



SCHLUSSBERICHT – 21.04.2021

Überprüfung des Gewässerschutzrechts hinsichtlich Klimawandel

Diskussionsgrundlage zur Weiterentwicklung
des Vollzugs

Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU), Abteilung Wasser

Impressum

Empfohlene Zitierweise

Autor: Ecoplan
Titel: Überprüfung des Gewässerschutzrechts hinsichtlich Klimawandel
Untertitel: Diskussionsgrundlage zur Weiterentwicklung des Vollzugs
Auftraggeber: Bundesamt für Umwelt, Abteilung Wasser
Ort: Bern
Datum: 21.04.2021

Begleitung seitens Auftraggeber

Damian Dominguez, Susanne Haertel-Borer, Andreas Knutti, Manuel Kunz, Christian Leu, Bänz Lundsgaard-Hansen, Stephan Müller, Martin Pfändler, Michael Schärer

Befragte Expertinnen und Experten: siehe Anhang

Projektteam Ecoplan

Samuel Zahner (Projektleitung)
Eva Wieser
Felix Walter

Titelbild: Ausschnitt aus einem revitalisierten Seitenarm des Rheins «Chli Rhi» als Beispiel für eine naturnahe und dynamische Gewässerentwicklung (BAFU)

Der Bericht gibt die Auffassung des Projektteams wieder, die nicht notwendigerweise mit derjenigen des Auftraggebers bzw. der Auftraggeberin oder der Begleitorgane übereinstimmen muss.

ECOPLAN AG

Forschung und Beratung
in Wirtschaft und Politik

www.ecoplan.ch

Monbijoustrasse 14
CH - 3011 Bern
Tel +41 31 356 61 61
bern@ecoplan.ch

Dätwylerstrasse 25
CH - 6460 Altdorf
Tel +41 41 870 90 60
altdorf@ecoplan.ch

Inhaltsverzeichnis

	Inhaltsverzeichnis	2
	Abstract.....	3
1	Einleitung	4
1.1	Ausgangslage und Ziel.....	4
1.2	Untersuchte Aufgabenbereiche.....	4
1.3	Vorgehen.....	6
2	Auswirkungen des Klimawandels auf Fließgewässer und Grundwasser	8
2.1	Hydrologische Auswirkungen.....	8
2.2	Auswirkungen auf das Ökosystem.....	10
3	Resultate und Diskussion	12
3.1	Übergeordnete rechtliche Fragestellungen.....	12
3.2	Gewässerbeobachtung und -beurteilung	13
3.3	Erhaltung eines naturnahen Temperaturzustandes der Gewässer	16
3.4	Siedlungsentwässerung und Abwasserreinigung	17
3.5	Reduktion diffuser Stoffeinträge aus der Landwirtschaft	21
3.6	Grundwasserschutz und Wasserversorgung (Trink- und Brauchwasser)	23
3.7	Sicherung angemessener Restwassermengen	27
3.8	Ökologische Sanierung Wasserkraft.....	29
3.9	Revitalisierung und Gewässerraum	33
4	Wissenslücken und Forschungsbedarf	39
5	Zusammenfassung und Fazit.....	41
	Literaturverzeichnis	44
	Anhang A: Abkürzungsverzeichnis	49
	Anhang B: Befragte Expertinnen und Experten	50
	Anhang C: Übersicht Vorschläge zur Weiterentwicklung des Vollzugs	51

Abstract

Die Auswirkungen des Klimawandels auf die Gewässer sind bereits heute spürbar und werden sich noch weiter verstärken, wie die Ergebnisse des BAFU-Projekts Hydro-CH2018 zeigen. Das Gewässerschutzrecht ist meist unabhängig vom Klimawandel entstanden. In der vorliegenden Analyse wird deshalb untersucht, ob das Gewässerschutzrecht inkl. dessen Vollzug vor dem Hintergrund des Klimawandels weiterentwickelt werden soll, und wenn ja, wie.

Die Analyse zeigt, dass die Umsetzung des Gewässerschutzrechts aufgrund des Klimawandels umso dringender wird. So sind aus wissenschaftlicher Sicht Massnahmen zur Wiederherstellung naturnaher Gewässer geeignete Anpassungs- und Milderungsmassnahmen, welche die Resilienz der Gewässer gegenüber dem Klimawandel erhöhen. Weiter werden für jeden Aufgabenbereich Vorschläge zur Weiterentwicklung abgeleitet.

Der vorliegende Bericht versteht sich als erste Analyse und fachlicher Diskussionsbeitrag.

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage und Ziel

Das Gewässerschutzrecht ist meist unabhängig vom Klimawandel entstanden. Eine Analyse soll darum zeigen, ob das Gewässerschutzrecht und dessen Vollzug aufgrund der Auswirkungen des Klimawandels weiterentwickelt werden müssen.

Die Ergebnisse des BAFU-Projekts Hydro-CH2018¹ zeigen klar, dass die Auswirkungen des Klimawandels auf die Abflussdynamik und Gewässertemperatur bereits messbar sind und sich diese in Zukunft noch weiter verstärken werden. So verändern sich infolge der Verschiebung der Niederschläge vom Sommer in den Winter, einer früheren Schneeschmelze und dem Abschmelzen der Gletscher die saisonalen Abflüsse. Im Sommer und Herbst treten im Mittelland und Jura häufiger Niedrigwasser auf. Gleichzeitig können zunehmende Starkniederschläge insbesondere bei kleinen Fliessgewässern zu häufigeren Hochwassern führen. Die mittleren Wassertemperaturen der Fliessgewässer sind seit den 1980er Jahren um mehr als 0.3 °C pro Jahrzehnt angestiegen und dieser Trend wird sich auch in den nächsten Jahrzehnten fortsetzen. Die Konsequenzen für das Gewässersystem mit dessen Nutzungen und für Flora und Fauna sind vielfältig und je nach Gewässer unterschiedlich.

Das BAFU hat daher EcoPlan beauftragt, zusammen mit internen und externen Expertinnen und Experten das Gewässerschutzrecht und dessen Vollzug hinsichtlich des Klimawandels zu überprüfen. Die Arbeiten dazu erfolgten in enger Zusammenarbeit mit Hydro-CH2018. Der vorliegende Bericht fasst die Resultate aus diesem Prozess zusammen. Es handelt sich dabei um eine erste Auslegeordnung und keine abschliessende Beurteilung.

1.2 Untersuchte Aufgabenbereiche

Untersucht wurde das Gewässerschutzrecht samt dessen Vollzugsinstrumenten (Stand 01.01.2020). Aus den Aufträgen des GSchG (Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer, SR 814.20) und der GSchV (Gewässerschutzverordnung, SR 814.201) wurden acht Aufgabenbereiche abgeleitet. Es sind dies:

- Gewässerbeobachtung und -beurteilung
- Erhaltung eines naturnahen Temperaturzustandes der Gewässer
- Siedlungsentwässerung und Abwasserreinigung
- Reduktion diffuser Stoffeinträge aus der Landwirtschaft
- Grundwasserschutz und Wasserversorgung (Trink- und Brauchwasser)
- Sicherung angemessener Restwassermengen
- Ökologische Sanierung Wasserkraft
- Revitalisierung und Gewässerraum

¹ BAFU (2021), Auswirkungen des Klimawandels auf die Schweizer Gewässer.

Pro Aufgabenbereich sind die wichtigsten Gesetzes- und Verordnungsartikel sowie Vollzugsinstrumente in Abbildung 1-1 zusammengestellt. Bei der Herleitung der acht Aufgabenbereiche wurde darauf geachtet, dass alle wichtigen Aufträge aus dem GSchG abgedeckt sind und dass die Gesetzesgrundlagen und Vollzugsinstrumente möglichst eindeutig einem Aufgabenbereich zugewiesen werden konnten. Einzelne Überlagerungen konnten nicht vermieden werden. So sind bspw. die Sorgfaltspflicht und das Verunreinigungsgebot wichtige Grundsätze für mehrere Aufgabenbereiche.

Aufgabenbereiche, welche nicht im GSchG geregelt sind, wurden nicht untersucht, dazu zählen insbesondere:

- der Schutz der Auen und Feuchtgebiete aus dem NHG (Bundesgesetz über den Natur- und Heimatschutz, SR 451)
- der Schutz und die nachhaltige Nutzung von Fischen- und Flusskrebsen aus dem BGF (Bundesgesetz über die Fischerei, SR 923.0)
- die Nutzung der Wasserkraft (Bundesgesetz über die Nutzbarmachung der Wasserkräfte, SR 721.80)

Ebenfalls nicht untersucht wurden Massnahmen aus dem GSchG an Seen.

Abbildung 1-1: Untersuchte Aufgabenbereiche und deren Vollzugsinstrumente

Aufgabenbereich	GSchG	GSchV	Vollzugsinstrumente
Gewässerbeobachtung und -beurteilung	<ul style="list-style-type: none"> – Art. 50: Prüfung und Information über Gewässerzustand – Art. 57 Erhebung von gesamtschweizerischem Interesse 	<ul style="list-style-type: none"> – Anh. 1, 2: Ökologische Ziele für Gewässer, Anforderungen an die Wasserqualität – Art. 49: Information über Gewässerzustand, Geoinformation 	<ul style="list-style-type: none"> – Nationale Beobachtung der Oberflächengewässerqualität (NAWA) und der Grundwasserqualität (NAQUA) – Modul-Stufen-Konzept (MSK)
Erhaltung eines naturnahen Temperaturzustandes der Gewässer	<ul style="list-style-type: none"> – Art. 3. Sorgfaltspflicht, Einleitbedingungen 	<ul style="list-style-type: none"> – Art. 44, Anh. 1-3: Ökologische Ziele, naturnahen Temperaturverhältnisse, Wärmeeintrag 	<ul style="list-style-type: none"> – NAWA – Nationale Grundwasserbeobachtung (NAQUA)
Siedlungsentwässerung und Abwasserreinigung	<ul style="list-style-type: none"> – Art. 6: Verunreinigungsverbot – Art. 7-18: Abwasserbeseitigung, -reinigung, -behandlung 	<ul style="list-style-type: none"> – Art. 3-5: Kommunale und regionale Entwässerungsplanung – Art. 6-10, Anh. 3: Ableitung von verschmutztem Abwasser – Art. 4 zentrale ARAs – Art. 6 Anh. 3: Einleitbedingungen für Abwasser 	<ul style="list-style-type: none"> – Regionaler Entwässerungsplan (REP) – Genereller Entwässerungsplan (GEP)
Reduktion diffuser Stoffeinträge aus der Landwirtschaft	<ul style="list-style-type: none"> – Art. 3, 6: Sorgfaltspflicht, Verunreinigungsverbot – Art. 27: Bodenbewirtschaftung 	<ul style="list-style-type: none"> – Art. 14, 22-28: Nutztierhaltung – Art. 62a: Massnahmen der Landwirtschaft 	<ul style="list-style-type: none"> – Aktionsplan PSM – Vollzugshilfen Umweltschutz in der Landwirtschaft

Aufgabenbereich	GSchG	GSchV	Vollzugsinstrumente
		– Anh. 2 Anforderungen an die Wasserqualität	
Grundwasserschutz und Sicherung der Wasserversorgung (Trink- und Brauchwasser)	<ul style="list-style-type: none"> – Art. 19-21: Planerischer Grundwasserschutz – Art. 43: Erhaltung Grundwasservorkommen, Inventare – Art. 29-36, 80-83: Sicherung angemessener Restwassermengen 	<ul style="list-style-type: none"> – Art. 29-31, Anh.4: Planerischer Schutz der Gewässer – Art. 46: Koordinierte Trinkwasserversorgungsplanung – Art. 33-41: Q347, Mindestrestwassermengen 	<ul style="list-style-type: none"> – Vollzugshilfe Grundwasserschutz – Regionale Wasserversorgungsplanung – Regionale Wasserressourcenplanung
Sicherung angemessener Restwassermengen	<ul style="list-style-type: none"> – Art. 29-36, 80-83: Sicherung angemessener Restwassermengen 	<ul style="list-style-type: none"> – Art. 33-41: Q₃₄₇, Mindestrestwassermengen, Dotierwassermenge 	<ul style="list-style-type: none"> – Vollzugshilfe «Bestimmung angemessene Restwassermengen» – Restwasserberichte
Ökologische Sanierung Wasserkraft	<ul style="list-style-type: none"> – Art. 83 GSchG (basierend auf Art. 9 Abs. 1, 10 BGF): Sanierung Fischgängigkeit – Art. 39a: Sanierung Schwall Sunk – Art. 43a: Sanierung Geschiebehalt 	<ul style="list-style-type: none"> – Art. 41 e-g, Anh. 4a: Schwall und Sunk – Art. 42a-42c, Anh. 4a: Geschiebehalt 	<ul style="list-style-type: none"> – Vollzugshilfe «Renaturierung Gewässer» – «Best-Practice Fischwanderhilfe» – Wirkungskontrollen
Revitalisierung und Gewässerraum	<ul style="list-style-type: none"> – Art. 36a: Festlegung und extensive Bewirtschaftung des Gewässerraums – Art. 37, 38, 38a: Verbauungen, Revitalisierung 	<ul style="list-style-type: none"> – Art. 41a: Gewässerraum für Fließgewässer – Art. 41c: Extensive Gestaltung und Bewirtschaftung – Art. 41d: Planung von Revitalisierungen 	<ul style="list-style-type: none"> – Handbuch Programmvereinbarungen – Arbeitshilfe Gewässerraum – Biodiversitätsförderflächen via Direktzahlungsverordnung (DZV) – Vollzugshilfe "Revitalisierung Fließgewässer – Strategische Planung" – Vollzugshilfe Art. 4 WBG / Art. 37 GSchG (in Erarbeitung)

1.3 Vorgehen

Jeder Aufgabenbereich wurde zusammen mit Mitarbeitenden der Abteilung Wasser in einem Arbeitspapier analysiert. Die Leitfrage dafür lautete:

- *Müssen die Aufgabenbereiche inkl. deren heutige Vollzugspraxis angesichts des fortschreitenden Klimawandels weiterentwickelt werden, und wenn ja, wie?*

Jeder Aufgabenbereich wurde auf die folgenden Aspekte hin geprüft:

- a) Ausgangslage: Welches sind die Gesetzaufträge und Vollzugsinstrumente des Aufgabenbereichs?
- b) Beurteilung: Inwiefern ist der Aufgabenbereich von den Auswirkungen des Klimawandels betroffen und inwiefern werden diese bereits in der aktuellen Praxis berücksichtigt?
- c) Handlungsbedarf: Welche Weiterentwicklungen sind aufgrund des Klimawandels zu prüfen?

Dazu wurden die neusten Ergebnisse aus dem Projekt Hydro-CH2018 und weitere Literatur verwendet. Wo keine gesicherten Fakten vorlagen, wurde mit Thesen und Fragen gearbeitet.

Anschliessend wurden die Arbeitspapiere den weiteren betroffenen Abteilungen des BAFU (Hydrologie, Gefahrenprävention, Biodiversität und Landschaft) sowie der Geschäftsstelle von Wasseragenda 21 zur Stellungnahme vorgelegt und überarbeitet. Schliesslich wurden die Arbeitspapiere an externe Expertinnen und Experten von kantonalen Fachstellen, Forschungsinstitutionen und Verbänden vorgelegt (siehe Liste im Anhang).

Aus diesen Zwischenergebnissen wurden Vorschläge für den Handlungsbedarf abgeleitet und an einer Klausur der Abteilung Wasser diskutiert. Der vorliegende Bericht synthetisiert die Ergebnisse aus diesem Prozess. Es handelt sich dabei um eine erste Auslegeordnung und keine abschliessende Beurteilung.

2 Auswirkungen des Klimawandels auf Fliessgewässer und Grundwasser

Dieses Kapitel fasst die wichtigsten Erkenntnisse zu den Auswirkungen des Klimawandels aus dem Projekt Hydro-CH2018 zusammen. Es bildet die Grundlage für die nachfolgende Analyse in Kap. 3. Für weitere Details wird auf den Synthesebericht Hydro-CH2018² verwiesen.

2.1 Hydrologische Auswirkungen

Änderung der Abflussdynamik

Mit dem Klimawandel verändert sich die **saisonale Verteilung der Abflüsse** (Abflussregime). Dies bedeutet für alpine Einzugsgebiete eine saisonale Vorverschiebung der Abflusskurve mit höheren Abflüssen im Frühjahr. Auch im Winter ist eine Abflusszunahme zu beobachten, im Sommer und Herbst dagegen eine Abflussabnahme – ausser in vergletscherten Einzugsgebieten, da können die Sommerabflüsse vorübergehend zunehmen. Bei nicht alpin gespeisten Mittelland-Fliessgewässern führen die Veränderungen vor allem zu tieferen Abflüssen im Spätsommer und Herbst.³

Starkniederschläge werden merklich häufiger und intensiver auftreten als heute.⁴ Aus diesem Grund wird in kleinen Fliessgewässern, also in Bächen, und beim Oberflächenabfluss mit häufigeren Hochwasserabflüssen gerechnet. Anders als bei kleinen Einzugsgebieten werden die Hochwasserabflüsse in grösseren Gewässern massgeblich durch die Veränderung grossräumiger Wetterlagen bzw. der natürlichen Variabilität des Klimas beeinflusst. Es ist darum noch nicht klar, ob es bei grossräumigen Hochwasserabflüssen ebenfalls zu einer Zunahme kommen wird.⁵

Im Mittelland, Jura und auf der Alpensüdseite werden **Sommer- und Herbst-Niedrigwasser** in Zukunft deutlich ausgeprägter auftreten. Das heisst, die Abflüsse während Niedrigwasserereignissen sind tiefer, die Niedrigwasserperioden dauern länger und treten wahrscheinlich auch häufiger auf. Die Anzahl der Einzugsgebiete mit abnehmendem Q_{347} ⁶ nimmt zu, je ungebremster der Klimawandel voranschreitet oder je weiter man in die Zukunft blickt. Im Mittelland und Jura steigt mit häufigeren Niedrigwasserperioden auch die Wahrscheinlichkeit des Trockenfallens von Gewässerabschnitten.² Im voralpinen und alpinen Raum, darunter auch in der

² BAFU (Hrsg.) (2021), Synthesebericht Hydro CH-2018.

³ Weingartner (2018), Veränderungen der Abflussregime der Schweiz in den letzten 150 Jahren.

