1). Die Unterschiede bezüglich der Artenzahlen waren minim: 1987/88 waren es total 32, 2017/18 waren es total 30. (Tab. 1). Mit fünf Arten verzeichneten die Eintagsfliegen den grössten Zuwachs an neuen Arten, während die Steinfliegenfauna um mehr als ein Drittel von 14 auf 9 Arten schrumpfte. Die Köcherfliegen hingegen blieben recht stabil, nur *Hydropsyche tenuis* Navas, 1932 und *Rhyacophila vulgaris* Pictet, 1834 waren 2017/18 nicht mehr nachzuweisen (Abb. 3).

Auch nach 30 Jahren wurden 63% der 1987/88 nachgewiesenen Arten wiedergefunden. Nach Smukalla & Friedrich (1994) entspricht dies einer geringen Ähnlichkeit in der Zusammensetzung der Zönosen beider Untersuchungsperioden.

Da sich bei Gewässerstruktur und Wasserqualität in diesem Zeitraum keine deutlichen Veränderungen nachweisen lassen, dürfte die beobachtete Veränderung im Artenspektrum zumindest zum Teil eine Folge des Klimawandels und den damit verbundenen höheren Wassertemperaturen sein. Gesamtschweizerische Messungen zeigen, dass die Wassertemperaturen in den letzten 50 Jahren in allen vier Jahreszeiten angestiegen sind (Michel et al. 2019). Der durchschnittliche Trend betrug in den letzten

Tab. 1: Artenliste der Eintagsfliegen, Steinfliegen und Köcherfliegen im Stöckentobelbach 1987/88 und 2017/18, ergänzt durch Arten, die Friedrich Ris zwischen 1886 bis 1914 gesammelt hatte und die sich heute in der Entomologischen Sammlung der ETHZ befinden. Zusätzliche Spalten enthalten Angaben zur Temperaturpräferenz: **cos** (kaltstenotherm) und **eut** (eurytherm) sowie zum Verletzlichkeitsindex CCVS gegenüber dem Klimawandel gemäss www.freshwaterecology.info: **0** (nicht verletzlich); **6** (sehr stark verletzlich).

Taxa	temperature range preference	CCVS	1987/88	2017/18	Sammlung ETHZ
EPHEMEROPTERA					
<i>Alainites muticus</i> (Linnaeus 1758)	eut	0	–	+	
<i>Baetis alpinus</i> (Pictet 1843)	cos	1	–	+	
<i>Baetis lutheri</i> Müller-Liebenau 1967	eut	0	–	+	
<i>Baetis rhodani</i> (Pictet 1843)	eut	0	+	+	
<i>Centroptilum luteolum</i> Müller, 1776)	eut	0	–	+	
<i>Ecdyonurus helveticus</i> (Eaton 1885)	eut	0	+	+	
<i>Ecdyonurus venosus</i> (Fabricius 1775)	eut	0	+	+	
<i>Ephemera danica</i> Müller 1764	eut	1	–	+	
<i>Habroleptoides confusa</i> Sartori & Jacob 1986	eut	1	+	+	
<i>Habrophelbia lauta</i> Eaton 1884	eut	1	+	+	
<i>Rhithrogena picteti</i> Sowa 1971	eut	1	+	–	
<i>Serratella ignita</i> (Poda 1761)	eut	1	–	+	
Total Ephemeroptera: 12			6	11	
PLECOPTERA					
<i>Brachyptera risi</i> (Morton 1896)	eut	1	+	+	+
<i>Isoperla grammatica</i> (Poda 1761)	eut	1	+	+	+
<i>Nemoura marginata</i> Pictet 1836	cos	2	+	+	+
<i>Protonemura intricata</i> (Ris 1902)	eut	1	+	+	+
<i>Protonemura nitida</i> (Pictet 1835)	eut	0	+	+	
<i>Protonemura risi</i> (Jacobson & Bianchi 1905)	cos	2	+	–	
<i>Protonemura praecox</i> (Morton 1894)	cos	3	+	–	+
<i>Leuctra albida</i> Kempny 1899	cos	2	+	+	+
<i>Leuctra cingulata</i> Kempny 1899	cos	2	+	–	
<i>Leuctra handlirschi</i> Kempny 1898	cos	3	+	+	
<i>Leuctra hippopus</i> Kempny 1899	eut	1	+	+	+
<i>Leuctra leptogaster</i> Aubert 1949	eut	2	+	+	
<i>Leuctra pseudosignifera</i> Aubert 1954	cos	2	+	–	
<i>Leuctra prima</i> Kempny 1899	cos	3	+	–	
<i>Siphonoperla torrentium</i> (Pictet 1841)	cos	2			+
Total Plecoptera 14 (ohne ETHZ)			14	9	
TRICHOPTERA					
<i>Rhyacophila dorsalis</i> (Curtis 1834)	eut	1	+	+	
<i>Rhyacophila hirticornis</i> McLachlan 1879	cos	2			+
<i>Rhyacophila pubescens</i> Pictet 1834	cos	2	+	+	+
<i>Rhyacophila tristis</i> Pictet 1834	cos	2			+
<i>Rhyacophila vulgaris</i> Pictet 1834			+	–	+
<i>Hydropsyche instabilis</i> (Curtis 1834)		1	+	+	
<i>Hydropsyche tenuis</i> Navas 1932	cos	1	+	–	
<i>Philopotamus variegatus</i> (Scopoli 1763)			+	+	
<i>Plectrocnemia conspersa</i> (Curtis 1834)		1	+	+	+
<i>Tinodes unicolor</i> (Pictet 1834)	cos	2	+	+	+
<i>Melamophylax melampus</i> (McLachlan 1876)		1	+	+	
<i>Potamophylax cingulatus</i> (Stephens 1837)		1	+	+	
<i>Sericostoma</i> sp.		1	+	+	
<i>Odontocerum albicorne</i> (Scopoli 1763)		1	+	+	
Total Trichoptera: 12 (ohne ETHZ)			12	10	14
Total Arten: 38 (ohne ETHZ)			32	30	

