50 JAHRE NADUF

NATIONALE DAUERUNTERSUCHUNG DER FLIESSGEWÄSSER

In den 50 Jahren ihres Bestehens ermöglichte die Nationale Dauеruntersuchung der Fliessgewässer (NADUF), zahlreiche Erfolge von Gewässerschutzmassnahmen in der Schweiz quantitativ zu belegen und Zustandsänderungen aufzuzeigen. Dazu gehören reduzierte Einträge von Phosphat, Schwermetallen oder Stickstoffverbindungen in die Gewässer. In der Zukunft stellen sich beim Monitoring neue Herausforderungen wie die Ermittlung der Einträge von organischen Mikroverunreinigungen oder die durch den Klimawandel induzierten Änderungen im aquatischen Ökosystem.

Florian R. Storck, Alessandra Riva, BAFU; Manfred Stähli, WSL*
Ursula Schönenberger; Denise Freudemann; Christian Stamm; Stephan J. Hug, Eawag
Reto Dolf; Jan Mazacek, AUE BS
Jürg Zobrist; Marie-Ève Randlett

RÉSUMÉ

50 ANS DE SURVEILLANCE NATIONALE CONTINUE DES COURS D'EAU (NADUF)

Le programme de «surveillance nationale continue des cours d'eau suisses» (NADUF) a joué un rôle essentiel pour assainir des rivières et lacs pollués. Le mesurage des concentrations et surtout des flux de nutriments et de polluants dans les grandes, moyens et petites rivières ont permis une évaluation systématique et une adaptation des mesures de protection des eaux. Il a ainsi été possible de montrer que les apports de phosphore et de métaux lourds dans les rivières pouvaient être réduits avec succès par des mesures ciblées, alors que cela n'était possible que de manière limitée pour les nitrates et l'azote total. Les apports de nutriments dépassent les objectifs de protection des eaux et nécessitent de continuer à leur mesurage. Compte tenu de la diversité et de la fréquence d'utilisation des substances organiques et inorganiques toxiques et persistantes, il convient, en plus de leurs concentrations, d'amplifier la détermination des flux qui fournissent des informations sur l'apport de ces substances dans les bassins versants. Il est possible d'en tirer des mesures ciblées.

GRÜNDUNG VON NADUF – DIE ERSTEN JAHRE

Mit der Industrialisierung und dem Bevölkerungswachstum im 20. Jahrhundert nahm die Belastung der Oberflächengewässer in der Schweiz stark zu und äusserte sich in allgemein sichtbaren Verschmutzungen: Schaum auf Bächen und Flüssen, überdüngte stehende Gewässer mit faulenden Algen und Sauerstoffmangel sowie wiederholte Fischsterben. Abwässer wurden meist ohne spezielle Behandlung in die Oberflächengewässer eingeleitet. Um seiner im ersten Gewässerschutzgesetz von 1957 festgelegten Aufsichtspflicht nachzukommen, untersuchte der Bund mit der damaligen Landeshydrologie und der Eidgenössischen Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz (Eawag) bereits in den 1960er-Jahren grosse und wichtige Fliessgewässer der Schweiz mittels vier jährlichen Einzelproben. Die Ergebnisse mit den damals üblichen physikalischen und chemischen Messgrössen erbrachten nur ein rudimentäres Bild des Gewässerzustandes und der Gewässerbelastung. Ab 1964 wurde mit Bundesbeiträgen der bauliche Gewässerschutz durch den Ausbau von Kanalisation und Abwasserreinigungsanlagen vorangetrieben. 1976 waren erst etwa 70% der Haushalte an

** Kontakt: florian.storck@bafu.admin.ch*

(Titelbild: © AdobeStock)

Kanalisationen angeschlossen und nur ca. 55% an Abwasserreinigungsanlagen – erst 1992 stiegen beide Zahlen auf über 90%.

Die Zielsetzungen im revidierten Gewässerschutzgesetz von 1971 wie auch die Oberaufsicht des Bundes erforderten ein verbessertes Messprogramm zur Beurteilung der Wasserqualität in Fliessgewässern. Auf Initiative der Eawag wurde beschlossen, zusammen mit den damaligen Eidgenössischen Ämtern für Wasserwirtschaft und Gewässerschutz systematisch den physikalischen und chemischen Zustand in wichtigen schweizerischen Flüssen zu untersuchen. So erfolgte 1972 der Startschuss für das Programm «Nationale Daueruntersuchung der Schweizerischen Fliessgewässer», kurz NADUF. Die Zielsetzungen [1] waren für die damalige Zeit visionär. «Das Programm soll für die Erfordernisse des Gewässerschutzes und für die wissenschaftliche Erforschung der physikalischen und chemischen Verhältnisse der schweizerischen Fliessgewässer sowie ihrer Einzugsgebiete notwendigen Grundlagen liefern.» Dies galt sowohl der Beurteilung des damaligen Zustandes der Fliessgewässer als auch der mittel- und langfristigen Veränderungen. NADUF diente zudem der Überprüfung der Einhaltung internationaler Verpflichtungen (u. a. Internationale Kommissionen zum Schutz des Rheins (IKSR), der Gewässer des Genfersees (CIPEL) und Abkommen zum Schutz des Nordostatlantiks (OSPAR) [2].

Man beschränkte sich zunächst auf fünf bestehende hydrologische Stationen an grossen und mittelgrossen Flüssen. Seitdem wurde das Programm auf insgesamt 24 Stationen erweitert, von denen derzeit 15 aktiv sind *(Fig. 1)*. Kleinere Flüsse werden aus Ressourcengründen nicht alljährlich, sondern in mehrjährigen Abständen beprobt.

Konzentrationen sind für die Beurteilung der Wasserqualität vor allem für die Gewässerökologie und die unmittelbare Evaluation der Massnahmen wichtig. Eine besondere Stärke von NADUF ist jedoch die abflussproportionale Probenahme mit der Erhebung der Stofffrachten. Sie erlaubt zusätzlich eine Bilanzierung der Stoffflüsse, mit der die Einträge und Austräge von wichtigen chemischen Stoffen (zum Beispiel Phosphor, Stickstoff oder organischer Kohlenstoff) in den Einzugsgebieten sowie der Austrag von Stoffen über die Landesgrenzen an den Grenzstationen an Rhein, Rhone, Ticino und Inn gemessen werden können. Vor allem mit der Erhebung von exakten Stofffrachten war NADUF von Anfang an einzigartig und auch international richtungsweisend.