⁴ NCCS (2018), CH2018 – Klimaszenarien für die Schweiz.

⁵ Ruiz-Villanueva/Molnar (2020), Past, current and future changes in floods in Switzerland.

⁶ Abflussmenge, die, gemittelt über zehn Jahre, durchschnittlich während 347 Tagen des Jahres erreicht oder überschritten wird und die durch Stauung, Entnahme oder Zuleitung von Wasser nicht wesentlich beeinflusst ist.

Südschweiz, gibt es je nach Szenario⁷ unterschiedliche Signale. So zeigen einige dieser Einzugsgebiete bspw. für die nahe Zukunft eine Zunahme der Abflussmenge Q_{347} , bei einem langfristigen Szenario ohne Klimaschutz jedoch eine Abnahme. Einzig die höchstgelegenen Gebiete zeigen für jedes Klimaszenario tendenziell eine Zunahme von Q_{347} und damit weniger ausgeprägte Niedrigwassersituationen, was auf die zunehmenden Abflussmengen im Winter zurückzuführen ist.

Steigende Wassertemperaturen

Die mittleren Jahrestemperaturen der Schweizer Fliessgewässer haben in den letzten Jahrzehnten bereits signifikant zugenommen.⁸ Ein weiterer Anstieg kann bei konsequentem Klimaschutz bis Ende Jahrhundert auf unter 2 °C begrenzt werden (Vergleich zur Referenzperiode 1990 - 2010). Ohne Klimaschutz steigen die Wassertemperaturen jedoch deutlich stärker an. Noch stärker als im Jahresmittel werden sich die Fliessgewässer im Sommer erwärmen: Bei einem Szenario ohne Klimaschutz bis Mitte Jahrhundert bereits um ungefähr 2.5 °C im Mittelland und 3.6 °C in den Alpen, bis Ende des Jahrhunderts sogar um 3.1 bis 6.1 °C im Mittelland und 4.1 bis 8.1 °C in den Alpen.

Veränderungen im Grundwasser

Auf nationaler Ebene zeigen die Grundwasserressourcen in quantitativer Hinsicht über die letzten 20 Jahre keinen Trend für Veränderungen.⁹ Die Zunahme des Niederschlags im Winter und die zunehmende Trockenheit im Sommer und Herbst (weniger Niederschläge, höhere Verdunstung, frühere Schneeschmelze) führen aber dazu, dass sich die **Grundwasserneubildung** saisonal verschiebt. Dies allerdings mit grossen regionalen und lokalen Unterschieden. So bildet sich künftig in niederschlagsärmeren Gegenden im Sommer und Herbst kaum noch neues Grundwasser. Hingegen kann sich in alpinen Gebieten im Herbst länger Grundwasser bilden, da die Schneebedeckung später eintritt.

Wo sich Grundwasser durch Infiltration aus Fliessgewässern bildet, entscheiden nicht nur die Veränderungen beim lokalen Klima über die Neubildung, sondern auch die Veränderungen der Wasserführung bei Oberflächengewässern (siehe Abschnitt Änderung der Abflussdynamik).

Bei der **Grundwassertemperatur** ist schweizweit – im Gegensatz zu den Oberflächengewässern – noch keine eindeutige Erwärmung feststellbar¹⁰. Hingegen hat die Temperatur des

⁷ Die Emissionsszenarien (Representative Concentration Pathways RCP) geben an, wie sich die Treibhausgas- und Aerosolkonzentration entwickeln müssen, um ein bestimmtes Klimaziel zu erreichen. Das Szenario RCP2.6 geht davon aus, dass der Ausstoss von Treibhausgasen drastisch gesenkt wird. In diesem Fall würde ein zusätzlicher Strahlungsantrieb von 2.6 Watt pro m² bis Ende Jahrhundert erreicht. Je stärker der Klimaschutz ausfällt, desto mehr Emissionen können reduziert werden, desto tiefer fällt der Strahlungsantrieb aus. Das Szenario RCP8.5 entspricht einem Szenario ohne Klimaschutz und geht von einem Strahlungsantrieb von 8.5 Watt pro m² bis Ende Jahrhundert aus.

⁸ Michel/Brauchli et al. (2019), Stream temperature evolution in Switzerland over the last 50 years.

⁹ BAFU (2019), Zustand und Entwicklung Grundwasser Schweiz.

¹⁰ Schürch et al. (2018), Température des eaux souterraines.

Grundwassers rund um die grösseren Städte durch den menschlichen Einfluss (z. B. Abwärme von Einbauten im Grundwasser wie Gebäude oder Tunnels, Kühlwassernutzung) bereits zugenommen. Auch in Zukunft wird es grosse lokale Unterschiede der Grundwassertemperatur geben.¹¹

2.2 Auswirkungen auf das Ökosystem

Folgen des Klimawandels auf Biodiversität und Verbreitung von Arten

Sowohl die Wassertemperatur wie auch die Abflussdynamik haben einen starken Einfluss auf das **Artenspektrum**, welches natürlicherweise an einem Standort existiert. Da sich diese lokalen Lebensraumbedingungen unter dem Klimawandel stark verändern, ist damit zu rechnen, dass sich das Spektrum der vorkommenden Fische, Makrozoobenthos, Wasserpflanzen und anderen Arten in den Gewässern wandelt.¹²

So werden als Folge des Klimawandels kälteliebende Spezialisten seltener, und weniger anspruchsvolle Generalisten breiten sich aus. Die Problematik der gebietsfremden Arten (**Neobiota**) verschärft sich. Wenn sich Generalisten und gebietsfremde Arten ausbreiten, kann das lokal zu einer kurzfristigen Erhöhung der Artenzahl führen. Doch ist davon auszugehen, dass Lebensräume für die ursprünglich vorkommenden Spezialisten mit fortschreitendem Klimawandel seltener werden und sich verschiedene Artengesellschaften und ihre Lebensräume angleichen. Unter dem Strich führt der Klimawandel deshalb zu einem Verlust an biologischer Vielfalt. Das ist problematisch, denn diese Entwicklung gefährdet sowohl das Funktionieren von Ökosystemen wie auch die Leistungen, welche die Menschen von ihnen beziehen.¹²

Vielfältige Auswirkungen auf Wechselwirkungen des Ökosystems

Konkrete Voraussagen über die Bestandsentwicklung und Verbreitung von Arten sind heute noch kaum möglich, da sie neben den lokalen Lebensraumbedingungen auch von vielfältigen und komplexen Wechselwirkungen im Ökosystem abhängen. So hat der Klimawandel grosse Auswirkungen auf das Auftreten bestimmter Entwicklungsprozesse im Jahresverlauf (Phänologie).¹³ Beispielsweise wird bereits heute infolge erhöhter Temperaturen ein früheres Schlüpfen von aquatischen Insekten und eine früher einsetzende Frühjahrsblüte beim Phyto- und Zooplankton beobachtet.¹⁴ Damit kann der Klimawandel auf einer längerfristigen Zeitskala die Nahrungspyramide über mehrere Stufen hinweg auf komplexe Weise beeinflussen.¹⁵ Weiter trägt der Klimawandel dazu bei, dass die **ökologische Vernetzung** entlang der Gewässer

¹¹ Epting/Huggenberger (2013), Unraveling the Heat Island Effect Observed in Urban Groundwater Bodies.

¹² Benateau et al. (2019), Climate change and freshwater ecosystems.

¹³ Altermatt et al. (2010), Tell me what you eat and I'll tell you when you fly.

¹⁴ Everall et al. (2015), Detecting phenology change in the mayfly *Ephemera danica*: responses to spatial and temporal water temperature variations.

¹⁵ Z. B. Van Asch et al. (2013), Evolutionary response of the egg hatching date of a herbivorous insect under climate change.

reduziert wird, insbesondere wenn Gewässer neu oder häufiger trockenfallen oder zu warm werden.¹⁶

Noch wenig erforscht ist, wie sich das Zusammenspiel der klimabedingten Zunahme von kurzfristigen Störungen («**Pulse**», z. B. Extremsituationen) und langsam ablaufenden Veränderungen («**Press**», z. B. steigende Wassertemperaturen) und deren Überlagerung auf längere Sicht auf die Gewässerökosysteme auswirken.¹⁷ Angesichts des komplexen Zusammenwirkens stellt sich auch die Frage, wann und wo es mit fortschreitendem Klimawandel in kurzer Zeit zu irreversiblen Veränderungen in Ökosystemen (sogenannte «**Tipping-Points**») kommen kann.¹⁸

¹⁶ Altermatt et al. (2013), River network properties shape α -diversity and community similarity patterns of aquatic insect communities across major drainage basins.

¹⁷ Z. B. Harris et al.¹⁷ (2018), Biological responses to the press and pulse of climate trends and extreme events.

¹⁸ Z. B. Scheffner et al. (2001), Catastrophic shifts in ecosystems.

3 Resultate und Diskussion

Gewässer in der Schweiz sind aufgrund einer Vielzahl menschlicher Einflüsse stark unter Druck und weisen oft grosse ökologische Defizite auf. Der Gewässerschutz hat zum Ziel, dass Gewässer ihre grundlegenden Funktionen als Lebensraum für Pflanzen und Tiere, als Trinkwasserressource und Erholungsraum für die Menschen sowie als Grundlage für wirtschaftliche Aktivitäten (z. B. Stromproduktion, Tourismus, Wärmenutzung, Bewässerung) erfüllen können. Als Basis dafür wird im Gewässerschutzrecht ein natürlicher oder zumindest naturnaher Gewässerzustand gefordert. Unter dem naturnahen Zustand versteht man in der Praxis einen nicht oder nur schwach anthropogen beeinflussten Zustand. Dabei entspricht der **naturnahe** Zustand dem bestmöglichen Zustand unter den gegebenen Rahmenbedingungen und er kann vom **natürlichen** Zustand abweichen. Der naturnahe Zustand soll mittels diverser Massnahmen aus den hergeleiteten Aufgabenbereichen erreicht werden. Bevor auf diese detaillierter eingegangen wird (Kap. 3.2 - 3.9), stellt sich zunächst die übergeordnete Frage, wie Begriffe des GSchG wie «naturnaher Zustand» oder analog auch «standorttypische Artenzusammensetzung» oder «unbeeinflusster Zustand» vor dem Hintergrund des Klimawandels zu verstehen sind.

3.1 Übergeordnete rechtliche Fragestellungen

Aus rechtlicher Sicht stellt sich die Frage, ob es sich bei klimabedingten Veränderungen der Gewässer um eine Abweichung des natürlichen, naturnahen bzw. unbeeinflussten Zustands handelt. Die rechtliche Situation präsentiert sich gemäss den Abklärungen des BAFU wie folgt:

- Anhang 1 GSchV zeigt die Ziele auf, die mit den Massnahmen zum Schutz der Gewässer langfristig anzustreben sind.
- In den Erläuterungen zur GSchV heisst es allgemein zum Ziel des Gewässerschutzes: «Die Lebensgemeinschaften der Gewässer sollen sich selbst reproduzieren und regulieren können und der Lebensraum soll so beschaffen sein, dass die Organismen eine Artenvielfalt und Häufigkeit aufweisen, die typisch sind für den naturnahen Zustand des Gewässers.»

Die Anforderungen zeigen also **eine Art Richtgrösse** auf, die mit geeigneten Massnahmen erreicht werden soll und auch **langfristig erreicht werden kann**.

Mit Massnahmen zur Förderung eines naturnahen Zustands der Gewässer (bspw. durch Vorgaben von Grenzwerten bei Wassereinleitungen, baulichen Eingriffen am Gewässer oder einer angepassten Landnutzung im Einzugsgebiet des Gewässers) können die klimabedingten Auswirkungen (siehe Kap. 2) der Gewässer nicht rückgängig gemacht werden. So kann bspw. die Erreichung von Temperaturverhältnissen vor der klimabedingten Erwärmung der Gewässer langfristig mit Gewässerschutzmassnahmen nicht erreicht werden. Damit ist der Begriff «naturnahe Temperaturverhältnisse» in Anhang 1 GSchV so zu verstehen, dass die Temperaturverhältnisse möglichst so sein sollen, wie sie mit klimabedingter Erwärmung, aber ohne direkte anthropogene Eingriffe in das Gewässersystem und sein Einzugsgebiet wären.

Daraus folgt, **dass klimabedingte Veränderungen grundsätzlich als Teil des naturnahen Zustands betrachtet werden müssen**¹⁹. Diese Handhabung kommt analog bei anderen Begriffen aus dem Gewässerschutzrecht zum Tragen, wie z. B. den Auswirkungen des Klimawandels auf die «standorttypische Vielfalt und Häufigkeit von Organismen».

Dies heisst jedoch nicht, dass die Auswirkungen auf die Gewässerökosysteme «tatenlos» hinzunehmen sind. Die im Rahmen dieses Projekts durchgeführten Abklärungen bestätigen, dass sich die Massnahmen zur Wiederherstellung **naturnaher Gewässer** zur **Anpassung** an den Klimawandel oder zur **Milderung** dessen Auswirkungen zentral sind, weil dadurch die **Resilienz** (siehe Box) gegenüber dem Klimawandel erhöht wird, z. B. durch:

- eliminierte (siehe Kap. 3.4) oder reduzierte (siehe Kap. 3.5, 3.6) Stoffeinträge
- verbesserte Wasserführung (siehe Kap. 3.7)
- wiedervernetzte Gewässer (siehe Kap. 3.8, 3.9)
- eine höhere Struktur- und Lebensraumvielfalt (siehe Kap. 3.9)

Die nachfolgenden Kapitel zeigen auf, inwiefern eine Weiterentwicklung der aktuellen Praxis vor dem Hintergrund des Klimawandels zu empfehlen ist.

Verwendung des Begriffs «Resilienz»

Der Resilienz-Begriff wird in der Wissenschaft unterschiedlich verwendet. Häufig werden unter Resilienz – wie im vorliegenden Bericht – die beiden Systemfähigkeiten Widerstand und Wiederherstellung verstanden:²⁰

- Widerstand: die Fähigkeit eines Systems, trotz einer Störung unverändert zu bleiben (Resistance)
- Wiederherstellung: die Fähigkeit eines Systems, nach der Störung in seinen ursprünglichen Zustand zurückzukehren (Recovery)

3.2 Gewässerbeobachtung und -beurteilung

a) Gesetzesauftrag und Vollzugsinstrumente

Als Grundlage für effiziente und zielgerichtete Gewässerschutzmassnahmen ist es zentral, den Gewässerzustand genau zu beobachten und die Ursachen von nachteiligen Einwirkungen zu kennen. Letzteres dient auch als Grundlage für die Finanzierung von Massnahmen gemäss

¹⁹ Entsprechend wird im vorliegenden Bericht zwischen «direkten» menschlichen Stressoren auf die Gewässer und «klimabedingten» Stressoren unterschieden.

²⁰ Möst (2020), A short contribution on the topic of resilience. The many faces of resilience.

Verursacherprinzip (Art. 3a GSchG). Das GSchG beauftragt den Bund, Erhebungen von gesamtschweizerischem Interesse über die Wasserqualität durchzuführen (Art. 57 GSchG), die Auswirkungen des GSchG zu prüfen und die Öffentlichkeit über den Zustand der Gewässer zu informieren (Art. 50 GSchG). Die Grundlagen für die Beurteilung des Gewässerzustands liefert die GSchV: Anhang 1 beschreibt die ökologischen Ziele und Anhang 2 enthält verbale und numerische Anforderungen an die Wasserqualität und legt damit die Grundlage zur Beurteilung, ob Schutz- und Sanierungsmaßnahmen nötig sind.

Als Basis für die Gewässerbeobachtung und -Beurteilung betreibt der Bund zusammen mit den Kantonen verschiedene **Messnetze** (siehe Abbildung 3-1).

Abbildung 3-1: Wichtigste nationale Messnetze zur Gewässerbeobachtung

Gewässertyp	Messnetz	Zweck
Oberflächengewässer	NAWA _{Trend}	Dauerbeobachtung Fließgewässer
	NAWA _{SPEZ}	Problembezogene Spezialuntersuchungen Fließgewässer
	NADUF	Dauerbeobachtung Frachten Fließgewässer
Grundwasser	NAQUA _{Trend}	beide Langzeitbeobachtung Grundwasserqualität
	NAQUA _{Spez}	
	NAQUA _{Quant}	Dauerbeobachtung Grundwasser

Die in der GSchV hinsichtlich Gewässerzustand formulierten Anforderungen und Ziele werden durch national standardisierte **Beurteilungsmethoden** überprüft, welche im sogenannten Modul-Stufen-Konzepts (**MSK**)²¹ zusammengefasst sind. Die Methoden umfassen Untersuchungen in den Bereichen:

- Hydrologie
- Struktur und Gewässerchemie (Ökomorphologie)
- Wasserchemie und Ökotoxikologie
- Lebensgemeinschaften von Tieren, Pflanzen und Mikroorganismen (Biologie)

Die Methoden werden in Zusammenarbeit mit den Kantonen und der Forschung laufend weiterentwickelt und dabei mit den Messungen, welche die Kantone eigenständig durchführen, harmonisiert.

b) Beurteilung der aktuellen Praxis hinsichtlich Klimawandel

Beurteilungsmethoden

Der Klimawandel wirkt sich bereits heute – und in Zukunft noch verstärkt – negativ auf die aquatischen Ökosysteme und somit auf den Gewässerzustand aus. Da es für zielorientierte

²¹ www.modul-stufen-konzept.ch

und effiziente Gewässerschutzmassnahmen essenziell ist, die Ursachen von Defiziten beim Zustand der Gewässer zu kennen, müssen die Folgen von klimabedingten Veränderungen von anderen, «direkten» menschlichen Stressoren (z. B. die Folgen von Chemikalieneinträgen, Gewässerverbauungen) unterschieden werden können. Die in NAWA gemessenen Parameter und die MSK-Methoden sind auf «direkte» menschliche Einflussfaktoren ausgelegt und die Auswirkungen des Klimawandels auf die Gewässer werden nicht explizit beurteilt. Es ist heute unklar, wie sensitiv die einzelnen MSK-Methoden auf den Klimawandel reagieren, bzw. ob der Klimawandel andere menschliche Einflussfaktoren bei der Beurteilung des Gewässerzustands teilweise übersteuert. Für die Weiterentwicklung der Methoden ist es darum zentral, dass diese auch mit fortschreitendem Klimawandel die diversen menschlichen Einflüsse – die durch Gewässerschutzmassnahmen beeinflusst werden können – differenziert nachweisen können. Für eine transparente Kommunikation und eine erfolgreiche Gewässerschutzpolitik ist es zudem wichtig, die Einflüsse des Klimawandels zu erfassen und wenn möglich von den übrigen Einflussfaktoren unterscheiden zu können.

