

Integration von Maßnahmen zur Klimawandelanpassung bei Renaturierungen



Impressum

Medieninhaber, Verleger und Herausgeber:

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Klima- und Umweltschutz, Regionen und Wasserwirtschaft, Stubenring 1, 1010 Wien, Stadt Wien – Wiener Gewässer, Am Brigittenauer Sporn 7, 1200 Wien

**Mit Unterstützung der Europäischen Union im Rahmen des LIFE-Projekts EnCAM
(LIFE 19 CCA/AT/001329)**

Autoren: DI Christian Frangež, DI Dr. Jürgen Eberstaller, ezb – TB Eberstaller GmbH

Fotonachweis: Titelbild © Frangež/ezb; ORF ©: Abbildung 1; Frangež/ezb ©: Abbildung 2, Abbildung 5, Abbildung 6, Abbildung 10, Abbildung 26, Abbildung 31, Abbildung 32, Abbildung 39 (links); Eberstaller/ezb ©: Abbildung 3, Abbildung 4 (rechts), Abbildung 8, Abbildung 11, Abbildung 13, Abbildung 15, Abbildung 16, Abbildung 17, Abbildung 18, Abbildung 19, Abbildung 20, Abbildung 21, Abbildung 22, Abbildung 24, Abbildung 25, Abbildung 34, Abbildung 36, Abbildung 37, Abbildung 40; Dachverband Marchfeld-Weinviertel, Vereinigte Wasserverbände ©: Abbildung 4 (links); ezb ©: Abbildung 7, Abbildung 28, Abbildung 33, Abbildung 38; Ingenieurbüro Geoverde OG ©: Abbildung 9; S. Karl/BMLRT ©: Abbildung 12; Bayerisches Landesamt für Umwelt ©: Abbildung 14; Mühlbauer/ezb TB Zauner ©: Abbildung 23; Pinka/ezb: © Abbildung 27; Ingenieurbüro Geoverde OG: Abbildung 29, Abbildung 30; Schmaltz/BAW-IKT ©: Abbildung 35; Gruber/GLS ©: Abbildung 39 (rechts); Blattfisch ©: Abbildung 41; J. Pfeffer ©: Abbildung 42; NÖ Energie- und Umweltagentur GmbH ©: Abbildung 43, Abbildung 44 (links); Wiener Stadtgärten (MA 42) ©: Abbildung 44 (rechts); Amt der Nö. LR, Gruppe Wasser ©: Abbildung 45, Abbildung 46, Abbildung 47;

Wien, 2026. Stand: 13. Mai 2026

Copyright und Haftung:

Auszugsweiser Abdruck ist nur mit Quellenangabe gestattet, alle sonstigen Rechte sind ohne schriftliche Zustimmung des Medieninhabers unzulässig.

Es wird darauf verwiesen, dass alle Angaben in dieser Publikation trotz sorgfältiger Bearbeitung ohne Gewähr erfolgen und eine Haftung des Bundesministeriums und der Autorin / des Autors ausgeschlossen ist. Rechtausführungen stellen die unverbindliche Meinung der Autorin / des Autors dar und können der Rechtsprechung der unabhängigen Gerichte keinesfalls vorgreifen.