TECHNISCHE UMSETZUNG UND ENTWICKLUNG

Für die Probenahme wird Flusswasser in eine geschlossene Durchflussrinne (60 l Volumen, 60 l/min Durchfluss) im Innern der Station gepumpt. 1 ml Probe wird mit einer Frequenz proportional dem Abfluss in ein oder mehrere bei 4 °C gekühlte Probengefässe geschöpft, so dass am Ende der 7- oder 14-tägigen Messperioden in jedem Gefäss jeweils 1–31 Wasser vorhanden sind. Die Sammelproben werden eisgekühlt an die Labore geschickt, wo sie weiter bei 4 °C gelagert und innerhalb von 3–5 Tagen analysiert werden (Analysenumfang *Tab. 1*). Physikalisch-chemische Parameter werden kontinuierlich in der Rinne (pH, O_2, EC) bzw. direkt im Fluss (T,

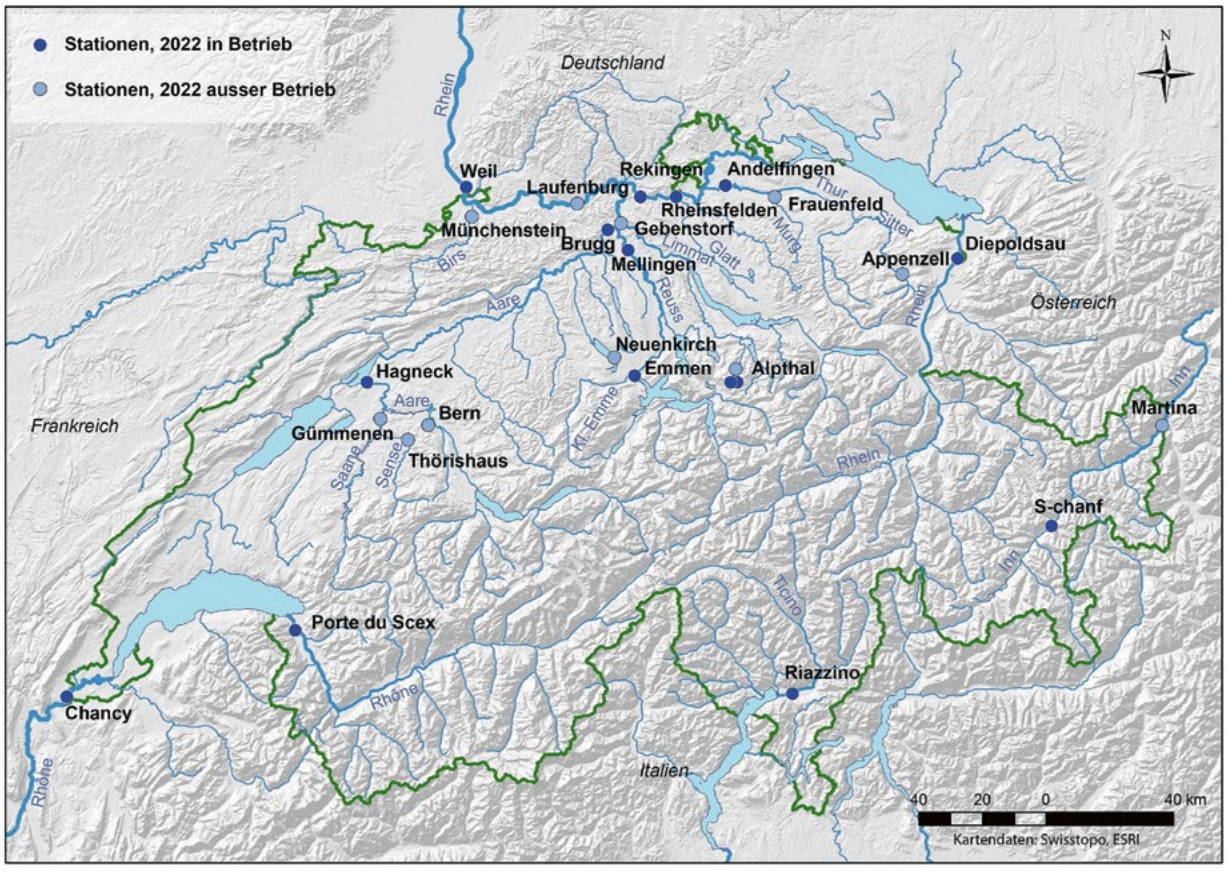


Fig. 1 NADUF-Monitoringstationen. Karte: https://s.geo.admin.ch/9b4b22e5d2.

Q, Trübung) erfasst und seit 2001 werden diese Messwerte online übertragen. Eine Beschreibung der Methoden und verwendeten Sonden ist online verfügbar [3]. An Fliessgewässern mit kleinem Abfluss erfolgt die Probenahme mittels Ansaugen und einem adaptierten Verteilsystem. Zur Qualitätssicherung werden nach Eingangskontrolle und Analyse der Proben die Konsistenz mit den Online-Messungen und die Ionenbilanzen geprüft. Es folgt eine erweiterte Plausibilitätsanalyse (Langzeitkonsistenz von und zwischen physikalischen und chemischen Daten), bevor die Resultate dokumentiert, beim BAFU langfristig archiviert und schliesslich publiziert werden (u. a. im Internet [4]). Die Stationen und ihre Infrastruktur werden fortlaufend ausgebaut und modernisiert und die analytischen Methoden und die Auswertung der Daten stetig weiterentwickelt. Als neueste technische Entwicklung werden die Stationen mit Zapfstellen für Probenahmen und Projekte von Partnerorganisationen ausgerüstet. Die Probenahmen wurden lange Zeit von der Landeshydrologie durchgeführt, inzwischen hat das BAFU das Eidgenössische Institut für Metrologie (METAS) mit dem technischen Unterhalt der Messinfrastruktur in den Stationen beauftragt.

WEITERENTWICKLUNG DES PROGRAMMS

Seit 1972 hat sich NADUF stets den Anforderungen angepasst, temporäre Messkampagnen zu verschiedenen Themen durchgeführt (u. a. Nonylphenole, Stickstoff-Spezies, Spurenstoffe) und sich so weiterentwickelt [1]. Im Jahr 2000 wurde die Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL) ein Teil des NADUF-Programms. Mit dem Einbezug der Alpthal-Stationen konnten diffuse Einträge in einem quasi unbelasteten Einzugsgebiet erhoben werden. Hier, in drei unterschiedlich bewaldeten Einzugsgebieten (Vogelbach, Erlenbach, Lümpenenbach), hatte die WSL seit den 1960er-Jahren neben der Abflussdynamik systematisch die Wasserqualität untersucht. Die abflussproportionale Probenahme war in diesen Bächen angesichts der beträchtlichen Abflussdynamik bei Starkniederschlägen und dem damit verbundenen Geschiebetrieb eine fast noch grössere Herausforderung als bei den Flüssen. Seit 2018 sind zudem fünf NADUF-Stationen auch Teil des NAWA-Trend-Programms zur Erfassung organischer Spurenstoffe [5]. Diese liegen alle an grossen Flüssen (Rhein, Rhone, Aare, Glatt, Thur) und liefern wertvolle Daten für die Evaluation von Gewässerschutzmassnahmen im Zusammenhang mit dem Ausbau von Kläranlagen und der Umsetzung von Massnahmen im Landwirtschaftsbereich (Nationaler Aktionsplan Pflanzenschutzmittel).