Messnetze

Mit dem NAWA-Messstellennetz können die klimabedingten Veränderungen der Gewässer heute nur bedingt nachvollzogen werden. Es werden darum verschiedene Weiterentwicklungen vorgeschlagen (siehe Abschnitt Handlungsbedarf). Neben der Überprüfung von NAWA im Rahmen dieses Berichts, wird zurzeit das Konzept zur NAQUA QUANT überprüft. Dabei wird u. a. abgeklärt, ob die Ausrichtung und Zahl der Messstellen in Bezug auf Niedrigwasserverhältnisse und Temperaturänderungen angepasst werden müssen.

c) Handlungsbedarf

Die Methoden der Gewässerbeobachtung und -beurteilung sind so weiterzuentwickeln, dass sowohl die Auswirkungen des Klimawandels als auch die Auswirkungen anderer anthropogener Stressoren dokumentiert und wenn möglich voneinander unterschieden werden können. Weiterentwicklungen sind bei den Indikatoren und Methoden sowie beim Messstellennetz nötig. Bei der nachfolgenden Auflistung handelt es sich um Vorschläge zur Weiterentwicklung. Sie sind mit anspruchsvollen wissenschaftlichen Fragestellungen verbunden und entsprechend ressourcenintensiv. Für die Umsetzung bedarf es eines breiten Einbezugs von Forschung und Praxis.

- Vorschläge zur Weiterentwicklung der **Indikatoren und Methoden**:
 - Für MSK-Indikatoren Sensitivität bezüglich Klimaauswirkungen kennen; prüfen, ob klima-sensitive und nicht klima-sensitive Indikatoren entwickelt werden können
 - Klimasensitiver biologischer Indikator entwickeln
 - Beobachtung der durch den Klimawandel geförderten Verbreitung invasiver Arten intensivieren
- Vorschläge zur Weiterentwicklung des **Messstellennetzes**:
 - Bei NAWA Temperatur als neuen Parameter mitmessen

- Referenzstellen mitmessen, wo es abgesehen vom Klimawandel nur wenig anthropogene Einflüsse gibt
- Messstellennetz in höhere Regionen ausdehnen, da dort durch Klimawandel starke direkte Veränderungen in Gewässern und veränderte Nutzungen (z. B. Wasserkraft, Beschneidung, Landwirtschaft) erwartet werden

Abbildung 3-2: Handlungsbedarf Gewässerbeobachtung und -beurteilung

Thema	Vorschläge weiteres Vorgehen	Vollzugsinstrument	Mit wem?
Weiterentwicklung NAWA und MSK	Indikatoren, Methoden und Messstellennetz schrittweise mit Forschung und Vollzugsstellen weiterentwickeln (siehe Vorschläge im Text)	NAWA, NAQUA MSK	Abt. Hydrologie, Gremien Gewässerbeurteilung inkl. EAWAG, Kantone, VSA Plattform Wasserqualität

3.3 Erhaltung eines naturnahen Temperaturzustandes der Gewässer²²

a) Gesetzesauftrag und Vollzugsinstrumente

Das Gewässerschutzrecht möchte verhindern, dass anthropogene Temperaturveränderungen sich negativ auf Gewässerorganismen auswirken. Dazu soll die Wasserqualität so beschaffen sein, dass die Temperaturverhältnisse naturnah sind (Anh. 1 GSchV), was sich auf die Sorgfaltspflicht (Art. 3 GSchG) abstützt. Für Einleitungen in Fliessgewässer und Flussauen gilt, dass die Erwärmung in der Forellenregion max. 1.5 °C und ausserhalb 3 °C betragen darf (Anh. 3.3. Ziff. 21 GSchV). Dies gilt nicht für Einflüsse, welche durch das Gewässerschutzrecht nicht beeinflusst werden können, wie z. B. die klimabedingte Erwärmung (siehe dazu Kap. 3.1). Weiter darf in Oberflächengewässer, die wärmer als 25°C sind, grundsätzlich – mit wenigen Ausnahmen – keine Wärme abgegeben werden (Anh. 3.3 Ziff. 21 GSchV). Die Gewässerschutzverordnung hält weitere verbale (Anh. 2 Ziff. 12 Abs. 3 GSchV) und numerische Anforderungen (Anh. 2 Ziff. 12 Abs. 4 GSchV; Anh. 2 Ziff. 12 GSchV) an die Wassertemperatur fest. Diese gesetzlichen Grundlagen gelten auch für das Grundwasser, wobei örtlich eng begrenzte Temperaturveränderungen vorbehalten sind (Anh. 2 Ziff. 21 Abs. 3 GSchV).

Mit Ausnahme der Kernkraftwerke wird die Bewilligung von Einleitungen i. d. R durch die Kantone erteilt. Dazu existieren keine expliziten Vollzugsinstrumente des Bundes.

²² Lesehinweis: Seen sind nicht Bestandteil des Projekts, das Kapitel beschränkt sich darum auf Temperaturveränderungen bei Fliessgewässern und Grundwasser.

b) Beurteilung der aktuellen Praxis hinsichtlich Klimawandel

Mit fortschreitendem Klimawandel werden die Wassertemperaturen weiter ansteigen (siehe Kap. 2). Daneben verändern auch weitere anthropogene Effekte die Gewässertemperaturen. Durch die thermische Nutzung der Gewässer – also das Heizen oder Kühlen mittels Grund- oder Oberflächenwasser – wird die Wassertemperatur direkt beeinflusst. Zusätzlich können bauliche Veränderungen wie bspw. Stauhaltungen an Oberflächengewässern und Einbauten im Grundwasser die Gewässertemperatur indirekt verändern. Auch punktuelle Einleitungen von ARAs oder die Strassenentwässerung können Temperatureffekte haben.

Aus Sicht der Gewässerökosysteme ist es wichtig, dass anthropogene Temperaturveränderungen der Gewässer die Auswirkungen des Klimawandels nicht massgeblich verstärken und dass die gesetzlichen Anforderungen entsprechend vollzogen werden. Es fehlt jedoch eine Bestandsaufnahme, wo welche anthropogenen Aktivitäten die Gewässertemperatur wie stark beeinflussen und wie die Kantone die oben genannten Anforderungen vollziehen. Basierend auf dem aktuellen Wissensstand werden die gesetzlichen Grundlagen aber weiterhin als zielführend beurteilt.

c) Handlungsbedarf

Vor dem Hintergrund des Klimawandels, ist eine Bestandsaufnahme der wichtigsten Wärmeleiter in die Fliessgewässer zu empfehlen. Eine solche Bestandsaufnahme sollte die Wärmeeinträge in Relation zum Abfluss des Fliessgewässers aufzeigen, sprich wie stark sich das Fliessgewässer durch die Einleitung erwärmt (Delta T).

Abbildung 3-3: Handlungsbedarf Erhaltung eines naturnahen Temperaturzustandes der Gewässer

Thema	Vorschläge weiteres Vorgehen	Vollzugsinstrument	Mit wem?
Bestandsaufnahme anthropogener Wärmeeinträge in Fliessgewässer	Erfassung der anthropogenen Temperaturveränderungen an den Gewässern, die nicht auf den Klimawandel zurückgehen	Wissensgrundlage	Abt. Hydrologie, Gremien Gewässerbeurteilung, inkl. EAWAG, Kantone, VSA Plattform Wasserqualität

3.4 Siedlungsentwässerung und Abwasserreinigung

a) Gesetzesauftrag und Vollzugsinstrumente

Im Bereich Siedlungsentwässerung und Abwasserreinigung (nachfolgend Siedlungswasserwirtschaft genannt) stehen folgende gesetzliche Aufträge im Vordergrund: Grundsätzlich sieht

das GSchG vor, dass keine verunreinigenden Stoffe ins Wasser eingebracht werden dürfen (Art. 6) und dass verschmutztes Abwasser zu behandeln ist (Art. 7).

- Verschmutztes Abwasser kann in ein Gewässer eingeleitet werden, wenn die Behörde dies bewilligt (Art. 6 GSchV) und die Anforderungen an die Einleitung gemäss Anhang 3 GSchV eingehalten sind. Die Behörde kann die Anforderungen an die Einleitung verschärfen, u. a. wenn die Anforderungen an die Wasserqualität gemäss Anhang 2 GSchV nicht erfüllt werden. Für die Erstellung öffentlicher Kanalisationen und zentraler Abwasserreinigungsanlagen (ARAs) sorgen die Kantone (Art. 10 GSchG).
- Nicht verschmutztes Abwasser hingegen ist gemäss Anordnungen der kantonalen Behörde versickern zu lassen, sofern dies die örtlichen Verhältnisse erlauben. Dabei sind nach Möglichkeit Rückhaltmassnahmen zu treffen, um auch bei grossen Mengen einen gleichmässigen Abfluss zu gewährleisten.

Die wichtigsten Vollzugsinstrumente der Siedlungswasserwirtschaft sind der generelle (GEP) und regionale Entwässerungsplan (REP) (Art. 3-5 GSchV). Mit einem GEP²³ sorgen die Kantone dafür, dass die Gemeinden einen sachgemässen Gewässerschutz und eine zweckmässige Siedlungsentwässerung gewährleisten. Müssen Gewässerschutzmassnahmen aufeinander abgestimmt werden, ist ein REP sinnvoll.

b) Beurteilung der aktuellen Praxis hinsichtlich Klimawandel

Siedlungsentwässerung

Die bedeutendsten Konsequenzen des Klimawandels für die Siedlungsentwässerung sind einerseits zunehmende Starkniederschläge und andererseits häufiger und länger auftretende Niedrigwasser, welche besonders im Sommer auch in Kombination mit erhöhten Temperaturen auftreten. Fällt in kurzer Zeit eine grosse Regenmenge, kann dies in Bächen zu Hochwassern, bei Flächen zu Oberflächenabfluss bzw. Überschwemmungen und in der Kanalisation und den ARA zu einer kurzzeitigen hydraulischen Überlastung führen. Bei einer Mischkanalisation – was 70 %²⁴ der Siedlungsfläche entspricht – fliesst im Überlastungsfall das überschüssige Wasser zunächst in Regenüberlaufbecken. Sind diese jedoch gefüllt, kommt es zur Mischwasserentlastung, also zum Abfluss von ungereinigtem Abwasser in Oberflächengewässer. Dabei gelangt Schmutzwasser aus der Kanalisation direkt in Flüsse und Seen (pro Jahr schätzungsweise 3.5 %²⁴ des häuslichen Abwassers). Das Kanalisationssystem wird üblicherweise auf ein 5- bis 10-jährliches Ereignis dimensioniert.²⁵ Eine Dimensionierung auf die Wassermengen seltener Starkniederschläge wäre unverhältnismässig bzw. nicht kosteneffizient.

Um besser auf Starkniederschläge vorbereitet zu sein, sind Massnahmen des Regenwasser-managements wie Retention, Versickerung und Entwässerung von Niederschlägen, z. B.

²³ Siehe VSA (2010), Erläuterungen zum GEP-Musterpflichtenheft.

²⁴ Staufer/Ort (2012), Mikroverunreinigungen aus diffusen Quellen, S. 2.

²⁵ Es ist zu beachten, dass es sich bei einem 5-10 jährlichen Ereignis um eine statistische Grösse handelt. Mit der Zunahme von Starkniederschlägen ist nicht mehr gewährleistet, dass diese Grösse nach wie vor repräsentativ ist für ein alle 5 bis 10 Jahre wiederkehrendes Regenereignis.

durch Regenkanäle, zentral. Diese sollen im Rahmen einer gesamtheitlichen Planung identifiziert und in den bestehenden Planungsinstrumente GEP und REP festgehalten werden.

Die Herausforderungen rund um das Thema Starkniederschläge wurde erkannt und vom BAFU, ARE und VSA wurden in den letzten Jahren folgende Grundlagen erarbeitet bzw. sind in Erarbeitung:

- Neue VSA-Richtlinie «Abwasserbewirtschaftung bei Regenwetter»²⁶ mit Inhalten zur Förderung eines naturnahen Wasserkreislaufs
- Gefährdungskarte Oberflächengewässer²⁷ als Grundlage für den Hochwasserschutz und die Siedlungsentwässerung
- BAFU-Wissen «Regenwasser im Siedlungsraum» (i. E.)

Zum Umgang mit Oberflächenabfluss bei Starkregen sind jedoch noch weitere Grundlagen nötig. Das BAFU plant zusammen mit dem VSA einen weiteren Bericht, welcher Beiträge der Siedlungsentwässerung zur Risikominimierung bei Oberflächenabfluss aufzeigen soll.

Ein verstärkter Wasserrückhalt in Siedlungsgebieten ist auch angesichts der zunehmenden Hitzebelastung in den Städten wichtig. So wird anhand des «Schwammstadt-Prinzips»²⁸ versucht, Wasser möglichst lange in Siedlungen zurückzuhalten, um es dann u.a. zur Kühlung der Siedlungen und Bewässerung der begrünten Dächer zu nutzen. Das BAFU und ARE haben in einem Bericht Grundlagen und Massnahmenvorschläge zur klimaangepassten Stadtentwicklung²⁹ vorgestellt.

Abwasserreinigung

Aufgrund der hohen Bevölkerungsdichte steht bei der Abwasserreinigung das Mittelland im Fokus, welches mit fortschreitendem Klimawandel von ausgeprägteren Niedrigwasserereignissen betroffen ist. Während Niedrigwasserzeiten verschlechtern sich die Verdünnungsverhältnisse im Vorfluter. Somit erhöhen sich bei gleichbleibender Reinigungsleistung der ARAs (und somit der eingeleiteten Fracht) die Stoffkonzentrationen. Dies ist bei Trockenheit und Hitze umso problematischer, als erhöhte Stoffkonzentrationen während Perioden auftreten, in welchen die Wasserlebewesen bereits aufgrund hoher Wassertemperaturen unter Stress stehen. Die aktuelle Praxis mit dem zielorientierten Ausbau der ARAs mit einer neuen Reinigungsstufe zur Elimination von Mikroverunreinigungen, die Verbesserung der biologischen Abwasserreinigung und der Reinigungsleistung, sowie die Professionalisierung des Betriebs wirken kritischer Wasserqualität bei Niedrigwasser bereits entgegen. In Einzelfällen kann die damit einhergehende Regionalisierung von ARAs allerdings auch negative Auswirkungen auf den Wasserhaushalt haben, insbesondere für kleinere Seitengewässer und Karstgebiete. Dort können

²⁶ VSA (2019), Richtlinie «Abwasserbewirtschaftung bei Regenwetter».

²⁷ BAFU/ASA et al. (2018), Zusammenfassung Gefährdungskarte Oberflächenabfluss.

²⁸ Siehe z.B. Bennerscheidt (2018), Das Schwammstadt-Prinzip – Regenwasser-Bewirtschaftung mit duktilen Gussrohren.

²⁹ BAFU/ARE (2018), Hitze in Städten – Grundlagen für eine klimagerechte Stadtentwicklung.

Einleitungen aus ARAs bei Trockenwetter teilweise einen wesentlichen Anteil (bis zu 80 %) zum Gesamtabfluss beitragen.³⁰ Durch eine Regionalisierung fällt dieser Anteil weg und die Einleitung erfolgt in einen grösseren Vorfluter. In solchen Fällen braucht es darum eine Abwägung zwischen einem möglichst guten Wasserhaushalt und der Wasserqualität. In Anlehnung an das GSchG stellt sich dabei immer auch die Frage nach dem möglichst naturnahen Zustand des Gewässers. Weiter ist es in Bezug auf Niedrigwasser wichtig, dass die Kantone laufend überprüfen, ob aufgrund ungenügender Wasserqualität eine Anpassung der Anforderungen an die Abwassereinleitung notwendig ist.

c) Handlungsbedarf

Damit die Auswirkungen des Klimawandels im Vollzug besser berücksichtigt werden, sollten die Kantone dafür sorgen, dass die GEP und REP aktualisiert werden. Es sollte insbesondere geprüft werden wie die GEP und REG angepasst werden müssen, damit in der Zukunft optimal mit Starkniederschlägen umgegangen wird und wie ein möglichst langer Wasserrückhalt im Hinblick auf Hitze- und Trockenperioden gewährleistet wird. Die Gemeinden sollen im GEP die nötigen Massnahmen aufführen, damit ein Wandel zur klimaangepassten Siedlungsentwässerung stattfindet. Das BAFU prüft, wie diese Aufgaben in der Gesetzgebung präzisiert werden können. Die Empfehlungen des VSA (GEP-Musterpflichtenheft) und weitere Instrumente sollen um das Thema Starkniederschläge und Umgang mit Trockenperioden ergänzt werden

Der zielorientierte Ausbau der ARAs wirkt den Auswirkungen des Klimawandels bereits entgegen und ist darum fortzusetzen. Die Massnahmen im Abwasserbereich sollen zukünftig noch besser auf Niedrigwasserperioden ausgerichtet werden. Dann wird das gereinigte Abwasser aus den ARA in den Fliessgewässern deutlich weniger verdünnt. Durch eine weitere Verbesserung der Reinigungsleistung der ARA kann der Schutz der Wasserlebewesen weiter verbessert werden. Neben der Reduktion der Mikroverunreinigungen soll auch die Stickstoffelimination erhöht werden.

³⁰ Siehe z. B. Scherrer AG (2016), Pilotprojekt Handlungsempfehlungen zur Nutzung von Fliessgewässern unter veränderten klimatischen Bedingungen.