20 Jahren $+0.37^{\circ}\text{C}$ pro Dekade, parallel zum Trend bei den Lufttemperaturen ($+0.39^{\circ}\text{C}$ pro Dekade). In Zürich verzeichnete die Messstation von Meteo Schweiz zwischen 1990 und 2020 eine Zunahme der Lufttemperaturen je nach Jahreszeit von 0.31°C bis 0.54°C pro Dekade. Aufgrund der positiven Korrelation zwischen Luft- und Wassertemperaturen (Michel et al. 2019) ist anzunehmen, dass die Wassertemperaturen auch im Stöckentobelbach in den letzten Jahrzehnten angestiegen sind.

Weil die Wassertemperatur die physiologischen Prozesse beeinflusst (Brittain 2008), reagieren die aquatischen Stadien der Wasserinsekten auf eine Erhöhung der Wassertemperatur durch den Klimawandel mit Veränderungen in der Verbreitung und Abundanz sowie der Phänologie (Baranov et al. 2020; Pletterbauer et al. 2018). Dies führt zu anders zusammengesetzten Lebensgemeinschaften mit Folgen für die biologischen Interaktionen in aquatischen Ökosystemen (Walther 2010; Yang & Rudolf 2010). Univoltine und eurytherme Arten, d.h. Arten, die bezüglich Wassertemperatur eine grosse Bandbreite tolerieren, sind dabei im Vorteil. Um die potenzielle Verletzlichkeit aquatischer Arten gegenüber dem Klimawandel besser abschätzen zu können, entwickelten Hershkovitz et al. (2015) den Index CCVS (climate change vulnerability score), der von 0 (nicht verletzlich) bis 6 (sehr stark verletzlich) reicht. Am verletzlichsten sind die Steinfliegen, gefolgt von den Köcherfliegen und den Eintagsfliegen (Conti et al. 2014). Steinfliegen werden deshalb bezüglich des Klimawandels als potenzielle Verlierer bezeichnet (Besacier Monbertrand et al. 2019). Mit geschätzten 4.3% hat die Schweiz im europäischen Vergleich einen hohen Anteil verletzlicher EPT-Arten an