ERGEBNISSE UND AUSSTRAHLUNG, WIRKUNG IM GEWÄSSERSCHUTZ

ABNAHME DER KONZENTRATIONEN UND FRACHTEN VON PHOSPHAT UND NITRAT

Bis in die späteren 1980er-Jahre waren die Gewässer in der Schweiz stark mit

Stationen	mittl. Abfluss [m³/s]	Zeitraum	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
Rhein – Weil (Village-Neuf)	1060	1972–2018																			
Rhein – Rekingen	443	1972–2018				<															
Rhône – Chancy	342	1972–2018						<	>	<											
Aare – Brugg	317	1972–2018			<																
Rhein – Diepoldsau (Schm.)	233	1972–2018																			
Rhône – Porte du Scex	184	1972–2018																			
Aare – Hagneck	177	1972–2018																			
Reuss – Mellingen	140	1972–2018			<																
Aare – Bern	122	1972–2018				<															
Limmat – Baden, Gebenstorf	99,9	1972–2018							<												
Ticino – Riazzino	72,8	1972–2018																	<		
Saane – Gümmenen	52,9	1972–2018																			
Thur – Andelfingen	47,1	1972–2018																			N
Inn – S-chanf	21,0	1999–2018																			
Birs – Münchenstein	15,7	1972–2018																			
Kleine Emme – Littau/Emmen	15,1	1972–2018, ohne 2006–2012																			
Sense – Thörishaus	8,75	1972–2018																			
Glatt – Rheinsfelden	8,19	1976–2018					<	<												N	N
kleine Flüsse Ostschweiz (2)	3,72	1972–2018																			
Sellenbodenbach – Neuenkirch	0,21	1972–2018																			
Alpthal (3)	0,06	1978–2019																			

R = Online-Messung: Abfluss (Q), Temperatur (T), gel. Sauerstoff (O_2), el. Leitfähigkeit (EC), pH, teilweise Trübung
A = Nährstoffe/anthropogen beeinfl. Parameter: N-tot, NH_4^+, NO_2^-, NO_3^-, P-tot, ortho-P, DOC, TOC, Schwebstoffgehalt
G = Geogene Parameter: Cl^-, Br^-, F^-, SO_4^{2-}, Na^+, K^+, Mg^{2+}, Ca^{2+}, Alkalinität, Härte, H_4SiO_4
M = Schwermetalle: Zn, Cu, Pb, Cd, Cr, Mn, Ni, Fe, Hg, As. Weitere Metalle: Ba, Sr

Tab. 1 NADUF-Monitoringstationen und -Messprogramm seit der Gründung 1972 bis heute. Die Abflüsse sind Mittelwerte über die angegebenen Zeiträume.

Phosphat belastet, vor allem aus Waschmitteln. Dies hatte eine starke Überdüngung mit Algenwachstum und Sauerstoffzehrung zur Folge. 1986 beschloss der Bundesrat als erste europäische Regierung ein Phosphatverbot für Textilwaschmittel und kontinuierlich wurden weitere Massnahmen getroffen (dritte Stufe zur Phosphatelimination in ARA, Minimierung des Einsatzes von Phosphat zum Korrosionsschutz und in der Industrie sowie in der Landwirtschaft). Den deutlichen Erfolg dieser Massnahmen zeigen die durch NADUF erhobenen Daten: Von 1986 bis heute gingen Konzentrationen und Frachten stark zurück, im Rheineinzugsgebiet beispielsweise um 90 bzw. 85% *(Fig. 2)*, womit die Ziele des OSPAR-Abkommens für Phosphor erreicht wurden (–50% gegenüber 1985 [2]). Durch Ausbau von Kanalisation und Kläranlagen nahmen ab Ende der 1970er-Jahre auch die Nitrat- und Stickstofffrachten in den Gewässern etwas ab. Sie stiegen aber von 1982 bis 1988 an (*Fig. 3* beispielhaft für das Rheineinzugsgebiet bis Weil). Darin spiegelt sich verzögert die Intensivierung der Landwirtschaft wider. Der aussergewöhnliche Temperaturanstieg in Boden und Wasser von 1987–1990 führte zudem zu einer biologisch bedingten Mobilisierung des Stickstoffs und die Jahre 1986–88 waren von Frühjahr bis Sommer von hohen Niederschlägen und Abflüssen geprägt [6, 7], was Abschwemmungen

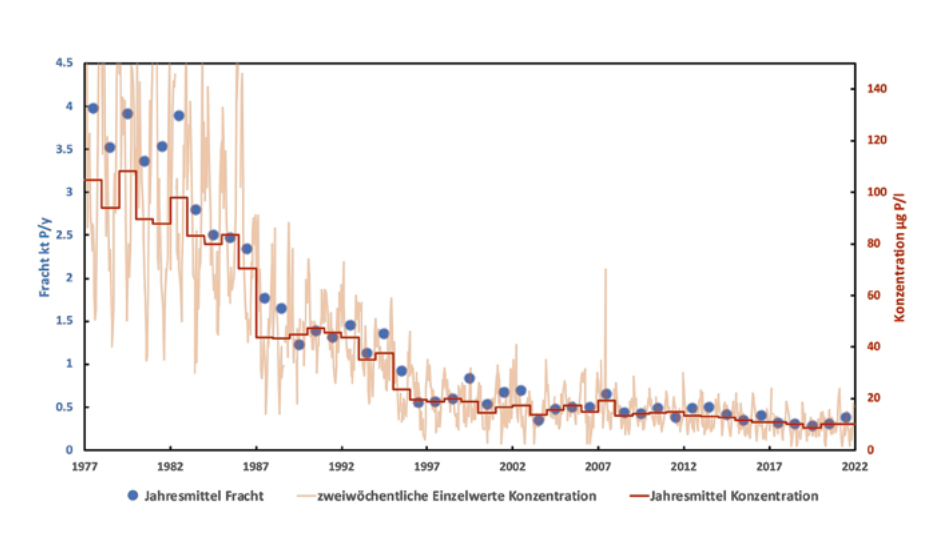
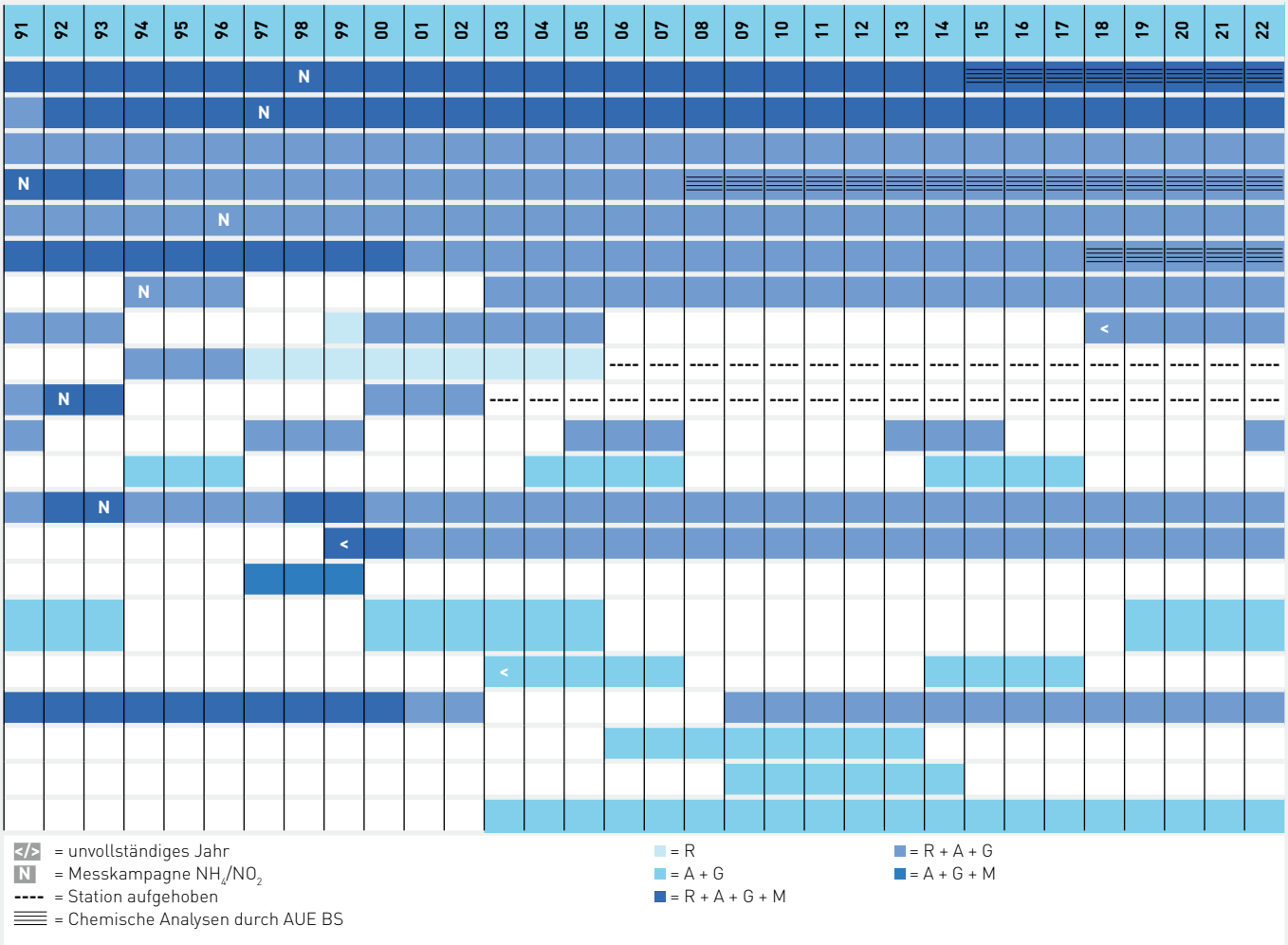