Abbildung 3-4: Handlungsbedarf Siedlungsentwässerung, GEP und REP

Thema	Vorschläge weiteres Vorgehen	Vollzugsinstrument	Mit wem?
Regelmässige Aktualisierung und Weiterentwicklung GEP / REP	Klimaangepasste Entwässerung: Aufnahme von Massnahmen im REP und GEP im Hinblick auf den besseren Umgang mit den Auswirkungen des Klimawandels (Starkniederschläge und Trockenheit)	Prüfung GSchV-Änderung, REP, GEP	Kantone, VSA, OKI
Umgang mit Oberflächenabfluss bei Starkregen	Bericht zu starkregenangepasster Stadtentwicklung und Umgang mit Oberflächenabfluss erstellen	Musterpflichtenheft GEP (VSA)	VSA, ARE, GEP
Ungenügende Verdünnung des Abwassers bei Niedrigwasser	Verbesserung der Reinigungsleistung der ARA bezüglich Mikroverunreinigungen und Stickstoff	Prüfung GSchV-Änderung	Kantone, VSA

3.5 Reduktion diffuser Stoffeinträge aus der Landwirtschaft

a) Gesetzesauftrag und Vollzugsinstrumente

Das GSchG soll die Gewässer vor stofflichen Belastungen aus der Landwirtschaft schützen. Die Instrumente dazu beruhen auf den allgemein gültigen Vorschriften wie der Sorgfaltspflicht (Art. 3 GSchG) und dem Verunreinigungsverbot (Art. 6 GSchG). Hinzu kommt das Konzept der Bodenbelastbarkeit, wodurch u. a. eine ausgeglichene Düngerbilanz erreicht werden soll. So darf bspw. pro Hektare Nutzfläche der Dünger von höchstens drei Düngergrossvieheinheiten ausgebracht werden und der Hofdünger (Gülle) muss entsprechend dem Stand der Technik verwertet werden (Art. 14 GSchG).

Als Grundlage dient Art. 27 GSchG. Demnach sind Bodenbewirtschaftungen so umzusetzen, dass Gewässer durch Abschwemmung und Auswaschung von Düngern und Pflanzenbehandlungsmitteln nicht beeinträchtigt werden. Für die Vollzugspraxis sind die Vollzugshilfen Umweltschutz in der Landwirtschaft³¹ und der 2017 verabschiedete Aktionsplan Pflanzenschutzmittel (AP PSM) von zentraler Bedeutung. Mit dem AP PSM wurden 51 Massnahmen zur Reduktion der Risiken der PSM-Anwendung bestimmt.³²

b) Beurteilung der aktuellen Praxis hinsichtlich Klimawandel

Der Klimawandel beeinflusst die Stoffeinträge aus der Landwirtschaft durch verschiedene Prozesse: Steigende Temperaturen führen grundsätzlich dazu, dass Schad- und Nährstoffe schneller abgebaut werden, solange das Temperaturoptimum der beteiligten Mikroorganismen

³¹ BAFU (Hrsg.) (2016), Vollzugshilfe Umweltschutz in der Landwirtschaft.

³² BLW/BAFU et al. (2019), Umsetzung Aktionsplan Pflanzenschutzmittel.

nicht überschritten wird und günstige Bedingungen der Bodenfeuchte vorherrschen.³³ Ob und wie stark der Abbau durch den Klimawandel beschleunigt wird, variiert somit auch je nach Region, Jahreszeit, Wetter³⁴ und Bodennutzung³⁵. Gleichzeitig führen häufiger auftretende Starkniederschläge dazu, dass der Transport von Stoffen in die Gewässer erhöht wird. Ein generelles Bild, wie sich die Gesamtbelastung der Gewässer mit Stoffen durch den Klimawandel verändert, liegt nicht vor.

Neben den direkten klimabedingten Veränderungen kann sich ebenfalls der (teilweise klimabedingte) Strukturwandel in der Landwirtschaft auf die diffusen Stoffeinträge auswirken. Indirekte Klimafolgen sind bspw. der Anbau neuer Kulturen (evtl. verbunden mit neuen Anbau- und Pflanzenschutzmethoden), Produktionssteigerungen aufgrund verlängerter Vegetationsperioden, Ackerbau in höheren Lagen oder auch der Ausbau der Bewässerung. Eine Bewässerung mit überhöhtem Wasserverbrauch kann zu einer verstärkten Auswaschung von Nährstoffen und PSM führen. Gleichzeitig kann eine professionelle und gezielte Bewässerung die Stoffeinträge in die Gewässer aber auch reduzieren.

Hinzu kommen Wechselwirkungen zwischen der stofflichen Belastung von Gewässern und weiteren Auswirkungen des Klimawandels. So konnte in Experimenten gezeigt werden, dass der in der Schweiz verbreitete Gewöhnliche Bachflohkrebs beim Auftreten von erhöhten Wassertemperaturen empfindlicher auf Pestizide reagiert als bei tieferen Wassertemperaturen. Dies auch wenn die Temperatur noch weit unterhalb des letalen Bereichs liegt.³⁶

c) Handlungsbedarf

Mit fortschreitendem Klimawandel wird es umso wichtiger, diffuse Stoffeinträge aus der Landwirtschaft zu reduzieren. Die Massnahmen des AP PSM sind darum konsequent und möglichst rasch umzusetzen.

Weiter sollte bei der Anpassung an den Klimawandel im Bereich Landwirtschaft darauf geachtet werden, dass keine neuen oder sich verstärkenden Probleme für die Gewässer geschaffen werden. Mit Blick auf die Wasserqualität sollte insbesondere sichergestellt werden, dass der Anbau neuer Kulturen, der Einsatz von PSM aufgrund neuer oder häufiger auftretender Schädlinge und Krankheiten und der Ausbau der Bewässerung nicht zu zusätzlichen diffusen Stoffeinträgen in die Gewässer führen.

³³ Davidson/Janssens (2006), Temperature sensitivity of soil carbon decomposition and feedbacks to climate change.

³⁴ Schlesinger et al. (2015), Forest biogeochemistry in response to drought.

³⁵ Benateau et al. (2019), Climate change and freshwater ecosystems.

³⁶ Russo et al. (2018), Sequential exposure to low levels of pesticides and temperature stress increase toxicological sensitivity of crustaceans.

Abbildung 3-5: Handlungsbedarf Reduktion diffuse Stoffeinträge aus der Landwirtschaft

Thema	Vorschläge weiteres Vorgehen	Vollzugsinstrument	Mit wem?
Landwirtschaftlicher Strukturwandel und Gewässer	Begleitung von Projekten für bessere Kenntnisse zu den Auswirkungen des (teilweise klimabedingten) Strukturwandels auf die Gewässer	Wissensgrundlagen	BLW

3.6 Grundwasserschutz und Wasserversorgung (Trink- und Brauchwasser)

a) Gesetzesauftrag und Vollzugsinstrumente

Gestützt auf die Sorgfaltspflicht (Art. 3 GSchG) und das Verunreinigungsverbot (Art. 6 GSchG) sieht das GSchG verschiedene Regelungen zum Schutz des Grundwassers vor. Im Rahmen des planerischen Grundwasserschutzes:

- legen die Kantone in Abhängigkeit der Gefährdung Gewässerschutzbereiche fest (Art. 19 GSchG).
- scheiden die Kantone für die im öffentlichen Interesse liegenden Grundwasserfassungen und -anreicherungsanlagen Schutzzonen aus (Art. 20. GSchG).
- scheiden die Kantone Areale aus, die für die künftige Nutzung von Grundwasservorkommen von Bedeutung sind (Art. 21 GSchG).

Weiter bezweckt das GSchG eine haushälterische Nutzung des Trink- und Brauchwassers (Art. 1 Bst. b GSchG). Beim Grundwasser haben die Kantone dafür zu sorgen, dass einem Grundwasservorkommen langfristig nicht mehr Wasser entnommen wird, als ihm zufließt (Art. 43 GSchG). Bei Entnahmen aus Oberflächengewässern sind die Restwasserbestimmungen (Art. 29-36 GSchG) einzuhalten (siehe Kap. 3.7).

Der Vollzug des Grundwasserschutzes durch die Kantone wird in einer Vollzugshilfe in mehreren Modulen geregelt.³⁷ Weiter sollen die Kantone gemäss Koordinationsgebot (Art. 46 GSchV) bei der Erstellung von Versorgungsplanungen die genutzten und die zur Nutzung vorgesehenen Grundwasservorkommen erfassen und dafür sorgen, dass Wasserentnahmen aufeinander abgestimmt erfolgen. Das BAFU unterstützt die Kantone dabei mit Grundlagen für regionale Planungen.³⁸

³⁷ BAFU (2012), Vollzugshilfe Grundwasserschutz.

³⁸ Insb. BAFU (2014), Grundlagen für die Wasserversorgung 2025 sowie Praxisgrundlagen Wasserressourcenmanagement: www.bafu.admin.ch/wasserressourcenmanagement.

b) Beurteilung der aktuellen Praxis hinsichtlich Klimawandel

Grundwasserschutz und Trinkwasserversorgung

Die vorhandenen Wasserressourcen (Grund- und Oberflächenwasser) sind in der Schweiz für die öffentliche Wasserversorgung grundsätzlich auch mit fortschreitendem Klimawandel ausreichend: So werden lediglich etwa 5 % der jährlich nachhaltig nutzbaren Grundwassermenge durch die öffentliche Wasserversorgung entnommen.³⁹ Wie die umfassenden Analysen in den Berichten des Bundes zu den Trockenperioden 2015⁴⁰ und 2018⁴¹ zeigen, war bei bisherigen Trockenereignissen in den meisten Fällen genügend Wasser vorhanden, um die Versorgungssicherheit der Trinkwasserversorgung grundsätzlich zu gewährleisten. Zu Knappheit kam es vor allem aus Qualitätsgründen und/oder dort, wo die Wasserversorgung von einem einzelnen Bezugsort oder einer einzelnen Quelfassung abhängig ist. 80 % des durch die öffentliche Wasserversorgung bereitgestellten Trinkwassers stammt aus dem Grundwasser (einschliesslich Quellwasser), warum die konsequente Umsetzung des Grundwasserschutzes für die Bereitstellung von möglichst einwandfreiem Trinkwasser eine Grundvoraussetzung ist.

An Trinkwasser werden sehr hohe Qualitätsanforderungen gestellt, welche in der TBDV (Verordnung des EDI über Trinkwasser sowie Wasser in öffentlich zugänglichen Bädern und Duschanlagen SR 817.022.11) festgelegt sind. In landwirtschaftlich intensiv genutzten Gebieten ist das Grundwasser zunehmend mit diffusen Schadstoffen belastet⁴², warum es aus Qualitätsgründen nicht mehr verwendet werden kann oder mit Wasser aus einem anderen Bezugsort verdünnt werden muss. Um Knappheitssituationen vorzubeugen, wird die konsequente Umsetzung des Grundwasserschutzes (siehe nächster Abschnitt) darum umso wichtiger. Bisher waren keine oder nur eine einfache Aufbereitung notwendig, um die Trinkwasserqualität des geförderten Wassers sicherzustellen. Das starke Siedlungswachstum seit den 1950er-Jahren hat dazu geführt, dass viele Grundwasserfassungen, welche ursprünglich ausserhalb von Siedlungen erstellt wurden, heute nicht mehr genügend geschützt werden können. Zahlreiche Fassungen mussten darum in den letzten Jahrzehnten aufgrund von Gefährdungen, unzulässigen Nutzungen oder Verunreinigungen des Grundwassers aufgehoben werden. In den nächsten Jahren drohen bei mindestens 31 Wasserversorgungen weitere Schliessungen.⁴³ Auch die Erstellung von neuen Fassungen ist zunehmend schwieriger, da diverse Grundwasserschutzareale von Nutzungskonflikten betroffen sind und es aufgrund der zunehmenden Überbauung immer schwieriger wird, neue bundesrechtskonforme Grundwasserschutzareale bzw. -schutzzonen festzulegen.

³⁹ Sinreich et al. (2012), Abschätzung von Kennwerten.

⁴⁰ BAFU (2016), Hitze und Trockenheit im Sommer 2015.

⁴¹ BAFU (2019), Hitze und Trockenheit im Sommer 2019.

⁴² Beim Nitrat überschreiten die Messwerte an ca. 15% der Messstellen der Nationalen Grundwasserbeobachtung NAQUA den Grenzwert der Gewässerschutzverordnung für Grundwasser von 25 Milligramm pro Liter. In ackerbaulich dominierten Einzugsgebieten ist dies sogar an 40 % der Messstellen der Fall. An mehr als der Hälfte aller Messstellen treten Rückstände von PSM oder deren Abbauprodukten (Metaboliten) im Grundwasser auf.

⁴³ Reist/Olschewski (2019), Nutzungskonflikte bei Trinkwasserfassungen. Anmerkung: Bei der Umfrage nahmen die Mitglieder des SVGW teil – hauptsächlich grosse und mittlere Versorgungsunternehmen.

Weiter gewinnt das Instrument der **regionalen Wasserversorgungsplanungen** an Bedeutung. Wie eine Umfrage bei den Kantonen nach dem Trockensommer 2018 gezeigt hat, haben rund 16 Kantone mindestens eine regionale Wasserversorgungsplanung realisiert oder arbeiten intensiv daran.⁴⁴ Im Rahmen einer solchen Planung können u. a. Massnahmen getroffen werden, um Wasserversorgungen miteinander zu vernetzen oder alternative Wasserbezugsorte zu schaffen. Soweit es den Normalbetrieb betrifft, sind regionale Wasserversorgungsplanungen rein kantonale Instrumente, ohne bundesgesetzliche Grundlage. Der Bund weist jedoch in seinen Praxisgrundlagen im Bereich Wassermanagement auf die Wichtigkeit der Wasserversorgungsplanungen hin. Durch die neue VTM (Verordnung über die Sicherstellung der Trinkwasserversorgung in schweren Mangellagen, SR 531.32) sind die Kantone verpflichtet, im Rahmen einer regionalen Betrachtung die für die Trinkwasserversorgungen unverzichtbaren Fassungen und Anlagen zu identifizieren⁴⁵. Diese haben bei der Erhöhung der Resilienz der Trinkwasserversorgung bei schweren Mangellagen einen hohen Stellenwert. Dadurch werden die Kantone zu einer Wasserversorgungsplanung verpflichtet, welche auch der Versorgung im Normalbetrieb, u.a. bei Trockenperioden, zugutekommt.

Brauchwasserversorgung

Brauchwasser wird in der Schweiz aus privaten oder betrieblichen Grundwasserfassungen (einschliesslich Quelfassungen) und aus Fliessgewässern sowie Seen entnommen. Je nach Verwendungszweck werden unterschiedliche Qualitätsansprüche gestellt, welche i. d. R. aber nicht gleich hoch sind wie beim Trinkwasser. In Industrie und Gewerbe dient Brauchwasser vor allem zur Kühlung und Reinigung und in der Landwirtschaft zur Bewässerung und Tränkung.

Während Trockenheitsperioden verschärft sich die Konkurrenz unter den Wassernutzern. Durch die Restwasserbestimmungen (siehe Kap. 3.7) müssen in solchen Situationen Wasserentnahmen v. a. aus kleineren und mittleren Fliessgewässern zum Schutz der Wasserlebewesen eingeschränkt werden. Eine Umfrage zum Trockenjahr 2018⁴⁴ gibt einen guten Überblick zum aktuellen Stand der Praxis. So erliessen während der Trockenheit rund 13 Kantone Einschränkungen für die Wasserentnahme aus Oberflächengewässern zur Bewässerung. Davon betroffen war v.a. die landwirtschaftliche Bewässerung. Da die Betroffenen teilweise auf die öffentliche Trinkwasserversorgung auswichen, führte dies bei einigen Wasserversorgern, die auf diese Situation nicht vorbereitet waren, zu Engpässen. Es wurden auch Konflikte zwischen Wassernutzern und der Gewässerökologie beobachtet. Diese Erfahrungen decken sich mit jenen aus den Trockensommern 2003 und 2015.

Das BAFU empfiehlt den Kantonen, den Mehrbedarf an Brauchwasser für die landwirtschaftliche Bewässerung nicht oder nur in geringem Masse durch die öffentliche Trinkwasserversorgung bereitzustellen. Durch eine regionale Planung (z. B. Brauchwasserplanung) können alternative Wasserressourcen identifiziert werden, welche sich nicht oder nur mit sehr grossem

⁴⁴ EBP (2019), Trockenheit im Sommer und Herbst 2018. Auswirkungen und deren Bewältigung in der Schweizer Wasserwirtschaft.

⁴⁵ Schweizerischer Bundesrat (2019), Verordnung über die Sicherstellung der Trinkwasserversorgung in schweren Mangellagen (VTM), erläuternder Bericht.

Aufwand für die Trinkwassernutzung eignen (z. B. Seen, grosse Fließgewässer, nicht für Trinkwasserversorgung genutzte Grundwasserleiter). Bei einer solchen Brauchwassergewinnung gilt es sicherzustellen, dass die Wasserressourcen nachhaltig genutzt werden und die Gewässer als Lebensräume nicht zusätzlich beeinträchtigt werden.

c) Handlungsbedarf

Da auch mit dem Klimawandel grundsätzlich genügend Grundwasserressourcen vorhanden sind, aber die für die Trinkwasserversorgung nötige Qualität nicht zwingend sichergestellt werden kann, wird es noch wichtiger, diffuse Stoffeinträge zu reduzieren (siehe Kap. 3.5) den Grundwasserschutz konsequent umzusetzen sowie die Verteilung der Wasserressourcen zu verbessern:

- Die Grundwasserfassungen von öffentlichem Interesse müssen konsequent durch Schutz-zonen und darin umgesetzte Schutzmassnahmen vor Verschmutzungen geschützt werden. Für all diese Fassungen von öffentlichem Interesse sollen zudem Zuströmbereiche zum Schutz der Wasserqualität bezeichnet werden und verunreinigte Fassungen müssen durch Massnahmen saniert werden⁴⁶.
- Durch die Umsetzung der neuen Bestimmungen der VTM kann auch die Resilienz der Trinkwasserversorgung bei Trockenperioden erhöht werden. Die dazu notwendigen Massnahmen können im Rahmen einer regionalen Wasserversorgungsplanung festgelegt werden.
- Um angesichts zunehmender Trockenheit den Knappheitssituationen und damit verbundenen Konflikten zwischen verschiedenen Nutzergruppen vorzubeugen, sollten die Wasserressourcen regional vorausschauend bewirtschaftet werden.