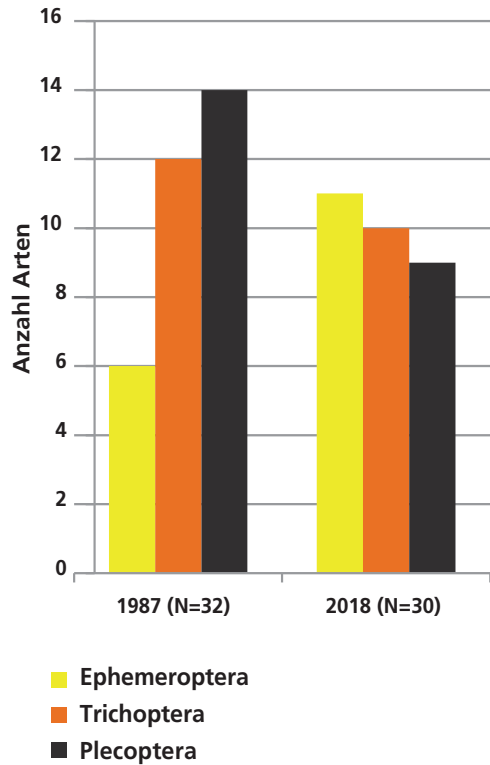


Abb. 3: Artenzahlen der Eintagsfliegen, Steinfliegen und Köcherfliegen 1987/88 und 2017/18.

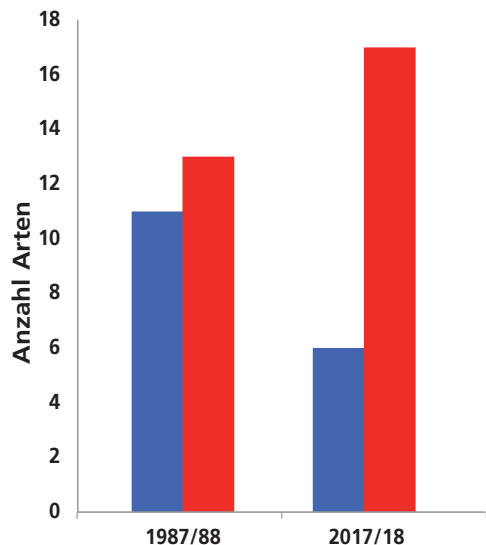


Abb. 4: Anzahl kaltstenothermer (blau) und eurythermer (rot) Arten der Eintagsfliegen, Steinfliegen und Köcherfliegen 1987/88 und 2017/18.

der Gesamtbiozönose (HersHKovitz et al. 2015). Besonders verletzlich gegenüber dem Klimawandel sind ausserdem die kühleren Oberläufe, kleine Bäche (Durance & Ormerod 2007, Haidekker & Hering 2008) und Quellen (Hering et al. 2009).

Im Stöckentobelbach dominieren aufgrund seiner geografischen Lage im Mittelland eurytherme Arten, die vom bisherigen Wassertemperaturanstieg nicht, resp. kaum betroffen sind (Tab. 1). Von total 30 indizierten Arten waren es mit 18 Arten zwei Drittel, meist Eintagsfliegen. Zwölf Arten gehören in die Kategorie der kaltstenothermen Arten mit einer Präferenz für Wassertemperaturen $<10^{\circ}\text{C}$. Drei der Steinfliegen in dieser Kategorie haben einen mässig hohen Verletzlichkeitsindex (CCVS=3).

Der Vergleich der EPT-Fauna im Stöckentobelbach von 1987/88 mit jener von 2017/18 zeigt, dass sich das Verhältnis zwischen den kaltstenothermen und den eurythermen Arten zugunsten der letzteren verschoben hat (Abb. 4). Fünf von 11 kaltstenothermen Arten waren in den letzten Jahren nicht mehr nachweisbar. Dies betrifft besonders jene Steinfliegen, deren Verletzlichkeitsindex gegenüber dem Klimawandel am höchsten ist: *Leuctra pseudosignifera* Aubert, 1949, *Leuctra prima* Kempny, 1899 und *Protonemura praecox* (Morton, 1894) (Tab. 1). *L. prima* wurde letztmals 2010 nachgewiesen und fand sich 2018 nur noch im Oberlauf eines kleinen Zuflusses. Andere Arten mit geringerer Verletzlichkeit gegenüber dem Klimawandel wie *Leuctra handlirschi* Kempny, 1898, *L. albida* Kempny, 1899 und *L. cingulata* Kempny, 1899 persistierten. Keine Veränderung war bei den beiden kaltstenothermen Köcherfliegen *Rhyacophila pubescens* Pictet, 1834 und *Tinodes unicolor* (Pictet, 1834) zu beobachten, die einen geringeren Verletzlichkeitsindex (CCVS=2) aufweisen. Die 1987 regelmässig aufgetretene kaltstenotherme *Hydropsyche tenuis* mit einem geringen Verletzlichkeitsindex (CCVS=1) fehlte dagegen 2017/18. Bei den Eintagsfliegen dürften die Larven der erstmals 2006 nachgewiesenen kaltstenothermen *Baetis alpinus* (Pictet, 1843) aus dem grösseren Zufluss am oberen Ende der Untersuchungsstrecke stammen.