Fig. 2 Jahresfrachten und Konzentrationen von gelöstem reaktivem Phosphat (als P) bei der Station Weil am Rhein (bis 1995 Village-Neuf, beide unterhalb Basel).



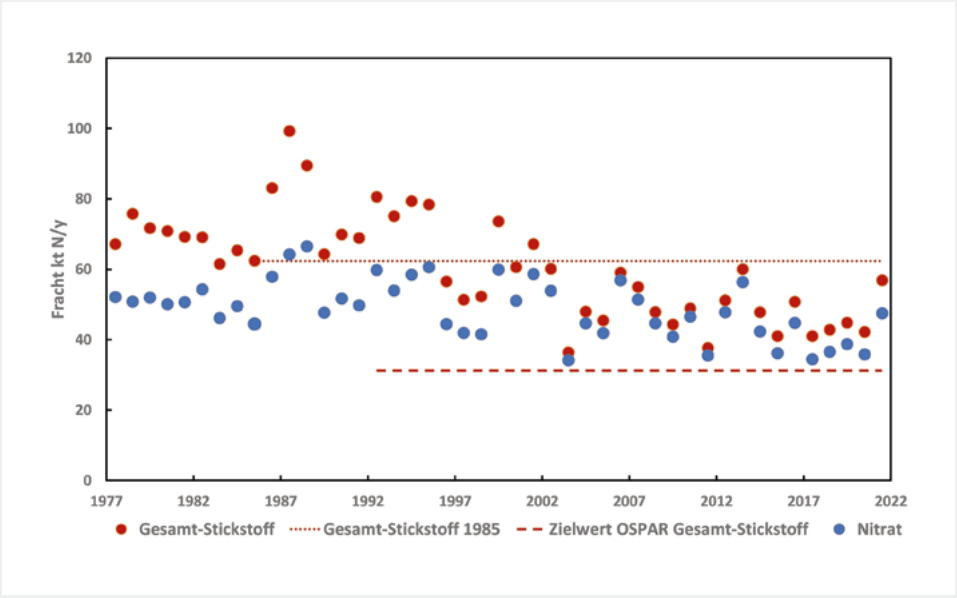


Fig. 3 Mittlere Jahresfrachten von Nitrat und Gesamtstickstoff (als N) im Rhein an der Station Weil/Village-Neuf und Zielwert gemäss OSPAR-Abkommen (–50% bezogen auf 1985).

von landwirtschaftlichen Flächen und den Eintrag ungereinigter Abwässer aus Kläranlagen begünstigte. Verglichen mit den Höchstständen der späten 1980er- und 1990er-Jahren hat die Gesamtstickstofffracht dank Änderungen der landwirtschaftlichen Düngepraxis und verbesserter Abwasserreinigung (Denitrifikation) um bis zu 50% abgenommen – trotz dieser Erfolge konnten die Ziele des OSPAR-Abkommens von 1992, nämlich eine Halbierung gegenüber 1985 [2], bis heute nicht erreicht werden.

ALPTHAL-STATIONEN IM VERGLEICH ZU DEN GROSSEN (BELASTETEN) FLÜSSEN

Die Daten aus dem Alpthal zeigen auf, wie gross die Hintergrundbelastung von Nährstoffen in einem natürlichen, voralpinen Einzugsgebiet ist – ohne unmittelbare Belastung durch Landwirtschaft, Siedlungsgebiet und Industrie – und wie sie sich saisonal und über längere Zeit ändert. Über die letzten zwanzig Jahre hat beispielsweise die Nitrat-Konzentration leicht abgenommen (*Fig. 4*). Diese langfristige leichte Abnahme der Nitrat-Konzentration in den