Abbildung 3-6: Handlungsbedarf Grundwasserschutz und Wasserversorgung

Thema	Vorschläge weiteres Vorgehen	Vollzugs-instrument	Mit wem?
Stärkung des Grundwasserschutzes angesichts zunehmender Trockenheit	Grundwasserfassungen von öffentlichem Interesse konsequent durch Schutz-zonen und Zu-strömbereiche schützen	Vollzugshilfe Grundwasser-schutz	Kantone, Uni Neuen-burg, Städ-teverband
Umsetzung VTM	Stärkung der Resilienz der Trinkwasserversorgung: Festlegung der dazu nötigen Massnahmen im Rahmen einer regionalen Wasserver-sorgungsplanung	VTM	BWL
Regionale Brauchwasserplanung	Kantone identifizieren ihre Risikogebiete und führen wo nötig eine Brauchwasserplanung durch	Empfehlungen	Wa21 Abt. Hydro-logie

⁴⁶ Müller/Schärer et al. (2020). Grundwasserschutz muss Qualität des Trinkwassers sichern.

3.7 Sicherung angemessener Restwassermengen

a) Gesetzesauftrag und Vollzugsinstrumente

Das GSchG bezweckt u. a. die Sicherung der natürlichen Funktion des Wasserkreislaufs (Art. 1 Bst. h) und einer ständigen Wasserführung (Art. 4). Wasserentnahmen aus Fließgewässern mit ständiger Wasserführung, die über den Gemeingebrauch hinausgehen, sind darum bewilligungspflichtig (Art. 29 GSchG).⁴⁷ Eine Bewilligung wird nur dann erteilt, wenn angemessene Restwassermengen eingehalten werden. Ausschlaggebend für die minimalen Restwassermengen, welche zu jedem Zeitpunkt gewährleistet werden müssen, sind die natürlichen Niedrigwassermengen (Art. 31 Abs. 1 GSchG). Die in Abhängigkeit der charakteristischen Niedrigwasserabflüsse Q_{347} bestimmten Mindestrestwassermengen müssen in bestimmten Fällen erhöht werden, z. B. dann, wenn ökologische Anforderungen nicht erfüllt werden können, die vorgeschriebene Wasserqualität nicht eingehalten oder die freie Fischwanderung nicht sichergestellt wird (Art. 31 Abs. 2 GSchG, siehe auch Abbildung 3-7).⁴⁸ Unter gewissen Voraussetzungen kann die Mindestrestwassermenge auch unterschritten werden (Art. 32 GSchG).

Die Bestimmung angemessener Restwassermengen erfolgt durch die Kantone, separat für jedes Gewässer und einzelne Entnahmeorte, und zwar dann, wenn das Nutzungsrecht für eine neue Wasserentnahme beantragt wird oder für bestehende Wasserentnahmen erneuert werden muss. Bei grösseren Entnahmen ist der Behörde in einem Restwasserbericht darzulegen, welche Auswirkungen die geplante Nutzung auf das Gewässer hat (Art. 33 Abs. 4 GSchG). Dazu gehört auch, die umweltwissenschaftlichen Grundlagen darzulegen. Als Basis für die gesetzlich verlangte Interessensabwägung sind verschiedene Restwasserszenarien aufzuzeigen. Dabei sollen auch zeitlich unterschiedliche Dotierwassermengen⁴⁹ berücksichtigt und Massnahmen zum Schutz der Gewässer gemäss Art. 31 Abs. 2 GSchG unterhalb der Entnahmestelle beschrieben werden. Das BAFU unterstützt die Gesuchsteller und Kantone mit einer Vollzugshilfe⁵⁰.

⁴⁷ Ggf. sind Entnahmen, die keine Bewilligung nach GSchG benötigen, bewilligungspflichtig nach BGF.

⁴⁸ Die nach Art. 31 Abs. 2 GSchG bestimmten Restwasserverhältnisse stellen dabei ein absolutes Minimum dar, die in der Regel das Überleben der aquatischen Biozöosen knapp ermöglichen.

⁴⁹ Die Dotierwassermenge ist die Menge, die zur Sicherstellung bestimmter Restwassermengen im Gewässer belassen wird. Die Restwassermenge selbst ist die kumulierte Menge aus Dotierwassermenge, allfälligem Überlaufwasser und allen Zuflüssen aus dem Einzugsgebiet des Gewässers zwischen der Wasserentnahme und der Wasser-rückgabe, abzüglich der unterirdischen Abflüsse (BUWAL 2000, S. 136).

⁵⁰ BUWAL (2000), Wegleitung. Angemessene Restwassermengen – Wie können sie bestimmt werden?

Abbildung 3-7: Minimale Restwassermenge Q_{\min} nach Art. 31 Abs. 1 und 2 GSchG

Art. 31. Abs. 1 GSchG	Art. 31. Abs. 2 GSchG
In Abhängigkeit von Q_{347}	Zu erhöhen, wenn folgende Anforderungen nicht erfüllt: <ul style="list-style-type: none"> – Wasserqualität – Grundwasserspeisung – Erhalt seltener Lebensräume oder Gesellschaften – Fischwanderung – Laichstätten
Statistischer Niederwasserkenwert	Spezifische ökologische Anforderungen

b) Beurteilung der aktuellen Praxis hinsichtlich Klimawandel

Relevante Klimafolgen für die Bestimmung angemessener Restwassermengen sind die steigenden Wassertemperaturen, die Verschiebung (potenziell) vorkommender Arten, die Verschiebung der Abflussregime bzw. mittleren Abflüsse sowie Veränderungen bei den Niedrigwasserabflüssen. Nachfolgend wird insbesondere ein möglicher Anpassungsbedarf infolge der Veränderungen bei der gesetzlich relevanten Niedrigwasserkenngrosse Q_{347} diskutiert.

Die mit fortschreitendem Klimawandel erwarteten Veränderungen der Niedrigwasserkenngrosse Q_{347} sind v.a. im voralpinen und alpinen Raum je nach Einzugsgebiet, Zeithorizont und Klimaszenario unterschiedlich. So zeigen viele dieser Einzugsgebiete bspw. für die nahe Zukunft eine Zunahme der Abflussmenge Q_{347} , bei einem langfristigen Szenario ohne Klimaschutz jedoch eine Abnahme (siehe auch Kap. 2). Insgesamt sind die Unsicherheiten und unterschiedlichen Signale im alpinen und voralpinen Raum, wo es sehr viele Entnahmen für die Wasserkraft gibt, besonders hoch. Zum einen sind dies methodische Unsicherheiten, die in der Kette der Klima- und Wasserhaushaltsmodelle entstehen. Weiter bestehen nach wie vor Unsicherheiten in der Entstehung der atmosphärischen Muster, welche Niedrigwasser auslösen.⁵¹ Zusätzlich gibt es grosse Unterschiede zwischen den Einzugsgebieten im Zusammenhang mit dem Gletscherrückgang: Kurzfristig betrachtet werden in alpinen Einzugsgebieten durch das Abschmelzen der Gletscher teilweise noch steigende Jahresabflüsse erwartet. Sobald die Schmelze aus den Gletschern fehlt, gehen die Abflüsse im Sommer und Herbst jedoch stark zurück. Der Zeitpunkt dieser grundlegenden Veränderung des Abflussregimes ist für jedes Einzugsgebiet unterschiedlich.

Die Mehrheit der befragten Expertinnen und Experten meint, dass grundsätzlich kein Handlungsbedarf für eine gesetzliche Anpassung besteht, und dass die Niedrigwasserkenngrosse Q_{347} auch weiterhin eine grosse Bedeutung hat als Referenzgrösse für die Festlegung der minimalen Restwassermenge. Mit den unterschiedlichen zukünftigen Entwicklungen des Niedrigwassers verändert sich jedoch die Bedeutung von Q_{347} als ökologischer Richtwert. Zum Zeitpunkt der Ausarbeitung der gesetzlichen Bestimmungen wurde die Mindestrestwassermenge Q_{\min} in Abhängigkeit von Q_{347} als eine Grösse verstanden, die der Ökologie Rechnung trägt.

⁵¹ BAFU (2021), Auswirkungen des Klimawandels auf die Schweizer Gewässer.

Mit fortschreitendem Klimawandel kann davon nicht mehr ausgegangen werden. Um diesem Umstand gerecht zu werden, gewinnen für die Ermittlung der Mindestrestwassermengen die verbalen Anforderungen gemäss Art. 31 Abs. 2 GSchG (siehe Abbildung 3-7) im Vollzug an Bedeutung. Dabei sollten auch die teilweise klimabedingten Veränderungen bei der Wasserqualität (insb. Wassertemperatur) und dem Artenvorkommen (Veränderungen bei Zielarten) Rechnung getragen werden.

Bereits heute hat eine gewässerspezifische Einzelfallbetrachtung vor der Vergabe einer Konzession im Vollzug einen hohen Stellenwert. Die Restwasserberichte eignen sich grundsätzlich auch als Vollzugsinstrument, um die örtlich und zeitlich spezifischen Klimafolgen vorausschauend zu berücksichtigen, was in der aktuellen Vollzugshilfe aber noch nicht vorgesehen ist.

c) Handlungsbedarf

Die oben ausgeführten Überlegungen zu den Auswirkungen des Klimawandels sollen bei der nächsten Überarbeitung der Vollzugshilfe «Bestimmung angemessener Restwassermengen» berücksichtigt werden. Zudem sollen die Klimafolgen in den Restwasserberichten vorausschauend berücksichtigt werden.

Abbildung 3-8: Handlungsbedarf Sicherung angemessene Restwassermengen

Thema	Vorschläge weiteres Vorgehen	Vollzugsinstrument	Mit wem?
Stärkung des Vollzugs von Art. 31 Abs. 2 infolge klimabedingter Veränderungen	Klimabedingte Veränderung bei der Überarbeitung der Vollzugshilfe zur Bestimmung angemessener Restwassermengen berücksichtigen.	Vollzugshilfe «Bestimmung angemessener Restwassermengen»	Abteilung Hydrologie, Kantone, SWV, NGOs
Klimafolgen in Restwasserberichten vorausschauend berücksichtigen	1. Prüfen, ob die nötigen Grundlagen vorhanden sind. 2. Bei der Überarbeitung der Vollzugshilfe zur Bestimmung angemessener Restwassermengen Thema Klimawandel im Restwasserbericht aufnehmen.	Vollzugshilfe «Bestimmung angemessener Restwassermengen»	Kantone, SWV, NGOs

3.8 Ökologische Sanierung Wasserkraft

a) Gesetzesauftrag und Vollzugsinstrumente

Das GSchG bezweckt u. a. die Erhaltung natürlicher Lebensräume für einheimische Tier- und Pflanzenarten (Art. 1 Bst. c). Die Wasserkraftnutzung kann Tier- und Pflanzenarten sowie deren Lebensräume, den Grundwasserhaushalt und den Hochwasserschutz wesentlich beeinträchtigen. Zur Reduktion der negativen Auswirkungen der Wasserkraftnutzung sieht das 2011 in Kraft getretene revidierte GSchG drei Stossrichtungen vor:

- Verminderung **Schwall-Sunk**: Inhaber von Wasserkraftanlagen müssen die kurzfristigen künstlichen Änderungen des Abflusses in einem Gewässer verhindern oder beseitigen, sofern wesentliche Beeinträchtigungen vorliegen (Art. 39a GSchG)
- Reaktivierung des **Geschiebehaushalts**: Sofern durch die Anlagen wesentliche Beeinträchtigungen entstehen, sind deren Inhaber verpflichtet, geeignete Massnahmen zu treffen (Art. 43a GSchG)
- Sanierung **Fischgängigkeit**: Gestützt auf das Fischereigesetz (Art. 10 BGF) soll die Fischgängigkeit wiederhergestellt werden, wo Wanderhindernisse bestehen.

Die Planung und der Vollzug der Massnahmen durch die Kantone umfassen alle drei aufgeführten Stossrichtungen (Art. 83b GSchG), warum sie in diesem Bericht zusammen beurteilt werden. Im Rahmen der strategischen Planungen der Kantone wurde der Sanierungsbedarf festgelegt: Betreffend Schwall-Sunk sind rund 100 Anlagen sanierungspflichtig. Zur Sanierung des Geschiebehaushalts müssen etwa bei 150 Wasserkraftanlagen und 350 weiteren Anlagen (z. B. Geschiebesammler) Massnahmen getroffen werden.⁵² Betreffend Sanierung Fischwanderung (Fischaufstieg und –abstieg) sind gemäss den strategischer Planung 2014 ca. 970 sanierungspflichtig.⁵³

Wichtigstes Vollzugsinstrument ist die Vollzugshilfe «*Renaturierung der Gewässer*»⁵⁴, welche mehrere Module umfasst. Damit die Zielerreichung der Sanierungsmassnahmen überprüft werden kann, sind Wirkungskontrollen (alternativ auch Erfolgskontrollen genannt) durchzuführen.⁵⁵ Dabei wird überprüft, ob die umgesetzten Massnahmen die gewünschte ökologische Wirkung entfalten.⁵⁶

b) Beurteilung der aktuellen Praxis hinsichtlich Klimawandel

Schwall-Sunk

Im alpinen Raum, wo die meisten sanierungspflichtigen Anlagen liegen, führt der fortschreitende Klimawandel zu einer Verschiebung der saisonalen Abflussregime und zu einer leichten Änderung der repräsentativen Ganglinie. Damit gehen etwas höhere Niedrigwasserabflüsse im Winter und auf lange Sicht geringere Abflüsse im Sommer einher (siehe Kap. 2). Diese klimabedingten Abflussveränderungen sind im Vergleich zu den Schwall-Sunk-Effekten vernachlässigbar und beeinflussen die Sanierungsmassnahmen kaum. An den – im Vergleich zur repräsentativen Ganglinie – extremen Abflussschwankungen zwischen Schwall und Sunk ändert der Klimawandel nichts. Mit dem Klimawandel kommt für die Gewässerökosysteme jedoch

⁵² BAFU (2015), Renaturierung der Schweizer Gewässer: Die Sanierungspläne der Kantone ab 2015.

⁵³ BAFU (2020), Renaturierung der Schweizer Gewässer: Stand ökologische Sanierung Wasserkraft 2018.

⁵⁴ Siehe dazu: www.bafu.admin.ch/renaturierung

⁵⁵ Wirkungs- (oder Erfolgskontrollen) sind nicht zu verwechseln mit Umsetzungskontrollen. Letztere überprüfen, ob die verfügbaren Massnahmen wie geplant umgesetzt wurden. Umsetzungskontrollen werden hier nicht beschrieben, da die klimatischen Veränderungen darauf keinen Einfluss haben.

⁵⁶ Tonolla/Chaix et al. (2017), Schwall-Sunk-Massnahmen. Ein Modul der Vollzugshilfe Renaturierung der Gewässer.

ein zusätzlicher Stressor hinzu, welcher die Dringlichkeit zur Umsetzung der Sanierungsmassnahmen erhöht.

Weiter stellt sich die Frage, ob die zu erwartenden Verschiebungen beim auftretenden Artenspektrum (siehe Kap. 2) bei der Dimensionierung von Schwall-Sunk-Massnahmen berücksichtigt werden müssen. Die befragten Expertinnen und Experten gehen davon aus, dass dies nur in Einzelfällen nötig sei. Sollte sich in den nächsten Jahren jedoch zeigen, dass sich die Zeitpunkte der Laichwanderungen oder der Reproduktion klimabedingt verschieben, müssten die Schwall-Sunk-Sanierungen regelmässig überprüft werden.

Sanierung Geschiebehaushalt

Während die Auswirkungen des Klimawandels auf kleinere Einzugsgebiete und Wildbäche teilweise bereits untersucht wurden,⁵⁷ bestehen für mittlere und grössere Fließgewässer ohne Seeunterbruch im Mittelland, wo die meisten sanierungspflichtigen Wasserkraftanlagen stehen, Wissenslücken. Für Fließgewässer unterhalb von Seen ist davon auszugehen, dass sich am Geschiebetransport insgesamt wenig ändert, weil Seen den Feststofftransport weitgehend unterbrechen. Insgesamt reicht der Stand des Wissens über die Auswirkungen des Klimawandels auf Verfügbarkeit und Transport von Geschiebe nicht aus, um zu beurteilen, ob Anpassungen an der Sanierungspraxis sinnvoll wären. Ungeklärte Fragen, insbesondere für Fließgewässer im Mittelland ohne Seeunterbruch sind:

- In welche Richtung wird der Geschiebehaushalt verschoben, Erosion oder Deposition?
- Welchen Einfluss haben klimabedingte Änderungen des Geschiebehaushalts auf die effektive Geschiebefracht, Gerinneform, Kiesablagerung oder Substrattypverteilung?

Zumindest lässt sich gemäss den befragten Expertinnen und Experten festhalten, dass sich das Geschiebedefizit in den betroffenen Mittellandflüssen durch den Klimawandel i. d. R. nicht verbessert, weshalb die Sanierung des Geschiebetransports fortzuführen sei. Zudem führe die Sanierung des Geschiebetransports generell dazu, dass mehr Kiesablagerungen entstehen, die als Laichplätze geeignet sind.

Sanierung Fischgängigkeit

Der Klimawandel führt zu einer Verschiebung der vorkommenden einheimischen Arten, wirkt sich auf deren Häufigkeit aus und verstärkt die Verbreitung von Neobiota (siehe Kap. 2). Damit stellt sich die Frage, ob die Sanierungspflicht und/oder die Dimensionierung der Anlagen angepasst werden muss. In Bezug auf die weitere Ausbreitung von Neobiota stellt sich zudem die Frage, wie die Wiedervernetzung der Gewässer vor dem Hintergrund des Klimawandels zu beurteilen ist.

⁵⁷ Vgl. Funk/Bauder et al. (2011), Raymond-Pralong/Turowski et al. (2011) und NCCS (2018).