Auffallend ist hingegen die Zunahme der eurythermen Arten von 13 (1987/88) auf 17 (2017/18), alles Eintagsfliegen. Bloss eine Art unter den eurythermen konnte nicht mehr bestätigt werden: *Rhithrogena picteti* Sowa, 1971. Das könnte auch die Folge einer veränderten Abflussdynamik und -menge sein. Die Larven von *R. picteti* besiedeln vorwiegend rasch überflossene Abstürze, resp. Schnellen, die im Bach nur kleinräumig vertreten sind. Laut Michel et al. (2019) haben die Abflüsse und die Niederschläge in den letzten 20 Jahren deutlich abgenommen, besonders in den Sommermonaten. Die für die Art relevanten rasch überflossenen Habitate dürften somit seltener geworden sein und an Fläche abgenommen haben.

Aus der Zeit zwischen 1886 und 1914 liegen in der Entomologischen Sammlung der ETHZ Belege von Stein- und Köcherfliegen von Friedrich Ris aus dem gleichen Einzugsgebiet vor (Ris 1885, 1889, 1902). Von den 14 indizierten Arten fallen 8 in die Kategorie der kaltstenothermen Arten, wobei drei Arten, *Siphonoperla torrentium* (Pictet, 1841), *Rhyacophila hirticornis* McLachlan, 1879 und *Rhyacophila tristis* Pictet, 1834 letztmals in 1880er-Jahren nachgewiesen worden waren (Tab. 1). Auch wenn das Einzugsgebiet damals nur sporadisch, dafür aber über mehrere Jahrzehnte, besammelt worden war und die Datenlage deshalb lückenhaft ist, lässt sich um 1900 die Dominanz kaltstenothermer Arten nicht ganz ausschliessen.

Die Untersuchung der Gewässer im Schweizer Nationalpark 2011/12 zeigte, dass die Steinfliegenfauna seit den ersten Erhebungen zwischen 1934 und 1964 nahezu unverändert geblieben war (Knispel & Lubini 2015). In diesem hochalpinen Gebiet gab es nur schwache Hinweise für eine Veränderung aus Gründen des Klimawandels durch die Zuwanderung einer einzigen Art (*Perla grandis* Rambur, 1842) aus tieferen Lagen. Diese kaum messbare Veränderung ist darauf zurückzuführen, dass das kalte Schmelzwasser aus Schnee und Eis die Folgen des Klimawandels vorderhand zu dämpfen vermag (Michel et al. 2019). Fliessgewässer im Mittelland dagegen sind dem Klimawandel und den damit verbundenen höheren Wassertemperaturen stärker ausgesetzt. Dies erklärt die im Vergleich zum Alpenraum grössere Veränderung in der Biozönose des Stöckentobelbachs im Verlaufe der letzten 30 Jahre.

Eine Studie aus dem Schweizer Jura (Röserenbach) belegt, dass auch andere Ursachen zu einem Rückgang von Wasserinsektenarten führen können (Küry 1997). Zwischen 1935 und 1990 wurde dort ein starker Rückgang bei den Steinfliegen von 19 auf 5 Arten dokumentiert, während die Zahl der Eintagsfliegen gleichgeblieben war. Deren Zusammensetzung hatte sich jedoch geändert. Als Ursachen wurden der Verlust von Mikrohabitaten, die Intensivierung der Land- und Forstwirtschaft sowie das knappere Wasserdargebot und Abwässer genannt. Diese Ursachen treffen auf den Stöckentobelbach nicht zu.

Danksagung

Sandra Knispel verfasste das Résumé und Toby Schreier redigierte das Abstract. Adrienne Frei gab wertvolle Hinweise zur Verbesserung des Manuskripts und erstellte die Abb. 1. Michael Greeff, Kurator der Entomologischen Sammlung der ETHZ, stellte Artnachweise aus früheren Sammlungen zur Verfügung.