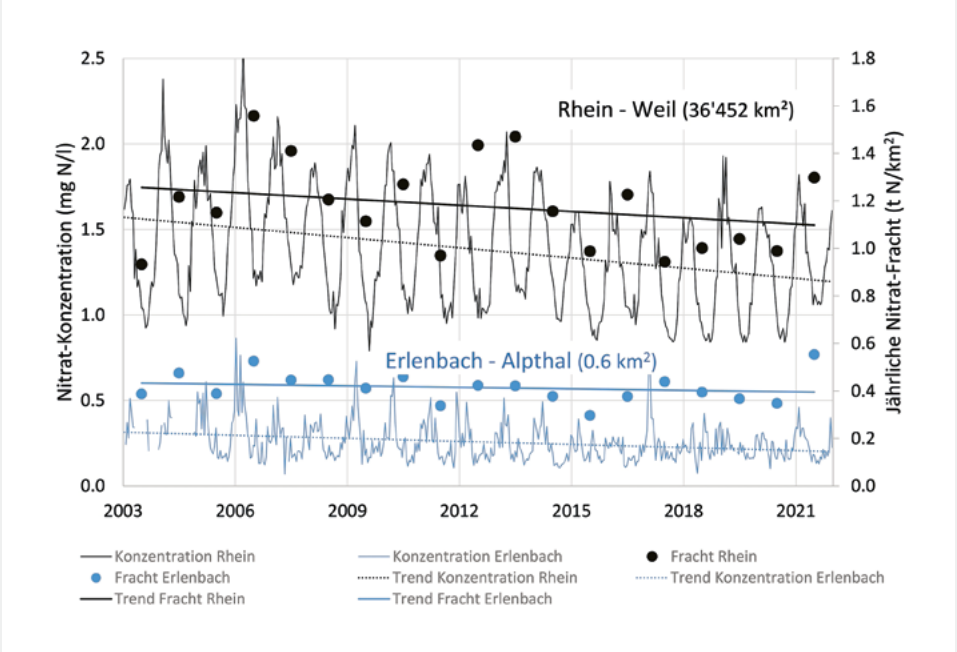


Fig. 4 Nitrat-Konzentrationen (14-d-Mischproben) und jährliche Nitrat-Frachten pro km² für den Erlenbach im Alpthal sowie für den Rhein bei Weil mit den entsprechenden qualitativen linearen Trendlinien.

voralpinen Wildbächen kann primär dem Winterhalbjahr zugeschrieben werden, denn in dieser Höhenlage hat die Schneedecke stark abgenommen und hat zusammen mit dem winterlichen Regen deutlich mehr Winter-Schmelze generiert. Die Jahresfrachten von Nitrat haben über die letzten 20 Jahre jedoch nur minimal abgenommen, trotz der generellen Reduktion der atmosphärischen Stickstoff-Deposition [8]. Im Rhein bei Basel/Weil liegen die Konzentrationen und Frachten pro km² deutlich höher als im unbelasteten Alpthal, ihr Rückgang ist im Rhein jedoch deutlich ausgeprägter als im Alpthal. Die Ursachen des Rückgangs im Rhein dürften eher die oben beschriebenen Massnahmen zur Verringerung der Stickstoffeinträge in Gewässer sein. Umgekehrte Werterelationen zwischen den beiden Einzugsgebieten Alpthal und Rhein finden sich beim gelösten organischen Kohlenstoff (DOC). Die DOC-Konzentrationen sind im Erlenbach deutlich höher als im Rhein bei Weil und reflektieren damit den hohen Waldanteil von fast 50% in diesem Wildbacheinzugsgebiet. Über die letzten zwanzig Jahre zeigen die NADUF-Daten bezüglich DOC eine leichte Zunahme der mittleren Konzentrationen und der Jahresfracht *(Fig. 5)*. Dabei machen sich einzelne Hochwasserereignisse mit besonders hohen DOC-Konzentrationen bemerkbar (beispielsweise dasjenige vom August 2005) sowie ein saisonaler Jahresgang. Der DOC im Erlenbach hat nur einen geringen Anteil am gesamten organischen Kohlenstoff, dieser wird mehrheitlich mit Totholz und dem Geschiebe transportiert [9]. DOC-Konzentrationen und -Frachten im Rhein bei Weil haben sich in den letzten zwanzig Jahren nur wenig verändert. Deutliche Abnahmen im DOC erfolgten in früheren Jahren [10] als Folge der Inbetriebnahme von Kläranlagen.

NÄHRSTOFFE UND GEOGENE PARAMETER IN SEEN UND FLÜSSEN – LANGZEITTRENDS

Die konsistenten NADUF-Langzeitmessungen ermöglichten wichtige Studien über die Einflüsse von zivilisatorischen Entwicklungen und des Klimawandels auf die Gewässer [11–13]. So konnte gezeigt werden, dass mit dem Phosphatverbot und der Abnahme des Nährstoffangebots (Reoligothrophierung) in den grossen Seen neben einer deutlichen Verbesserung der Gewässerökologie auch chemisch messbare Veränderungen statt-

fanden. Die Reduktion des Algenwachstums beispielsweise führte zu einer Verminderung der Sedimentation von Kalk und damit zur Erhöhung der Alkalinität in den Seeausflüssen [11].

Der Klimawandel führte zu einer deutlichen Erwärmung der Flüsse [14, 15] und zu einer Reihe von Änderungen, die die Verwitterung von Gesteinen im alpinen Raum beeinflussen können [12]. So zeigten langfristige Analysen der geochemischen Parameter eine Zunahme der Alkalinität in alpinen Flüssen [11], wahrscheinlich als Folge von erhöhten CO_2-Partialdrücken in wärmer gewordenen alpinen Böden. Die Auswirkungen der Klimaveränderung verlaufen jedoch nicht linear und lassen sich nur durch langfristige Analysen von konsistent erhobenen Daten weiter verlässlich verfolgen.

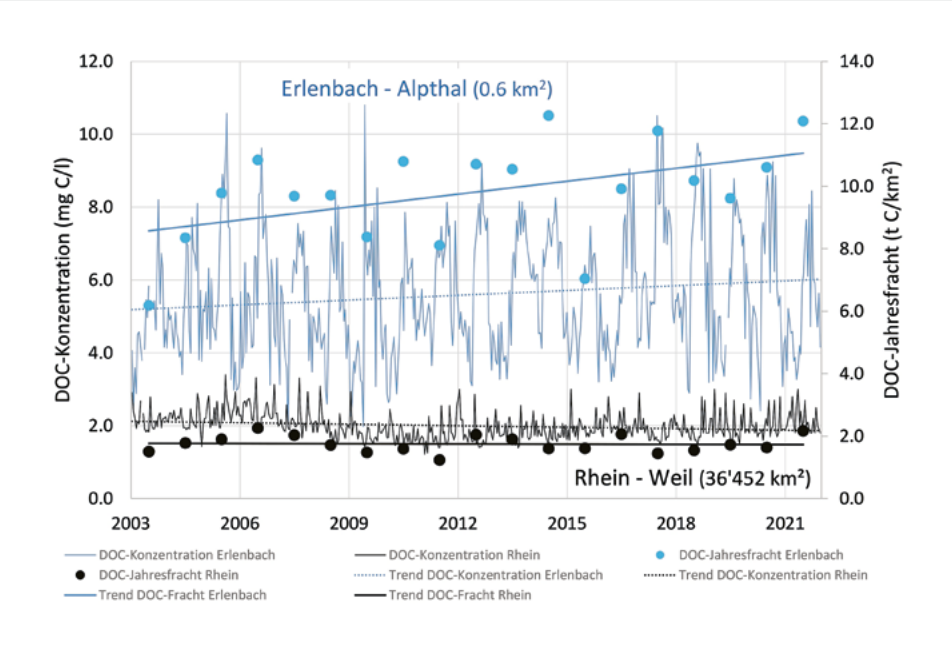


Fig. 5 DOC-Konzentrationen (14-d-Mischproben) und jährliche DOC-Frachten pro km² für den Erlenbach im Alpthal sowie für den Rhein bei Weil mit den entsprechenden qualitativen linearen Trendlinien.