- Die befragten Expertinnen und Experten sind sich einig, dass die klimabedingte Verschiebung der (potenziell) vorkommenden Arten nur bei einzelnen Anlagen etwas am **Sanierungsbedarf** ändert. Zudem sei die rasche Sanierung höher zu gewichten als unsichere Veränderungen der Zukunft.
- Zentral ist, dass die **Dimensionierung** der Anlagen auf verschiedene Leit- und Zielfischarten und Merkmale wie Alter, Schwimmstärke oder Wanderverhalten ausgelegt wird, so dass die Massnahmen ein grosses Artenspektrum abdecken können. Bei der Variantenwahl sollte darauf noch stärker Gewicht gelegt werden. Arten, die erwartungsgemäss in den nächsten Jahren auftreten, sollten auf jeden Fall bei der Dimensionierung mitberücksichtigt werden. Teilweise wird die Sanierungspraxis der Anlagen heute auf kaltwasserliebende Arten, z. B. auf Forellen, Äschen und auch den Lachs ausgerichtet. So insbesondere im Einzugsgebiet des Rheins, wo der Lachs als «Wappentier» für die Sanierung Fischgängigkeit dient. Die befragten Expertinnen und Experten halten dies trotz sich erwärmender Gewässer für eine No-Regret-Massnahme⁵⁸, weil die Dimensionierung dann auch für andere Arten, z. B. für Barben, stimme.
- Die befragten Expertinnen und Experten sind sich einig, dass die Längsvernetzung vor dem Hintergrund des Klimawandels trotz dem Risiko der weiteren Verbreitung von Neobiota ebenfalls eine No-Regret-Massnahme sei. Die **Vernetzung** für einheimische Arten sei grundsätzlich höher zu gewichten. Es sind jedoch Ausnahmen denkbar (z. B. bei durch Besatz geschützten Bergseen). Insgesamt gewinnt das Sanierungsziel der Längsvernetzung mit fortschreitendem Klimawandel an Bedeutung, damit sich die Fische in kältere Gewässer bewegen können. Wichtig dabei sind auch ergänzende Massnahmen der Revitalisierung wie bspw. Seitenvernetzung und Beschattung (siehe Kap. 3.9).

Wirkungskontrollen

Da sich mit dem Klimawandel die Lebensraumbedingungen und vorkommenden Arten verändern (siehe Kap. 2), kann nicht nur die Sanierungsmassnahme selbst, sondern auch der Klimawandel die Indikatoren von Wirkungskontrollen beeinflussen. Grundsätzlich ist also möglich, dass bei Wirkungskontrollen nicht mehr der Effekt der Sanierungsmassnahme, sondern die Wirkung des Klimawandels gemessen wird. Die Indikatoren müssen darum so ausgestaltet sein, dass sie gegenüber dem Klimawandel möglichst wenig sensitiv reagieren. Im Rahmen des Projekts wurde dies beispielhaft für die Indikatoren der Wirkungskontrolle Sanierung Schwall-Sunk gemäss Vollzugshilfe⁵⁶ geprüft. Dabei hat sich gezeigt, dass die Kernindikatoren (mehrheitlich abiotisch) gegenüber dem Klimawandel nicht sensitiv reagieren. Jedoch können die ergänzenden Indikatoren (mehrheitlich biotisch) potenziell sensitive Reaktionen auf den Klimawandel aufweisen (z. B. Indikator «Längenzonation Makrozoobenthos»).

⁵⁸ No-Regret-Massnahme: Massnahme, welche später keinesfalls bereut wird.

c) Handlungsbedarf

Die ökologische Sanierung Wasserkraft trägt zu einer besseren Vernetzung und vielfältigeren Lebensräumen und damit zu resilienteren Gewässern bei. Die Sanierung ist fortzusetzen und wird mit fortschreitendem Klimawandel umso dringender.

Im Vollzug zur Sanierung der Fischgängigkeit sollte noch systematischer darauf geachtet werden, dass die Massnahmen ein möglichst breites Artenspektrum abdecken, damit es trotz Verschiebungen des Artenspektrums nicht zu Fehldimensionierungen kommt. Die Überlegungen dazu sollen in die nächste Überarbeitung der «Best-Practice Fischwanderhilfen» einfließen.

Weiter empfehlen die befragten Expertinnen und Experten, die in den Vollzugshilfen aufgeführten Indikatoren für Wirkungskontrollen in regelmässigen Abständen auf ihre Gültigkeit hin zu überprüfen. Abgesehen davon besteht bei der Sanierung Schwall-Sunk und dem Geschiebehauhalt aktuell kein Handlungsbedarf.

Abbildung 3-9: Handlungsbedarf Sanierung Fischgängigkeit

Thema	Vorschläge weiteres Vorgehen	Vollzugsinstrument	Mit wem?
Veränderung der Fischartenzusammensetzung bei der Dimensionierung von Fischwanderhilfen	<ul style="list-style-type: none"> – Überlegungen zu veränderten Leit-/Ziel-fischarten für die Dimensionierung von Fischwanderhilfen in die nächsten Revisionen der Best-Practice und Vollzugshilfen übernehmen – In Stellungnahmen darauf hinweisen 	<ul style="list-style-type: none"> «Best-Practice Fischwanderhilfen» Vollzugshilfe Renaturierung Gewässer 	EA-WAG, Kantone
Überprüfung der Indikatoren für Wirkungskontrollen	<ul style="list-style-type: none"> Sensitivität der Indikatoren auf die Auswirkungen des Klimawandels in regelmässigen Abständen prüfen, für Wirkungskontrollen: – San. Fischgängigkeit – Geschiebe – Schwall-Sunk – Revitalisierung 	<ul style="list-style-type: none"> Module der Vollzugshilfe Renaturierung der Gewässer 	EAWAG

3.9 Revitalisierung und Gewässerraum

a) Gesetzesauftrag und Vollzugsinstrumente

Naturnahe Gewässerkorridore erfüllen wichtige Funktionen für Mensch, Natur und Sicherheit. Deren Erhalt bzw. Wiederherstellung ist ein wichtiges Ziel des Gewässerschutzes (Art. 1, 4, 37 GSchG), welches durch zwei Stossrichtungen verfolgt wird:

- Mittels Revitalisierungen sollen die natürlichen Funktionen verbauter Gewässer wiederhergestellt werden (Art. 4 GSchG).

- Für das gesamte Gewässernetz soll der Gewässerraum festgelegt werden, welcher nur extensiv gestaltet und bewirtschaftet werden darf (Art. 36a GSchG), das heisst ohne Dünger und PSM (Art. 41c Abs. 3 GSchV).

Für Planung und Vollzug sind die Kantone zuständig (Art. 36a, 38 GSchG). Bis 2080 sollen von rund 15'000 km in schlechtem Zustand rund 4000 km Gewässerläufe revitalisiert werden. Die Kantone legen deshalb in strategischen Revitalisierungsplanungen fest, wo der zu erwartende Nutzen einer Revitalisierung für Natur und Landschaft im Verhältnis zum Aufwand am höchsten ist. Der Bund unterstützt die Revitalisierungen finanziell im Rahmen der Programmvereinbarungen⁵⁹ sowie von Einzelprojekten (Art. 62b GSchG). Für die Höhe der Subventionen ist u.a. das Ergebnis der strategischen Revitalisierungsplanung massgeblich. Um dem naturnahen Wasserbau gerecht zu werden, müssen Revitalisierungs- und Hochwasserschutzprojekte ökologischen Grundsätzen folgen (Art. 4 WBG, Art. 37 GSchG). Das BAFU erstellt zurzeit das Modul «Ökologische Anforderungen an Wasserbauprojekte»⁶⁰ als Bestandteil der Vollzugshilfe «Renaturierung der Gewässer».

Die Kantone legen den Gewässerraum fest und werden dazu mit einer Arbeitshilfe unterstützt.⁶¹ Weiter sorgen sie dafür, dass die Revitalisierungsplanung und der festgelegte Gewässerraum bei der Richt- und Nutzungsplanung berücksichtigt wird. Der Gewässerraum darf landwirtschaftlich genutzt werden, wenn er gemäss den Anforderungen der DZV (Verordnung über die Direktzahlungen an die Landwirtschaft, SR 910.13) an bestimmte Biodiversitätsförderflächen-Typen (BFF-Typen) bewirtschaftet wird (vgl. Art. 41c Abs 4 GSchV).

b) Beurteilung der aktuellen Praxis hinsichtlich Klimawandel

Revitalisierungen

Viele wechselwarme Arten können nur innerhalb eines begrenzten Temperaturspektrums stabile Populationen ausbilden. Bei fortschreitendem Klimawandel können sie teilweise in alternative Lebensräume umsiedeln, sofern andere zentrale Lebensraumparameter dies erlauben. Bei Hitzewellen oder Hoch- oder Niedrigwasser hilft es, wenn sie sich in andere Bereiche des Gewässers (Refugien) zurückziehen können. Dazu sind vernetzte Gewässer mit vielfältigen Lebensräumen notwendig. Zentrale Ziele von Revitalisierungen sind die Erhöhung der Strukturvielfalt und die Wiedervernetzung (in allen Dimensionen: longitudinal, lateral, vertikal und zeitlich). So werden Fliessgewässer beispielsweise durch den Rückbau von Wanderhindernissen (wasserkraftbedingt und nicht wasserkraftbedingt) vernetzt. Revitalisierungen tragen somit substantiell zur Erhöhung der Resilienz von Gewässern bei, was im Hinblick auf den

⁵⁹ Siehe BAFU (Hrsg.) (2018), Handbuch Programmvereinbarungen im Umweltbereich 2020-2024.

⁶⁰ Belser/Dunand et al. (in Anhörung 2020), Ökologische Anforderungen an Wasserbauprojekte gemäss Art. 4 Wasserbaugesetz (WBG) bzw. Art. 37 Gewässerschutzgesetz (GSchG).

⁶¹ BPUK/LDK et al. (Hrsg.) 2019: Gewässerraum. Modulare Arbeitshilfe zur Festlegung und Nutzung des Gewässerraums in der Schweiz.

Klimawandel grundsätzlich als erfolgsversprechend beurteilt wird. Jedoch sollten bei der Planung von Wasserbauprojekten noch vermehrt die klimatischen Entwicklungen des Gewässers mitgedacht werden.

Gewässerraum

Um die Resilienz der Gewässer zu erhöhen, ist der Gewässerraum als Voraussetzung für eine naturnahe und dynamische Gewässerentwicklung ein zentrales Element. Bei angemessener Festlegung und extensiver Bewirtschaftung kann sich im Gewässer und an dessen Ufer eine **Struktur- und Habitatvielfalt** ausbilden und dynamisch weiterentwickeln. Gleichzeitig ist ein Aufkommen von krautiger Vegetation bis hin zum Auenwald möglich. Der Gewässerraum ist damit Lebensraum und **Wanderkorridor** für viele amphibische und terrestrische Tierarten und vernetzt verschiedene Teillebensräume. Feuchte und schattige Lebensräume in einem breiten Korridor entlang der Fliessgewässer sind dann generell **Rückzugsorte**. Der Gewässerraum soll sich zu einem Bestandteil der Ökologischen Infrastruktur entwickeln. Besonders während Hitzeperioden ist bei kleineren Gewässern die kühlende Wirkung der Ufervegetation auf die Wassertemperatur für das Überleben von kaltwasserliebenden Arten wichtig.

Aktuelle Untersuchungen zeigen, dass der Grad der **Beschattung** bei kleinen und mittelgrossen Fliessgewässern der wichtigste Einflussfaktor auf die Wassertemperatur ist. So können sich spärlich oder gar nicht beschattete Abschnitte auf wenigen hundert Metern bis zu rund 4 °C erwärmen.⁶² Die meisten Fliessgewässer waren ursprünglich von dichter Vegetation umgeben, welche im Laufe der Zeit aus unterschiedlichen Gründen zu einem grossen Teil entfernt wurde. Durch eine Wiederbestockung im Gewässerraum und einen für das Gewässer förderlichen Unterhalt können insbesondere in kleineren und mittleren Fliessgewässern die maximalen Wassertemperaturen reduziert und somit thermische Refugien geschaffen werden.⁶³ Ein Pilotprojekt im Kanton Aargau⁶⁴ kommt zum Schluss, dass zusätzlich zu den heute bereits gut beschatteten Gewässerabschnitten weitere 350 Kilometer des kantonalen Gewässernetzes mit gewässertypischer Vegetation vor starker Sonneneinstrahlung geschützt werden könnten. Das BAFU prüft zurzeit die schweizweite Situation.

Der Gewässerraum kann seine Wirkung aber nur entfalten, wenn er genügend gross ist und sich die standorttypischen mosaikartigen Strukturen ausgestalten können. Für letzteres ist ein **für das Gewässer förderlicher Unterhalt** entscheidend, der Rücksicht auf die Bedürfnisse der Biodiversität nimmt. Der Unterhalt ist sehr unterschiedlich geregelt. Bei grösseren Gewässern werden dafür teilweise kantonale Unterhaltsequipen eingesetzt. Gut 70 %⁶⁵ des gesamten Gewässernetzes der Schweiz zählen jedoch zu den kleinen Fliessgewässern. Dort ist der Gewässerunterhalt häufig kommunal geregelt oder der Gewässerraum im Besitz von Landwirtin-

⁶² Mende/Sieber (2020), Temperaturrefugien in Fliessgewässern.

⁶³ Fischwerk (2018), Bestockung und Beschattung der Fliessgewässer, S. 24.

⁶⁴ Giamboni/Zumsteg (2020), Hinweiskarte Beschattung – für eine kühlere Zukunft.

⁶⁵ Peter/Schölzel (2018), Kleine Bäche – grosse Bedeutung. S. 71.

nen und Landwirten, welche den Unterhalt selbst ausführen. Für den Gewässerraum im Landwirtschaftsgebiet kommt hinzu, dass in der DZV kein geeigneter, einfach zugelassener BFF-Typ existiert, der eine gewässerspezifische Habitatvielfalt zulässt und fördert.

c) Handlungsbedarf

Angesichts des raschen Anstiegs der Luft- und Wassertemperatur dürfte die Umsetzung des Revitalisierungsprogramms bis 2080 für einige Gewässerorganismen zu spät sein: Seit 1979 steigen die mittleren Jahrestemperaturen der Fliessgewässer in der Schweiz pro Jahrzehnt im Durchschnitt um 0.33°C an, im Sommer noch deutlich stärker. Weiter werden aus ökologischer Sicht kritische Schwellenwerte der Wassertemperatur immer häufiger überschritten und die warmen Phasen dauern immer länger an⁶⁶. Der Anstieg der mittleren Lufttemperatur wird sich mindestens bis 2040 weiter fortsetzen, die Entwicklung danach hängt stark vom weiteren Ausstoss der Treibhausgase ab⁶⁷. Da der Anstieg der Wassertemperatur sehr stark mit dem Anstieg der Lufttemperatur korreliert⁶⁶, ist auch bei den Wassertemperaturen mit einer ähnlichen Entwicklung zu rechnen. Aus naturwissenschaftlicher Sicht sollte das Revitalisierungsprogramm darum beschleunigt werden. Es sollte geprüft werden, ob ein Abschluss bis 2040 machbar ist, und welche gewässerschutzrechtlichen Anpassungen dazu nötig sind.

Weiter sollen die Kantone in der nächsten Überarbeitung der strategischen Revitalisierungsplanungen die Auswirkungen des Klimawandels miteinbeziehen. So könnte bspw. angestrebt werden, kühle und oder beschattete Gewässerabschnitte systematisch als Rückzugsgebiete zu vernetzen und bei den Massnahmentypen die Beschattung kleinerer Fliessgewässer gezielt vorzusehen. Auch gilt es zu berücksichtigen, dass die Gewässer unterschiedlich anfällig gegenüber Trockenheit reagieren. Damit die Kantone darauf bei der Priorisierung von Gewässerabschnitten ein besonderes Augenmerk legen, soll das BAFU die notwendigen Fachgrundlagen bereitstellen bzw. auf diese hinweisen.

Zudem wird empfohlen, dass Erfahrungen zu naturnahen wasserbaulichen Anpassungen hinsichtlich Klimawandel gesammelt werden. Wichtige Ergebnisse dazu liefert die mit der Programmperiode 2020-2024 angelaufene Wirkungskontrolle. Im Zuge des aufgegleisten projektübergreifenden Lernens werden dabei verschiedene auch klimarelevanter Umweltparameter einbezogen. Weitere Hinweise werden u. a. auch aus dem laufenden Pilotprojekt des Schweizerischen Kompetenzzentrums Fischerei erwartet.⁶⁸ Anschliessend soll geprüft werden, ob daraus Empfehlungen oder Best-Practices abgeleitet und zielgruppengerecht vermittelt werden können.

Die zügige, konsequente Festlegung und extensive Bewirtschaftung und Gestaltung des Gewässerraums wird mit fortschreitendem Klimawandel umso wichtiger. Wo noch nicht gesche-

⁶⁶ Michel et al. (2019), Stream temperature evolution in Switzerland over the last 50 years.

⁶⁷ NCCS (2018), CH2018 – Klimaszenarien für die Schweiz.

⁶⁸ <https://www.kompetenzzentrum-fischerei.ch/mandate/pilotprogramm-anpassung-an-den-klimawandel-des-bundes/>

hen, sollen die Zuständigkeiten für die Bewirtschaftung und Kontrollen auf kantonaler und kommunaler Stufe rasch geklärt werden. Ein besonderes Augenmerk ist auf den Unterhalt und die Bestockung zu legen, weil mit einem für das Gewässer förderlichen Unterhalt bereits viel erreicht werden kann und auch kleinere wasserbauliche Aufwertungsmassnahmen möglich sind. Insgesamt ist eine breite Sensibilisierungsarbeit und eine gezielte Intensivierung der Aus- und Weiterbildungen für die extensive Bewirtschaftung des Gewässerraums nötig. Ein erster Schritt könnte die Erarbeitung einer Best-Practice-Sammlung von gelungenen Beispielen zur Bestockung und Strukturvielfalt im Gewässerraum sein.