Literatur

- BAFU (Hrsg.) 2019. Methoden zur Untersuchung und Beurteilung von Fliessgewässern (IBCH 2019). Makrozoobenthos – Stufe F. 1. aktualisierte Ausgabe, November 2019. Erstausgabe 2010. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 1026: 64 pp.
- Baranov V., Jourdan J., Pilotto F., Wagner R. & Haase P. 2020. Complex and nonlinear climate-driven changes in freshwater insect communities over 42 years. *Conservation Biology*. Pp. 1–11. doi: 10.1111/cobi.13477
- Besacier Monbertrand A.-L., Timoner P., Rahman K., Burlando P., Fatichi S., Gonseth Y., Moser F., Castella E. & Lehmann A. 2019. Assessing the Vulnerability of Aquatic Macroinvertebrates to Climate Warming in a Mountainous Watershed: Supplementing Presence-Only Data with Species Traits. *Water* 11 (636): 29 pp. doi: 10.3390/w11040636
- Brittain J.E. 2008. Mayflies, Biodiversity and Climate Change. In: Hauer F. R., Standford J. A. & Newell R.L. (eds.), *International Advances in the Ecology, Zoogeography, and Systematics of Mayflies and Stoneflies*. University of California Press, Berkeley, Los Angeles, London. pp. 1–14.
- Conti L., Schmidt-Kloiber A., Grenouillet G. & Graf W. 2014. A trait-based approach to assess the vulnerability of European aquatic insects to climate change. *North American Journal of Fisheries Management* 11: 72–82.
- Durance I. & Ormerod S. J. 2007. Climate change effects on upland stream macroinvertebrates over a 25-year period. *Global Change Biology* 13: 942–957.
- Haidekker A. & Hering D. 2008. Relationship between benthic insects (Ephemeroptera, Plecoptera, Coleoptera, Trichoptera) and temperature in small and medium-sized streams in Germany: A multivariate study. *Aquatic Ecology* 42: 463–481.
- Hering D., Schmidt-Kloiber A., Murphy J., Lücke S., Zamora-Muñoz C., López-Rodríguez M. J., Huber T. & Graf W. 2009. Potential impact of climate change on aquatic insects: A sensitivity analysis for European caddisflies (Trichoptera) based on distribution patterns and ecological preferences. *Aquatic Sciences* 71: 3–14.
- 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.

- Knispel S. & Lubini V. 2015. Assessing the stability of stonefly (Plecoptera) biodiversity in the Swiss National Park. *Mitteilungen der Schweizerischen Entomologischen Gesellschaft* 88: 257–271.
- Küry D. 1997. Changes in the Ephemeroptera and Plecoptera Populations of a Swiss Jura stream (Röserenbach) between 1935 and 1990. In: Landolt P. & Sartori M. (eds.), *Ephemeroptera & Plecoptera. Biology-Ecology-Systematics. Proceedings of the eighth International Conference on Ephemeroptera and the twelfth International Symposium on Plecoptera*, pp. 296–301. Mauron + Tingely & Lachat SA, Fribourg.
- Lubini V. 1989. Hydrobiologisches Bachinventar der Stadt Zürich. *Vierteljahrsschrift der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich* 134 (4): 229–250.
- Michel A., Brauchli T., Lehning M., Schaepli B. & Huwald H. 2019. Stream temperature evolution in Switzerland over the last 50 years. *Hydrology and Earth Systems Sciences*. 37 pp. <https://doi.org/10.5194/hess-2019-366>.
- Pletterbauer F., Müller A. & Graf W. 2018. Climate change Impacts in Riverine Ecosystems. In: Schmutz S. & Sendizimir J. (eds.) *Riverine Ecosystem Management, Aquatic Ecology Series*, volume 8, chapter 11: 203–223.
- Ris F. 1885. *Neuroptera helvetiae. Index und faunistisches (Perlidae)*. *Mitteilungen der Schweizerischen Entomologischen Gesellschaft* 4: 10–12.
- Ris F. 1889. Beiträge zur Kenntnis der schweizerischen Trichopteren. *Mitteilungen der Schweizerischen Entomologischen Gesellschaft* 8 (3): 102–145.
- Ris F. 1902. Die schweizerischen Arten der Perliden-Gattung *Nemoura*. *Mitteilungen der Schweizerischen Entomologischen Gesellschaft* 10 (9): 378–405.
- Smukalla R. & Friedrich G. 1994. *Ökologische Effizienz von Renaturierungsmassnahmen an Fliessgewässern*. LUA Materialien Nr. 7. Landesamt Nordrhein-Westfalen, Essen. 462 pp.
- Walther G.-W. 2010. Community and ecosystem responses to recent climate change. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 365: 2019–2024.
- Yang L.H. & Rudolf V.H.W. 2010. Phenology, ontogeny and the effects of climate change on the timing of species interactions. *Ecology Letters* 13: 1–10.