ABNAHME DER METALLKONZENTRATIONEN

Die Konzentrationen und Frachten von Metallen (in *Fig. 6* exemplarisch an Kupfer und Blei gezeigt) nahmen von 1977 bis 1997 deutlich ab, danach aber nur noch geringfügig. Für Kupfer vor 1985 und für Blei vor 1992 lagen die gemessenen Konzentrationen im Bereich von belasteten Gewässern, danach in einem Zwischenbereich unterhalb von stark bis wenig belasteten Gewässern [10]. Bei den Metallen zeigt sich der Erfolg getroffener Massnahmen, wie die Einschränkung von Emissionen aus Industrie, Bauwesen und Verkehr sowie eine verbesserte Rückhaltung von Metallen im Klärschlamm der Abwasserreinigungsanlagen [16]. Beim Blei spielte auch die Abnahme der Deposition aus der Luft (Verbot von Blei im Benzin) eine wichtige Rolle [17]. Ähnlich deutliche Abnahmen waren auch für Quecksilber zu beobachten [18] als Folgen von internationalen Abkommen und nationalen Beschränkungen sowie unter anderem Luftreinhaltemassnahmen etwa bei Kehrrichtverbrennung und Krematorien [19].

ORGANISCHE SPURENSTOFFE

Im Laufe der frühen 2000er-Jahre wurde die Bedeutung organischer Spurenstoffe aus kommunalen Kläranlagen für die Gewässerbelastung zunehmend erkannt und löste eine wissenschaftliche und politische Debatte aus, ob Kläranlagen in der Schweiz mit einer zusätzlichen Reinigungsstufe ausgerüstet werden sollten. Zur Klärung, ob NADUF als ein Werkzeug für eine allfällige Erfolgskontrolle nach dem Ausbau der Kläranlagen in Frage käme, beauftragte das BAFU 2009 die Eawag mit einer Machbarkeitsstudie [20]. An fünf NADUF-Stationen (Rhein – Rekingen, Glatt – Rheinsfelden, Thur – Andelfingen, Murg – Frauenfeld, Sitter – Appenzell) wurden Teilproben auf zwölf Substanzen hin analysiert (sieben Herbizide und Biozide, drei Medikamente, zwei Korrosionsschutzmittel). Die Konzentrationen lagen im Bereich von wenigen bis zu einigen hundert Nanogramm pro Liter *(Fig. 7)*. Konzentrationen und Frachten variierten bei landwirtschaftlichen Herbiziden saisonal sehr stark, während das weitverbreitete Medikament Carbamazepin ziemlich konstante Frachten übers Jahr zeigte. Die Erkenntnisse aus der Studie flossen in ein breit aufgestelltes Monitoring organischer Schadstoffe ein, wie es seit 2018 mit NAWA als Zusammenarbeit von Bund und Kantonen implementiert ist [5]. NADUF ist in dieses übergeordnete Programm integriert und liefert an fünf Messstellen entsprechende Daten [14].

Diese Untersuchungen von Mikroverunreinigungen wurden durch eine

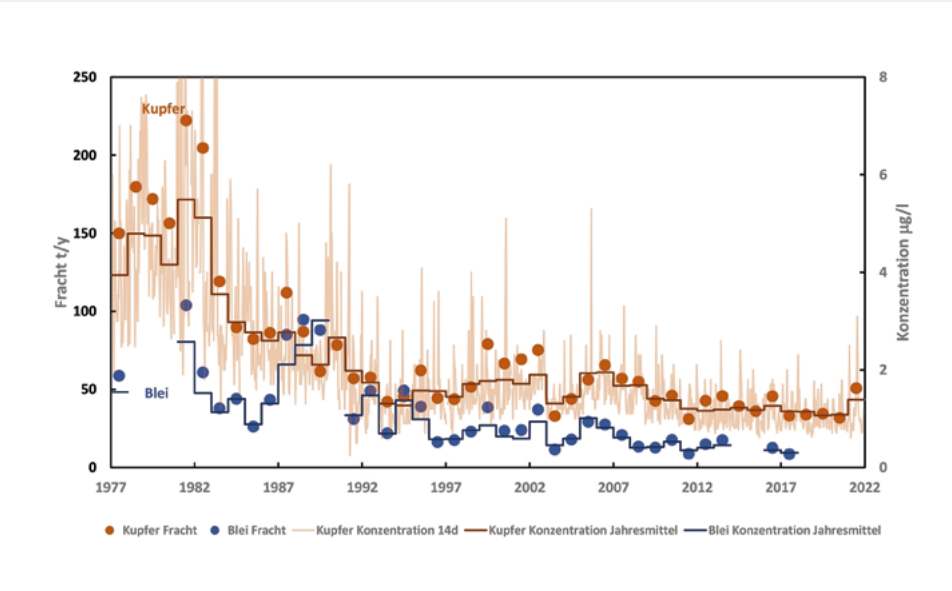


Fig. 6 Frachten und Konzentrationen von (säurelöslichem) Kupfer und Blei im Rhein bei Weil/Village-Neuf. Für die hohen Bleiwerte in den Jahren 1987–89 gibt es keine belegbare Erklärung.

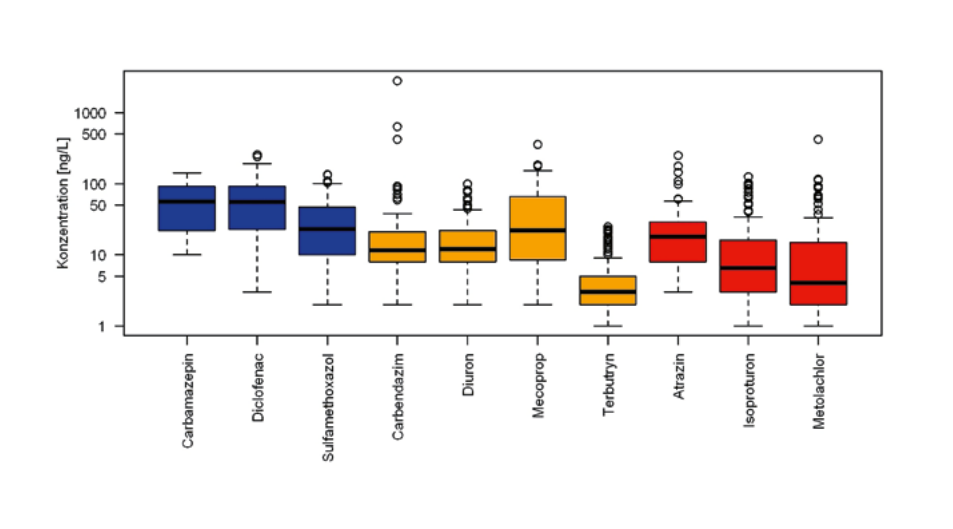


Fig. 7 Boxplots der gemessenen Konzentrationen ausgewählter Spurenstoffe aus der Machbarkeitsstudie 2009 [20] (ohne Sitter).
Blau: Medikamente; orange: Biozide/Herbizide; rot: landwirtschaftliche Herbizide.