Abbildung 3-10: Handlungsbedarf Revitalisierung und Gewässerraum

Thema	Vorschläge weiteres Vorgehen	Vollzugsinstrument	Mit wem?
Beschleunigung Revitalisierungsprogramm	Machbarkeitsprüfung zur beschleunigten Umsetzung bis 2040	Prüfung GSchG / GSchV-Änderung	Kantone
Strategische Revitalisierungsplanungen	<p>Wie sollen die Kantone bei der nächsten strategischen Revitalisierungsplanungen die zu erwartenden Auswirkungen des Klimawandels explizit mitberücksichtigen?</p> <ul style="list-style-type: none"> – Überarbeitung der bestehenden Vollzugshilfen (in Vorbereitung) – Allfällige fehlende Schweizweite Fachgrundlagen und Instrumente bereitstellen <p>Abgleich mit anderen Planungen (z. B. Sanierung Fischgängigkeit an Wasserkraftwerken, Ökologische Infrastruktur) sicherstellen</p>	Vollzugshilfe "Revitalisierung Fließgewässer – Strategische Planung"	Abt. Hydrologie, kantonale Fachstellen zuständig für Revitalisierung, EA-WAG
Wasserbauliche Grundsätze für einen naturnahen und klimaangepassten Wasserbau	<ul style="list-style-type: none"> – Zusammentragen von Erfahrungen und guten Beispielen – Implementierung in geeignete Gefässe (z. B. Best-Practice, Empfehlungen, Vollzugshilfe Art. 4 WBG / Art. 37 GSchG) – Lernen aus dem Vergleich umgesetzter Revitalisierungsprojekte unter Berücksichtigung begleitender Umweltfaktoren 	Zu prüfen	Abt. Gefahrenprävention
Vollzug Gewässerraum-Festlegung	Nutzungsplanungen nur noch genehmigen, wenn auch der Gewässerraum festgelegt wird	Arbeitshilfe Gewässerraum	Kantone, BPUK
Extensive Nutzung im Gewässerraum	<ul style="list-style-type: none"> – Optimierung der BFF-Typen im Rahmen der DZV prüfen – Integration ins landwirtschaftliche Kontrollsystem und Verantwortlichkeit auf kantonaler und kommunaler Ebene klären – Bestockung fördern durch Sensibilisierung und Wissensvermittlung (z. B. Vorgaben, Best-Practice-Sammlung) 	<ul style="list-style-type: none"> – BFF via DZV – Umweltwissen o.ä. 	BLW, Abtl. Biodiversität u. Landschaft, Kantone
Unterhalt	Förderung des Gewässerunterhalts im Nachgang der laufenden Revision von WBG und GSchG	Vollzugshilfe Art. 4 WBG / Art. 37 GSchG	Kantonale Fachstellen zuständig für Gewässerunterhalt

4 Wissenslücken und Forschungsbedarf

Für die einzelnen Massnahmen und Aufgabenbereiche gibt es noch zahlreiche spezifische Wissenslücken (siehe auch die aufgabenspezifischen Inputpapiere). Daraus wurden zwei übergeordnete Themen abgeleitet, welche für mehrere Aufgabenbereiche relevant sind.

a) Auswirkungen des Klimawandels und weiterer Stressoren auf Gewässerökosysteme

Mit dem Klimawandel ändert sich das auftretende Artenspektrum in einem Gewässer (siehe Kap. 2) So sind bspw. die Bestände von Kaltwasserfischen wie der Äsche und der Forelle im Mittelland bereits heute stark rückläufig. Wie das **Spektrum** der potenziell auftretenden **Arten in den verschiedenen Gewässern auf längere Sicht** aussieht, und welche **Zielarten** bei den Sanierungsmassnahmen heute sinnvollerweise verwendet werden sollen, ist aber oft nicht einfach abzuschätzen. Der Gewässerschutz würde deshalb von einem besseren Verständnis darüber profitieren, wie der Klimawandel – inkl. seiner Wechselwirkung mit anderen menschlichen Einflüssen (multiple Stressoren) – die Verbreitung von Gewässerorganismen beeinflusst. Diese Fragestellung ist komplex, da bspw.:

- vielfältige ökologische Wechselwirkungen zwischen den Arten bestehen, was sich auf ihr Vorkommen auswirkt.
- mit dem Klimawandel auch die Ausbreitung von Neobiota weiter zunimmt.
- langfristige Umwelt-Veränderungen und kurzfristigen Extreme gleichzeitig ablaufen («Press-Pulse-Framework»)⁶⁹.
- Arten sich in gewissem Masse auch an Veränderungen anpassen können.
- es in Ökosystemen «Tipping-Points»⁷⁰ gibt.

b) Trockenheitsmanagement, Wasserrückhaltefunktion und Oberflächen-Grundwasser-Interaktionen

Um die Gewässerökosysteme gegenüber Trockenheit resilienter zu machen, sind vermehrt Ansätze gefragt, um Wasser zurückzuhalten. Die natürliche Wasserrückhalte- und Speicherfunktion der ursprünglichen Fluss- und Auenlandschaften wurden durch zahlreiche menschliche Einflüsse in den letzten 200 Jahren stark reduziert. Wenn besser verstanden wird, **welche menschlichen Einflüsse** und Nutzungen die Gewässer in welchem Ausmass anfälliger gegenüber Trockenheit machen, können für den Gewässerschutz effizientere Handlungsoptionen erarbeitet werden. In diesem Zusammenhang stellen sich u. a. folgende Fragen:

- Wie gross ist der Einfluss des heutigen **Drainagesystems** auf die Wasserrückhaltefunktion? Wie kann die Erneuerung der Drainagesysteme genutzt werden, um den Ansprüchen der Gewässerökosysteme gerecht zu werden – insbesondere im Hinblick auf Trockenheit?

⁶⁹ Siehe z.B. Harris et al. (2018), Biological responses to the press and pulse of climate trends and extreme events.

⁷⁰ Irreversible Änderungen eines Ökosystems, welche in kurzer Zeit ablaufen.

- Die Interaktionen von Grund- und Oberflächengewässer sind zentral, um Wasser bei Hochwasser zurückzuhalten und können eine kühlende Wirkung auf Fließgewässer haben. Gleichzeitig sind sie entscheidend dafür, ob ein Gewässerabschnitt trockenfällt. Wie und wo soll der **Grundwasseraustausch** hinsichtlich Klimawandel gefördert werden?
- Verschiedene Lebensräume entlang von Fließgewässern, Feuchtgebieten, Auenwäldern oder an Quellen können vom **Grundwasserstand abhängig** sein. Sind solche **Lebensräume** durch den Klimawandel und durch Entnahmen aus dem Grundwasser oder durch Quelfassungen gefährdet?

Abbildung 4-1: Wissenslücken und Forschungsbedarf

Thema	Mögliche Anknüpfungspunkte
Auswirkungen des Klimawandels und weiterer Stressoren auf die Gewässerökosysteme	<ul style="list-style-type: none"> – Diverse Forschungsprojekte der EAWAG und Projekte anderer Universitäten, bspw. der Uni Genf im Bereich Gewässerökologie – Projekt der Wyss Academy, Hub Bern⁷¹: «Biodiversitätsverlust an den Gewässern stoppen – trotz Klimawandel»
Trockenheitsmanagement und Wasserrückhaltefunktion	<ul style="list-style-type: none"> – Hydro CH-2018 – Plattform «Natural water retention measures (NWRM)» der EU DG-ENV⁷²

⁷¹ https://www.wyssacademy.unibe.ch/regional_hubs/bern_hub/

⁷² <http://ec.europa.eu/environment/water/adaptation/ecosystemstorage.htm>

5 Zusammenfassung und Fazit

Die vorliegende Studie hat untersucht, ob das Gewässerschutzrecht inkl. dessen Vollzugsinstrumente aufgrund der Auswirkungen des Klimawandels weiterentwickelt werden soll und wenn ja wie. Dazu wurden aus GSchG und GSchV acht zentrale Aufgabenbereiche hinsichtlich Klimawandel analysiert. Im Sinne einer Diskussionsgrundlage resultiert daraus eine Liste mit konkreten Weiterentwicklungsvorschlägen. Viele dieser Vorschläge können durch eine Weiterentwicklung bestehender Vollzugsinstrumente umgesetzt werden, für einzelne ist eine Anpassung des Gewässerschutzrechts zu prüfen (siehe Anhang C). Dieses Kapitel fasst die Erkenntnisse der Analyse aus fachlicher Sicht zusammen und zieht ein Fazit.

Gewässerbeobachtung und Wasserqualität

Für zielorientierte und effiziente Gewässerschutzmassnahmen ist es essenziell, die Ursachen von Defiziten beim Zustand der Gewässer zu erkennen. Daher müssen die Folgen von klimabedingten Veränderungen von anderen menschlichen Stressoren (z. B. die Folgen von Chemikalieneinträgen oder von Gewässerverbauungen) unterschieden werden können. Die heutigen Methoden der Gewässerbeobachtung und -beurteilung können die Folgen des Klimawandels jedoch nicht sauber von anderen anthropogenen Auswirkungen unterscheiden. Die Messnetze und Methoden sollen darum so weiterentwickelt werden, dass die Auswirkungen unterschieden und primär die direkten anthropogenen Auswirkungen aufgezeigt werden können, welche mit Massnahmen zum Schutz der Gewässer beeinflusst werden können.

Siedlungsentwässerung und Abwasserreinigung

Zur Anpassung der Siedlungsentwässerung und Abwasserreinigung an den Klimawandel ist ein ganzheitliches Vorgehen mit Massnahmen auf verschiedenen Ebenen nötig. Insbesondere die folgenden Aspekte sind betroffen:

- Bei Starkniederschlägen gilt es eine Überlastung der Kanalisationen und der ARA zu vermeiden, damit es nicht zu unnötigen Überschwemmungen in Siedlungsgebieten und Einträgen von ungereinigtem Abwasser in die Gewässer kommt. Dazu sollen in den regionalen und generellen Entwässerungsplanungen (REP, GEP) Massnahmen festgelegt werden, wie das Regenwasser besser versickert, abgeleitet oder zurückgehalten werden kann.
- Die Stoffeinträge aus ARA sollen noch weitergehend reduziert werden. Dadurch wird der Schutz der Ökosysteme bei Niedrigwasser in Flüssen und Bächen während Trockenperioden verbessert.
- Vor dem Hintergrund zunehmender Hitze und Trockenheit in Siedlungsgebieten wird es umso wichtiger, das Prinzip des Wasserrückhalts (Retention, Versickerung, getrennte Entwässerung von Niederschlägen) zu stärken und im Vollzug noch besser zu verankern.

Grundwasserschutz und Wasserversorgung

Auch mit fortschreitendem Klimawandel sind grundsätzlich genügend Grundwasserressourcen für die Trinkwasserversorgung vorhanden. Weil aber die nötige Qualität nicht zwingend sichergestellt werden kann, wird es noch wichtiger, den Grundwasserschutz konsequent umzusetzen sowie die Verteilung der Wasserressourcen zu verbessern. So sollten Grundwasserfassungen von öffentlichem Interesse konsequent durch Schutzzonen und die Festlegung von Zuströmbereichen geschützt werden.

Während Trockenheitsperioden kann sich die Konkurrenz unter den verschiedenen Wassernutzern verschärfen. Durch eine regionale Planung (z. B. Brauchwasserplanung) können alternative Wasserressourcen (z. B. Seen, grosse Fließgewässer, nicht für Trinkwasserversorgung genutzte Grundwasserleiter) identifiziert werden, mit denen sich der erhöhte Mehrbedarf während Trockenperioden decken lässt.

Renaturierung

Ökologisch sanierte Wasserkraftanlagen, revitalisierte Gewässer und extensiv gestaltete Gewässerräume tragen zu einer besseren Vernetzung und zu vielfältigeren Lebensräumen mit Rückzugsnischen im und am Gewässer bei. In solchen Gewässern können Gewässerorganismen besser mit den klimatischen Stressoren umgehen. Da die Gewässerökosysteme bereits heute die Auswirkungen des Klimawandels spüren, ist es zentral, dass die Renaturierungsprogramme zügig umgesetzt werden: Die ökologische Sanierung Wasserkraft soll fristgerecht bis 2030 umgesetzt werden und wo der Gewässerraum noch nicht festgelegt ist, sollte dies rasch nachgeholt werden.

Das 2011 revidierte GSchG sieht vor, die Revitalisierung von 4000 km Gewässerabschnitten bis 2080 abzuschliessen. Vor dem Hintergrund des Klimawandels wäre es sinnvoll, das Revitalisierungsprogramm stark zu beschleunigen und bis 2040 abzuschliessen. Bis zu diesem Zeitpunkt werden die Luft- und Wassertemperaturen in jedem Fall weiter stark ansteigen. Die Entwicklung danach hängt hingegen stark von der Umsetzung des Klimaschutzes ab. Mit einem Abschluss bis 2040 würden die gesamten Investitionskosten nicht erhöht, sondern bloss vorgezogen und der Nutzen damit früher realisiert.

Zur Milderung der ansteigenden Wassertemperaturen gewinnt überdies die Beschattung an Bedeutung, besonders bei kleinen Fließgewässern. Rund 70% des Gewässernetzes zählen zu diesen kleinen Fließgewässern. Die Bestockung sollte darum in geeigneter Form sowohl bei Revitalisierungen als auch beim Gewässerunterhalt und bei der Bewirtschaftung des Gewässerraums einfließen.

Fazit

Die Gewässer stehen durch verschiedene anthropogene Stressoren wie Verbauungen, Wasserkraftnutzung, stoffliche Verunreinigungen oder Veränderungen der Abflussdynamiken heute stark unter Druck. Hinzu kommen die Folgen des Klimawandels, wodurch sich bestehende negative Auswirkungen verstärken können.

Aus wissenschaftlicher Sicht können naturnahe Gewässer mit guter Wasserqualität besser mit den klimabedingten Veränderungen umgehen als stark anthropogen beeinflusste Gewässer. Massnahmen zur Wiederherstellung naturnaher Gewässer und zur Reduktion von Stoffeinträgen sind darum geeignete Klimaanpassungs- und -milderungsmassnahmen, welche die Resilienz der Gewässer gegenüber dem Klimawandel erhöhen.

Der Ansatz, die **Resilienz der Gewässer** zu erhöhen, reiht sich in die internationalen Bemühungen für eine klimaresiliente Zukunft ein.⁷³ Das Gewässerschutzrecht und dessen Aufgabenbereiche tragen bereits heute und auch künftig zu resilienten Gewässern bei und eignen sich somit grundsätzlich auch vor dem Hintergrund des Klimawandels. Sie sind überdies auch dann wichtig, wenn die heute plausibelsten Klimaszenarien nicht eintreten sollten, und werden darum auch als No-Regret-Massnahmen bezeichnet. Im Rahmen der vorliegenden Analyse wurde jedoch auch aufgezeigt, wo Handlungsbedarf und Weiterentwicklungsmöglichkeiten bestehen.

⁷³ Siehe z. B. European Commission (2021), Forging a climate-resilient Europe – the new EU Strategy on Adaptation to Climate Change.

Literaturverzeichnis

Altermatt Florian (2010)

Tell me what you eat and I'll tell you when you fly. diet can predict phenological changes in response to climate change. *Ecology Letters*, 13(12): 1475–1484.

Altermatt Florian, Seymour Mathew, Martinez Nicolas. (2013)

River network properties shape α -diversity and community similarity patterns of aquatic insect communities across major drainage basins. *Journal of Biogeography*, 40(12).

BAFU (2012)

Vollzugshilfe Grundwasserschutz. Umwelt-Vollzug. Übersicht aller Module. Umwelt-Vollzug. Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern

BAFU (2012)

Revitalisierung Fließgewässer – Strategische Planung. Umwelt-Vollzug Nr. 1208. Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern.

BAFU (2015)

Renaturierung der Schweizer Gewässer. Die Sanierungspläne der Kantone ab 2015. Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern.

BAFU (Hrsg.) (2016)

Vollzugshilfe Umweltschutz in der Landwirtschaft. Übersicht aller Module. Umwelt-Vollzug. Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern

BAFU (2016)

Hitze und Trockenheit im Sommer 2015. Auswirkungen auf Mensch und Umwelt. Umwelt-Zustand Nr. 1629. Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern. BAFU (2019)
Zustand und Entwicklung Grundwasser Schweiz. Ergebnisse der Nationalen Grundwasserbeobachtung NAQUA, Stand 2016. Umwelt-Zustand, Nr. 1901, Bern: 138

BAFU (2017)

Vollzugshilfe Renaturierung der Gewässer. Umwelt-Vollzug. Übersicht über alle Module. Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern.

BAFU (2019)

Hitze und Trockenheit im Sommer 2018. Auswirkungen auf Mensch und Umwelt. Umwelt-Zustand Nr. 1909. Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern.

BAFU (Hrsg.) (2018)

Handbuch Programmvereinbarungen im Umweltbereich 2020 – 2024. Mitteilung des BAFU als Vollzugsbehörde an Gesuchsteller. Umwelt-Vollzug Nr. 1817. Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern.

BAFU (2020), Renaturierung der Schweizer Gewässer: Stand ökologische Sanierung Wasserkraft 2018. Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern.

BAFU (Hrsg.) (2021)

Auswirkungen des Klimawandels auf die Schweizer Gewässer. Hydrologie, Gewässerökologie und Wasserwirtschaft. Umwelt-Wissen Nr. 2101. Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern.