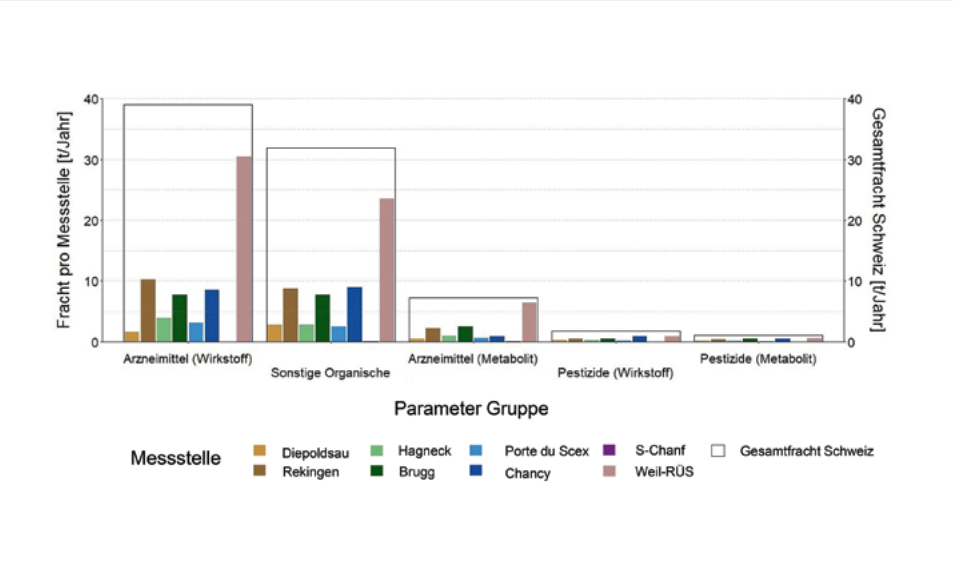


Fig. 8 Aus einem 20-wöchigen Zeitraum geschätzte Jahresfrachten organischer Mikroverunreinigungen für die Parametergruppen Arzneimittel und Pestizide und ihre Metabolite sowie sonstige organische Verbindungen. Frachten für einzelne Messstationen als farbige Balken (linke Ordinate) und schweizweite Gesamtfrachten als schwarze umrahmte Balken (rechte Ordinate, als Summe aus Rhone-Chancy, Inn-S-Chanf und Rheinüberwachungsstation RÜS in Weil).

Pilotstudie vertieft, welche das BAFU 2020 veranlasst hat. Um einen Überblick über die Grössenordnung Schweizweiter Frachten möglicher relevanter organischer Mikroverunreinigungen zu erhalten, wurden 350 Substanzen aus abflussproportionaler Probenahme an sieben Stationen über 20 Wochen untersucht und die Teilfrachten von Rhone-Chancy, Inn-S-Chanf und der Rheinüberwachungsstation RÜS in Weil addiert. In S-Chanf werden ARA-bürtige Substanzen nicht vollständig erfasst, der Beitrag zu den Gesamtfrachten ist jedoch gering. Grosse Frachten stammten vor allem von den Arzneimitteln und sonstigen organischen Substanzen wie künstlichen Süssstoffen *(Fig. 8)*. Die beiden Substanzen mit den höchsten gesamtschweizerischen Frachten pro 20 Wochen waren der Arzneimittelwirkstoff gegen Diabetes Mellitus Metformin und der künstliche Süssstoff Sucralose (je 5,2 t in der gesamten Schweiz). Ebenfalls grosse schweizweite Frachten wurden im selben Zeitraum von 20 Wochen für den Arzneimittelmetaboliten 4-Acetamidoantipyrin (1,3 t), den Pestizidmetaboliten Metolachlor-ESA (0,2 t), das Insektenrepellent DEET (0,3 t) und das Herbizid Metolachlor (0,25 t) gefunden. Weitere Abklärungen zur Relevanz können nun erfolgen, wie z. B. zusätzliche Bewertungen anhand der Ökotoxikologie.

AUSBLICK

Das BAFU arbeitet bereits daran, die Nutzung der von NADUF gesammelten Daten und seiner Aktivitäten für die anderen nationalen Monitoringprogramme NAWA (Kooperation Bund/Kantone) und NAQUA (Grundwasser) auszuweiten und zu vertiefen. Auch die Eawag arbeitet an der Integration der Daten in andere Programme, zum Beispiel das *Catchment Attributes and Meteorology for Large-sample Studies* (CAMELS). Frachtbetrachtungen von Nährstoffen und Metallen haben wertvolle Hinweise auf die zu ergreifenden Massnahmen geliefert. Eine Bewertung ihrer längerfristigen Wirksamkeit ist erst durch die langen Fracht-Zeitreihen möglich. Denkbar ist es daher, die Stoffflüsse von Mikroschadstoffen kontinuierlich an weiteren NADUF-Stellen zu untersuchen und weitere Elemente (Halb- und Schwermetalle und Seltene Erden) zu analysieren, die in technischen Prozessen und Produkten immer häufiger eingesetzt werden. Für diese Entwicklungen wird ein intensiver Austausch mit den wissenschaftlichen Partnern, den Kantonen und mit den Verantwortlichen der anderen nationalen Monitoringprogramme notwendig sein. Die Frachten von Hauptelementen, Schwermetallen und Nährstoffen bleiben jedoch wichtige Themen, um die Einträge in die grossen Seen durch Flüsse und damit die darin ablaufenden Prozesse besser zu verstehen. So führt der Klimawandel zu höheren Wassertemperaturen und zu einer Veränderung des Zirkulationsregimes der Seen. Das kann die Nährstoffproblematik bzw. den Sauerstoffmangel verschärfen. Hinzu kommt eine voraussichtlich verstärkte Freisetzung von Feststoffen durch das Abschmelzen der Gletscher, die sich ebenfalls auf die Transportprozesse in Seen, auf das Ökosystem bis hin zur Energiewirtschaft auswirken kann. Eine stärkere Verknüpfung von Messdaten und eine gemeinsame Betrachtung von Flüssen und Seen einschliesslich der Feststoffe wird daher wichtiger. In der nahen Zukunft stehen neben der möglichen Erweiterung im Bereich von Mikroverunreinigungs-Frachten auch Projekte zum Kohlenstoffkreis-

lauf (RICH, [21]) und zu Mikroplastik auf der Agenda. Es ist aber auch denkbar, über Umwelt-DNA wertvolle Daten zur aquatischen Biodiversität auf Ebene von Einzugsgebieten zu gewinnen. Wie bisher wird NADUF interessierte Partner und Kunden aus Forschung, Verwaltung, Wirtschaft und anderen Bereichen soweit möglich mit Daten und/oder Wasserproben versorgen. Dabei wird daraufhin gearbeitet, die Verfügbarkeit der Daten zu beschleunigen und über Online-Portale einfach zugänglich zu machen.