- BAFU und ARE (2018)
Hitze in Städten – Grundlagen für eine klimagerechte Stadtentwicklung. Umwelt-Wissen Nr. 1812. Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern.
- Baumann Peter, Kirchhofer Arthur, Schälchli Ueli (2012)
Sanierung Schwall/Sunk – Strategische Planung. Ein Modul der Vollzugshilfe Renaturierung der Gewässer. Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern.
- Benateau Simon, Gaudard Adrien, Stamm Christian, Altermatt Florian (2019)
Climate change and freshwater ecosystems. Impacts on water quality and ecological status. Hydro-CH2018-Bericht. Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt BAFU, Bern.
- Bennerscheidt Christoph (2018)
Das Schwammstadt-Prinzip – Regenwasser-Bewirtschaftung mit duktilen Gussrohren. In Aqua& Gas Nr. 10.
- Belser Anna, Dönni Werner, Dunand Isabelle. et al (in Anhörung 2020)
Ökologische Anforderungen an Wasserbauprojekte gemäss Art. 4 Wasserbaugesetz (WBG) bzw. Art. 37 Gewässerschutzgesetz (GSchG). Ein Modul der Vollzugshilfe Renaturierung der Gewässer. Bundesamt für Umwelt, Bern.
- BLW, BAFU, BLV, SECO, Agroscope (2019)
Umsetzung Aktionsplan Pflanzenschutzmittel. Stand August 2019.
- BPUK, LDK, BAFU, ARE, BLW (Hrsg.) 2019
Gewässerraum. Modulare Arbeitshilfe zur Festlegung und Nutzung des Gewässerraums in der Schweiz.
- Borsuk Mark E., Reichert Peter, Peter Armin, Schager Eva et al. (2006)
Assessing the decline of brown trout (*Salmo trutta*) in Swiss rivers using an Bayesian probability network. Ecological Modelling, Vol. 192, Nr. 1: 224-244. 10.1016/j.ecolmodel.2005.07.006.
- Bundesrat (2017)
Aktionsplan zur Risikoreduktion und nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln. Bericht des Bundesrates.
- BUWAL (2000)
Wegleitung. Angemessene Restwassermengen – Wie können sie bestimmt werden? Vollzug Umwelt. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL, Bern.
- Davidson, Janssens (2006)
Temperature sensitivity of soil carbon decomposition and feedbacks to climate change. Nature, 440(7081): 165–173.
- Epting Jannis und Huggenberger Peter (2013)
Unraveling the Heat Island Effect Observed in Urban Groundwater Bodies – Definition of a Potential Natural State. Journal of Hydrology. 501: 193–204

- Everall Nicholas, Johnso Matthew F., Willby Robert L., Bennett Cyril J. (2015)
Detecting phenology change in the mayfly *Ephemera danica*: responses to spatial and temporal water temperature variations. Mayfly phenology in relation to river temperature. *Ecological Entomology*, 40(2).
- EBP (2019)
Trockenheit im Sommer und Herbst 2018. Auswirkungen und deren Bewältigung in der Schweizer Wasserwirtschaft. Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt BAFU, Bern.
- European Commission (2021)
Forging a climate-resiliente Europe – the new EU Strategy on Adaptation to Climate Change. Communication from the commission to the european parliament, the council, the european economic and social committee and the committee of the regions, Brussel.
- Fischwerk (2018)
Bestockung und Beschattung der Fliessgewässer. Konzeptbericht. Im Auftrag des Bundesamts für Umwelt BAFU. Luzern.
- Giamboni Marzio und Zumsteg Markus (2020)
Hinweiskarte Beschattung – für eine kühlere Zukunft unserer Fliessgewässer. In *Umwelt Aargau*, Nr. 82 Januar 2020.
- Harris Rebecca M. B., Beaumont Linda J, Vance Tessa R., Tozer Carly R. et al. (2018)
Biological responses to the press and pulse of climate trends and extreme events. In *nature climate change*. Vol 8, Juli 2018, 579-587.
- Herold Thilo, Tonolla Diego, Junghardt Johann, Helbling Andreas (2019)
Bestockung und Beschattung. In: *Aqua & Gas* Nr 4. S. 52-57.
- Hunkeler Daniel (2020)
Effect of Climate Change on Groundwater Quantity and Quality in Switzerland. . Hydro-CH2018-Bericht. Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt BAFU, Bern. 79 S.
- Mende, Matthias.; Sieber Pascal. (2020):
Temperaturverlauf in Fliessgewässern - Untersuchung und Visualisierung von Temperatureinflüssen und Ableitung von Massnahmenvorschlägen. 60 S.
- Michel Adrien, Brauchli Tristan, Lehning Michael, Schaepli Bettina et al. (2019)
Stream temperature evolution in Switzerland over the last 50 years. In: *Hydrology and Earth System Sciences* Nr. 24(1). S. 115-142.
- Möst Markus (2020)
A short contribution on the topic of resilience. The many faces of resilience. In *Newsletter SeeWandel*, No. 02. October 2020, Dübendorf.
- Müller Stephan, Schärer Michael, Jenny Angela, Schwab Corin et al. (2020)
Grundwasserschutz muss Qualität des Trinkwassers sichern. In: *Aqua & Gas* Nr. 7
- NCCS (2018)
CH2018 – Klimaszenarien für die Schweiz. National Centre for Climate Services NCCS, Zürich. 24 S. ISBN 978-3-9525031-1-9.

- Oppliger Silvia, Hasler Stefan (2019)
Abwasserbewirtschaftung bei Regenwetter. Eine neu Richtlinie des VSA. In: Aqua & Gas Nr. 4.
- Peter Armin, Schölzel Nils (2018)
Kleine Bäche – grosse Bedeutung. In: Aqua & Gas, Nr. 7.
- Raymond-Pralong Mélanie, Turowski Jens, Rickenmann Dieter, Beer Alexander et al. (2011)
Auswirkungen der Klimaänderung auf die Geschiebefracht in Einzugsgebieten von Kraftwerksanlagen im Kanton Wallis. In: Wasser Energie Luft, 103. Jahrgang, Heft 1, S. 278-285.
- Reist Viola, Olschewski André (2019)
Nutzungskonflikte bei Trinkwasserfassungen. Umfrage unter SVGW-Wasserversorgern. In: Aqua & Gas Nr. 6.
- Ruiz-Villanueva Virginia, Molnar Peter (2020)
Past, current and future changes in floods in Switzerland. Hydro-CH2018-Bericht. Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt BAFU, Bern. 80 S.
- Russo Renato, Becker Jeremias, Liess Matthias (2018)
Sequential exposure to low levels of pesticides and temperature stress increase toxicological sensitivity of crustaceans. In: Science of the Total Environment, 610–611: 563-569.
- Schlesinger W.H., Dietze M.C., Jackson R.B., Phillips R.P., et al (2015)
Forest biogeochemistry in response to drought. *Global Change Biology*, 22(7): 2318–2328.
- Schürch Marc, Bulgheroni Monica, Sinreich Michael (2018)
Température des eaux souterraines. Un aperçu de l'état et de l'évolution en suisse. In: Aqua & Gas, Nr. 7/8.
- Scheffer Martin, Carpenter Steve, Foley Jonathan A., Folke Carl, Walker, Brian (2001)
Catastrophic shifts in ecosystems. In: *Nature* 413, 591-596.
- Schweizerischer Bundesrat (2019)
Verordnung über die Sicherstellung der Trinkwasserversorgung in schweren Mangellagen (VTM). Erläuternder Bericht, Bern.
- Sinreich Michael, Kozel Ronald, Lützenkirchen Volker, Matousek Federico, Jeannin Pierre-Yves, Loew Simon, Stauffer Fritz (2012)
Grundwasserressourcen der Schweiz – Abschätzung von Kennwerten. In: Aqua & Gas, Nr. 6.
- Speerli Jürg, Gysin Sami, Bieler Sara, Bachmann Andrea-Kristin (2018)
Auswirkungen des Klimawandels auf den Sedimenttransport. Expertenbericht im Auftrag des Bundesamts für Umwelt BAFU, Bern. Entwurf vom 12.12.2018.

- Stauer Philipp, Ort Christoph (2012)
Mikroverunreinigungen aus diffusen Quellen, Faktenblatt «Diffuse Mikroverunreinigungsemissionen aus Siedlungen DIMES)». Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt BAFU. Eawag, Dübendorf.
- Tonolla Diego, Chaix Olivier, Meile Tobias, Zurwerra Andreas et al. (2017)
Schwall-Sunk-Massnahmen. Ein Modul der Vollzugshilfe Renaturierung der Gewässer. Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern.
- Vollenweider Stefan, Walter Felix, Zahner Samuel (2020)
Wasserwirtschaft auf dem Prüfstand. Wasserwirtschaft auf dem Prüfstand. Klimawandel und weitere Herausforderungen der Zukunft. In: Aqua & Gas, Nr. 7/8
- Van Asch Margriet, Salis Lucia., Holleman Leonard J. M., van Lith Bart, Visser Marcel .E. (2013)
Evolutionary response of the egg hatching date of a herbivorous insect under climate change. Nature Climate Change, 3(3): 244–248. DOI: 10.1038/nclimate1717.
- VSA (2010)
Erläuterungen zum GEP-Musterpflichtenheft. Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute VSA, Glattbrugg.
- VSA (2019)
Richtlinie «Abwasserbewirtschaftung bei Regenwetter». Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute VSA, Glattbrugg.
- Walther Gian-Reto (2010)
Community and ecosystem responses to recent climate change. In: the Royal Society Publishing, Nr. 365.
- Weingartner (2018)
Veränderungen der Abflussregime der Schweiz in den letzten 150 Jahren. Studie im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt BAFU. Gruppe für Hydrologie. Geographisches Institut der Universität Bern.
-

Anhang A: Abkürzungsverzeichnis

Ämter, Fachstellen und weitere Organisationen	
ARE	Bundesamt für Raumentwicklung
BAFU	Bundesamt für Umwelt
BLW	Bundesamt für Landwirtschaft
EAWAG	Wasserforschungsinstitut des ETH-Bereichs
LGB	Leitungsgruppe Gewässerbeurteilung Schweiz
NCCS	National Centre for Climate Services
SVGW	Fachverband für Wasser-, Gas und Fernwärmeversorger
SVV	Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
UVEK	Eidgenössische Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation
VSA	Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute
VAW	Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie
Weitere Abkürzungen	
ARA	Abwasserreinigungsanlagen
BFF	Biodiversitätsförderfläche
BGF	Bundesgesetz über die Fischerei, SR 923.0
DZV	Verordnung über die Direktzahlungen an die Landwirtschaft, SR 910.13
GEP	Genereller Entwässerungsplan
GSchG	Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer, SR 814.20
GSchV	Gewässerschutzverordnung, SR 814.201
MSK	Modul-Stufen-Konzept
NAWA	Nationale Beobachtung der Oberflächengewässerqualität
NAWA TREND	Nationale Beobachtung der Oberflächengewässerqualität; Dauerbeobachtung
NAWA SPEZ	Nationale Beobachtung der Oberflächengewässerqualität; Spezialuntersuchungen
NAQUA	Nationale Grundwasserbeobachtung
PSM	Pflanzenschutzmittel
Q ₃₄₇	Abflussmenge, die, gemittelt über 10 Jahre, durchschnittlich während 347 Tagen des Jahres erreicht oder überschritten wird und die durch Stauung, Entnahme oder Zuleitung von Wasser nicht wesentlich beeinflusst ist
REP	Regionaler Entwässerungsplan
TBDV	Verordnung des EDI über Trinkwasser sowie Wasser in öffentlich zugänglichen Bädern und Duschanlagen SR 817.022.11
VTM	Verordnung über Trinkwasserversorgung in Mangellagen, SR 531.32 (löst seit 1.10.20 VTN ab)
Wa21	Wasser-Agenda 21
WBG	Bundesgesetz über den Wasserbau, SR 721.100

Anhang B: Befragte Expertinnen und Experten

Abbildung 5-1: Befragte Expertinnen und Experten nach Aufgabenbereichen

Aufgabenbereiche (Arbeitspapier)	Expertinnen und Experten (Organisation)
<ul style="list-style-type: none"> – Gewässerbeobachtung und -beurteilung, – Erhaltung eines naturnahen Temperaturzustandes – Reduktion diffuser Stoffeinträge aus der Landwirtschaft 	<ul style="list-style-type: none"> – Florian Altermatt (EAWAG) – Christian Stamm (EAWAG) – Pius Niederhauser (Kt Zürich)
<ul style="list-style-type: none"> – Siedlungsentwässerung, Abwasserreinigung 	<ul style="list-style-type: none"> – Michael Thomann (Fachhochschule Nordwestschweiz) – Reto Manser (Kt. Bern) – Stefan Hasler (VSA) – Peter Hunziker (Büro Hunziker-Betatech)
<ul style="list-style-type: none"> – Grundwasserschutz und Wasserversorgung 	<ul style="list-style-type: none"> – Daniel Hunkeler (Uni Neuenburg) – Rainer Hug (Kt. Solothurn) – André Olschewski (ehm. SVGW)
<ul style="list-style-type: none"> – Sicherung angemessener Restwassermengen – Ökologische Sanierung Wasserkraft 	<ul style="list-style-type: none"> – Robert Boes (VAW, ETHZ) – Lorenz Jaun (Kt. Uri) – Thomas Vuille (Kt. Bern) – Roger Pfamatter (SWV)
<ul style="list-style-type: none"> – Revitalisierung und Gewässerraum 	<ul style="list-style-type: none"> – Jolanda Jenzer (Fachhochschule Burgdorf) – Norbert Kräuchi (Kt. Aargau) – Pascal Sieber (Büro Sieber / Liechti)

Anhang C: Übersicht Vorschläge zur Weiterentwicklung des Vollzugs

Abbildung 5-2: Vorschläge zur Weiterentwicklung des Vollzugs hinsichtlich Klimawandel

Thema	Vorschläge zum weiteren Vorgehen	Vollzugsinstrument
1. Gewässerbeobachtung und -beurteilung		
Weiterentwicklung NAWA und MSK	Indikatoren, Methoden und Messstellennetz schrittweise mit Forschung und Vollzugsstellen weiterentwickeln	NAWA, NAQUA MSK
2. Erhaltung eines naturnahen Temperaturzustandes der Gewässer		
Übersicht anthropogene Wärmeeinträge in Gewässer	Bestandsaufnahme der anthropogenen Temperaturveränderungen an den Gewässern, die nicht auf den Klimawandel zurückgehen	Wissensgrundlagen
3. Siedlungsentwässerung und Abwasserreinigung		
Regelmässige Aktualisierung und Weiterentwicklung GEP / REP	Klimaangepasste Entwässerung: Aufnahme von Massnahmen im REP und GEP im Hinblick auf den besseren Umgang mit den Auswirkungen des Klimawandels (Starkniederschläge und Trockenheit)	Prüfung GSchV-Änderung, REP, GEP
Umgang mit Oberflächenabfluss bei Starkregen	Bericht zu starkregenangepasster Stadtentwicklung und Umgang mit Oberflächenabfluss erstellen	Musterpflichtenheft GEP (VSA)
Ungenügende Verdünnung des Abwassers bei Niedrigwasser	Verbesserung der Reinigungsleistung der ARA bezüglich Mikroverunreinigungen und Stickstoff	Prüfung GSchV-Änderung
4. Reduktion diffuser Stoffeinträge aus der Landwirtschaft		
Landwirtschaftlicher Strukturwandel und Gewässer	Begleitung von Projekten für bessere Kenntnisse zu den Auswirkungen des (teilweise klimabedingten) Strukturwandels auf die Gewässer	Wissensgrundlagen

Thema	Vorschläge zum weiteren Vorgehen	Vollzugsinstrument
5. Grundwasserschutz und Wasserversorgung (Trink- und Brauchwasser)		
Stärkung des Grundwasserschutzes angesichts zunehmender Trockenheit	Grundwasserfassungen von öffentlichem Interesse konsequent durch Schutzzonen und Zuströmbereiche schützen	Vollzugshilfe Grundwasserschutz
Umsetzung VTM	Stärkung der Resilienz der Trinkwasserversorgung: Festlegung der dazu nötigen Massnahmen im Rahmen einer regionalen Wasserversorgungsplanung	VTM
Regionale Brauchwasserplanung	Kantone identifizieren ihre Risikogebiete und führen wo nötig eine Brauchwasserplanung durch	Empfehlungen
6. Sicherung angemessener Restwassermengen		
Stärkung des Vollzugs zu Art. 31 Abs. 2 infolge klimabedingter Veränderungen	Klimabedingte Veränderung bei der Überarbeitung der Vollzugshilfe zur Bestimmung angemessener Restwassermengen berücksichtigen	Vollzugshilfe «Bestimmung angemessene Restwassermengen»
Klimafolgen in Restwasserberichten vorausschauend berücksichtigen	1. Prüfen, ob die nötigen Grundlagen vorhanden sind 2. Bei der Überarbeitung der Vollzugshilfe zur Bestimmung angemessener Restwassermengen Thema Klimawandel im Restwasserbericht thematisieren	Vollzugshilfe «Bestimmung angemessene Restwassermengen»
7. Ökologische Sanierung Wasserkraft		
Veränderung der Fischartenzusammensetzung bei der Dimensionierung von Fischwanderhilfen	– Überlegungen zu veränderten Leit-/Ziel-fischarten für die Dimensionierung von Fischwanderhilfen in die nächsten Revisionen der «Best-Practice» und Vollzugshilfen übernehmen – In Stellungnahmen darauf hinweisen	«Best-practice Fischwanderhilfen» Vollzugshilfe «Renaturierung Gewässer»
Überprüfung der Indikatoren für Wirkungskontrollen	Sensitivität der Indikatoren auf die Auswirkungen des Klimawandels in regelmässigen Abständen prüfen, für Wirkungskontrollen: – San. Fischgängigkeit – Geschiebe – Schwall-Sunk	Überprüfung der Indikatoren für Wirkungskontrollen

Thema	Vorschläge zum weiteren Vorgehen	Vollzugsinstrument
8. Revitalisierung und Gewässerraum		
Beschleunigung Revitalisierungsprogramm	Machbarkeitsprüfung zur beschleunigten Umsetzung bis 2040	Prüfung GSchG / GSchV-Änderung
Strategische Revitalisierungsplanungen	<p>Wie sollen die Kantone bei der nächsten strategischen Revitalisierungsplanungen die zu erwartenden Auswirkungen des Klimawandels explizit mitberücksichtigen?</p> <ul style="list-style-type: none"> – Überarbeitung der bestehenden Vollzugshilfen (in Vorbereitung) – Allfällige fehlende Schweizweite Fachgrundlagen und Instrumente bereitstellen <p>Abgleich mit anderen Planungen (z. B. Sanierung Fischgängigkeit an Wasserkraftwerken, Ökologische Infrastruktur) sicherstellen</p>	Vollzugshilfe "Revitalisierung Fließgewässer – Strategische Planung"
Wasserbauliche Grundsätze für einen naturnahen und klimaangepassten Wasserbau	<ul style="list-style-type: none"> – Zusammentragen von Erfahrungen und guten Beispielen – Implementierung in geeignete Gefässe (z. B. Best-Practice, Empfehlungen, Vollzugshilfe Art. 4 WBG / Art. 37 GSchG) <p>Lernen aus dem Vergleich umgesetzter Revitalisierungsprojekte unter Berücksichtigung begleitender Umweltfaktoren</p>	Zu prüfen
Vollzug Gewässerraum-Festlegung	Nutzungsplanungen nur noch genehmigen, wenn auch der Gewässerraum festgelegt wird	Arbeitshilfe Gewässerraum
Extensive Nutzung im Gewässerraum	<ul style="list-style-type: none"> – Optimierung der BFF-Typen im Rahmen der DZV prüfen – Integration ins landwirtschaftliche Kontrollsystem und Verantwortlichkeit auf kantonaler und kommunaler Ebene klären <p>Bestockung fördern durch Sensibilisierung und Wissensvermittlung (z. B. Vorgaben, Best-Practice-Sammlung)</p>	<ul style="list-style-type: none"> – BFF via DZV <p>Umweltwissen o.ä.</p>
Unterhalt	Förderung des Gewässerunterhalts im Nachgang der laufenden Revision von WBG und GSchG	Vollzugshilfe Art. 4 WBG / Art. 37 GSchG