DANKSAGUNG

Zum Gelingen des NADUF-Programms in den fünfzig Jahren haben sehr viele Personen aus verschiedenen Institutionen beigetragen. Mit unserer Entschuldigung, dass wir aus Platzgründen nicht alle nennen können, danken wir stellvertretend *Ursula Leuenberger, Lucas Passera, Carlo Scapozza, Robin Lukes* (BAFU), *Laura Sigg, Fritz Zürcher, Michael Berg, Paul Liechti, Joan Davis, Renata Hari, Bernhard Wehrli, Stefan Koepke, Natalie Gsteiger, Ulrike Krause, Madeleine Langmeier, Richard Illi* (Eawag), *Stefan Boss* (WSL), *Olivier Brunschwig, Martin Burri* (METAS) sowie den Stationsverantwortlichen der Sektion Hydrometrie (BAFU) und den Beobachtern an den Stationen. Besonderer Dank gebührt *Adrian Jakob* (BAFU) für seine Beiträge und langjährige Leitung als Vorsitzender der NADUF-Gruppe.

BIBLIOGRAPHIE

[1] *Davis, J.S. et al. (1985): Das nationale Programm für die analytische Daueruntersuchung der schweizerischen Fliessgewässer. Eine Standortbestimmung. GWA Gas, Wasser, Abwasser, Bd. 65, Nr. 3, pp. 123–135*

[2] *OSPAR (1992): Convention for the Protection of the Marine Environment of the North-East Atlantic: Available: https://www.ospar.org/ (Zugriff am 18.11.2022)*

[3] *Bundesamt für Umwelt BAFU: Available: https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/wasser/zustand/wasser--messnetze/nationale-beobachtung-oberflaechengewaesserqualitaet--nawa-/nationale-daueruntersuchung-fliessgewaesser--naduf-.html (Zugriff am 18.10.2022)*

[4] *Eawag, BAFU: ERIC/open The Eawag Research Data Institutional Repository,. Available: https://opendata.eawag.ch/group/naduf-national-long-term-surveillance-of-swiss-rivers (Zugriff am 30.10.2022)*

[5] *Doppler, T. et al. (2020): Mikroverunreinigungen im Gewässermonitoring. Ausbau von NAWA Trend und erste Resultate 2018. Aqua & Gas, Bd. 100, Nr. 7/8, pp. 44–53*

[6] *Schädler, B. (1987): Ausserordentliche Hochwasser im Juni 1987. Wasser Energie Luft, Bd. 79, Nr. 10, pp. 270–272*

[7] *Geographisches Institut der Universität Bern im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt: Hydrologischer Atlas der Schweiz HADES. Available: https://hydrologischeratlas.ch/ (Zugriff am 1.10.2022)*

[8] *Waldner, P. et al. (2014): Detection of temporal trends in atmospheric deposition of inorganic nitrogen and sulphate to forests in Europe. Atmospheric Environment, Bd. 95, pp. 363–374*

[9] *Turowski, J.; Hilton, R.; Sparkes, R. (2016): Decadal carbon discharge by a mountain stream is dominated by coarse organic matter. Geology, Nr. 44(1), pp. 27–10*

[10] *Zobrist, J.; Sigg, L.; Schoenenberger, U. (2004): NADUF – thematische Auswertung der Messresultate 1974 bis 1998. Schriftenreihe der Eawag Nr. 18, Eawag, Dübendorf*

[11] *Zobrist, J. et al. (2018): .Long-term trends in Swiss rivers sampled continuously over 39 years reflect changes in geochemical processes and pollution. Environmental Science and Pollution Research, Bd. 25, Nr. 17, pp. 16788–16809*

[12] *Rodríguez-Murillo, J.C.; Filella, M. (2022): Discharge and temperature effects on weathering fluxes in alpine and perialpine basins in Switzerland. Journal of Hydrology, Bd. 610, p. 127995*

[13] *Rössler, O. et al. (2019): Evaluating the added value of the new Swiss climate scenarios for hydrology: An example from the Thur catchment. Climate Services, Bd. 13, pp. 1–13*

[14] *Schindler, Y.; Leu, C.; Kunz, M. (2022): Gewässer in der Schweiz. Zustand und Massnahmen. Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern*

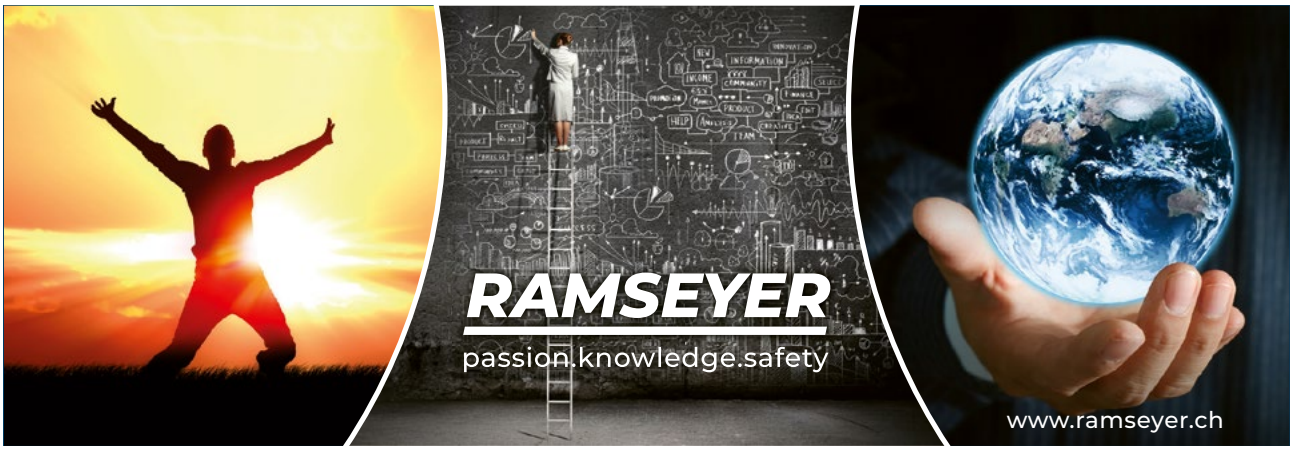
[15] *Michel, A. et al. (2022): Future water temperature of rivers in Switzerland under climate change investigated with physics-based models. Hydrology and Earth System Sciences, Bd. 26, Nr. 4, pp. 1063–1087*

[16] *Vriens, B. et al. (2017): Quantification of Element Fluxes in Wastewaters: A Nationwide Survey in Switzerland. Environ. Sci. Technol., Bd. 51, pp. 10943–10953*

[17] *Taverna, R. et al. (2020): Blei in der Schweiz: Verwendung, Entsorgung und Umwelteinträge. Studie im Auftrag des Bundesamts für Umwelt BAFU. GEO Partner AG, Zürich*

[18] *Suess, E. et al. (2020): Mercury loads and fluxes from wastewater: A nationwide survey in Switzerland. Water research, 175, 115708, Bd. 175, p. 115708*

[19] *Ritscher, A. et al. (2018): Verwendung, Entsorgung und Umwelteinträge von Quecksilber. Übersicht über die Situation in der Schweiz. Umwelt-Zustand Nr. 1832, Bundesamt für Umwelt, Bern*

[20] *Stamm, C. et al. (2012): Organische Spurenstoffe im Rahmen von NADUF. Machbarkeitsstudie – Schlussbericht. Studie im Auftrag des BAFU. Eawag, Dübendorf*

[21] *Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, ETH Zürich: RICH: Radiocarbon Inventories of Switzerland. Available: https://biogeoscience.ethz.ch/research/theme3/rich.html*