Inhalt

1 Einleitung	6
2 Auswirkungen des Klimawandels auf Abflussverhältnisse, Temperatur und Gewässerökologie	8
2.1 Generelle Auswirkungen des Klimawandels auf den Wasserhaushalt.....	8
2.2 Auswirkungen-des Klimawandels speziell auf den österreichischen Wasserhaushalt und die aquatische Fauna	9
3 Grundsätzliche Überlegungen zur Maßnahmenplanung	14
3.1 Optimierte Kombination der Einzelmaßnahmen durch integrative übergeordnete Planungen.....	14
3.2 Erhaltung Hochwasserschutz und Sohlstabilität	14
3.3 Dem Gewässertyp entsprechende Maßnahmen und Materialien.....	15
3.4 Wiederherstellung/Erhaltung Durchgängigkeit.....	16
3.5 Minimierung der Gewässeraufwärmung.....	16
3.6 Maximierung Wasserrückhalt.....	17
3.7 Berücksichtigung der langfristigen Entwicklung der Ufervegetation und des resultierenden Pflegeaufwandes bzw. Neophytenaufkommens.....	17
3.8 Förderung der Naherholung an Gewässern unter Erhaltung von Rückzugsräumen für die Tier- und Pflanzenwelt.....	18
4 Konkrete Auswirkungen und Maßnahmen	19
4.1 Untypische Aufwärmung des Gewässers und Maßnahmen zur Anpassung.....	19
4.1.1 Auswirkungen.....	19
4.1.2 Maßnahme: Beschattung durch Ufervegetation – Ufergehölzstreifen	20
4.1.3 Maßnahme: Beschattung durch Gewässerstrukturen.....	23
4.1.4 Maßnahme: (Wieder)Vernetzung von Gewässer und Grundwasser.....	25
4.1.5 Maßnahme: Gestaltung naturnaher Kolk-Furt-Abfolgen zur Initiierung von Grundwasser-Zutritten	27
4.1.6 Maßnahmen im Rahmen der Gewässerpflege	28
4.1.7 Maßnahme: Monitoring von Wassertemperaturdaten.....	30
4.2 Verringerung Niederwasser-Abflüsse und Verlängerung Niederwasser-Phasen.....	31
4.2.1 Auswirkungen.....	31
4.2.2 Maßnahme: Gestaltung einer dem Gewässertyp angepassten Flussmorphologie	33
4.2.3 Maßnahme: Herstellung der Durchgängigkeit zur Vernetzung von Refugialräumen und Wiederbesiedlung trockengefallener Abschnitte	40

4.2.4 Maßnahmen bei Austrocknung („Fischrettungspools“) und Fischbergung.....	46
4.3 Erhöhung der Hochwasserspitzen	47
4.3.1 Auswirkungen.....	47
4.3.2 Maßnahme: an Extrem-HW angepasste Gewässerausformung.....	48
4.3.3 Maßnahme: Gewährleistung von Standsicherheit und Stabilität der Maßnahmen	52
4.3.4 Maßnahme: Erhöhung Wasserrückhalt im Gewässer- und Auenbereich	54
4.3.5 Maßnahme: Erhöhung Wasserrückhalt im Einzugsgebiet	59
4.3.6 Maßnahme: Schaffung von Refugialräumen bei Hochwasser	59
4.3.7 Maßnahme: Monitoring von Abfluss- und Niederschlagsdaten.....	60
4.4 Starkregenereignisse/Sedimenteintrag.....	60
4.4.1 Auswirkung.....	60
4.4.2 Maßnahme: Ufervegetation und Gewässerrandstreifen.....	61
4.4.3 Maßnahmen im Einzugsgebiet.....	62
4.4.4 Maßnahme: Bewusster Feinsedimentrückhalt in Zubringergräben	64
4.5 Verschiebung biozönotischer-/Fischregionen	64
4.5.1 Auswirkung.....	64
4.5.2 Maßnahme: Klimawandel bei Wiederherstellung der Durchgängigkeit berücksichtigen	66
4.5.3 Maßnahme: Förderung der aktuellen und zukünftigen Leitbildzönose	66
4.6 Ansprüche der Naherholung in Bezug auf Gewässer und Klimawandel	67
4.6.1 Auswirkung.....	67
4.6.2 Maßnahme: Schaffung eines „angenehmen“ Mikroklimas	68
4.6.3 Maßnahme: Besucherlenkung	70
4.7 Verstärktes Vorkommen invasiver gebietsfremder Arten	71
4.7.1 Auswirkungen.....	71
4.7.2 Maßnahme: Keine Anlage von Strukturen/keine Maßnahmen, welche invasive Arten fördern können	73
4.7.3 Maßnahme: Entfernung von Neophyten im Zuge der Renaturierung bzw. bei Arbeiten an Gewässern.....	73
4.7.4 Maßnahme: Nachsorge bei Bauarbeiten/Neophytenmanagement.....	74
4.7.5 Maßnahme: Bewusst Wanderhindernisse erhalten (Einwanderung von Signalkrebs bei Edel- oder Steinkrebsvorkommen verhindern).....	76
4.8 Stärkere Auswirkungen stofflicher Belastung	77
4.8.1 Auswirkungen.....	77
4.8.2 Maßnahme: Förderung Sauerstoffeintrag und Selbstreinigungskraft durch Erhöhung der gewässertypischen Strukturvielfalt	78

4.8.3	Maßnahme: Förderung der Selbstreinigungskraft durch Beschattung	79
4.8.4	Maßnahme: Verringerung Nährstoff- und Sedimenteintrag durch Ufergehölzstreifen und Uferrandstreifen	80
4.8.5	Maßnahme: Verringerung Nährstoff- und Sedimenteintrag durch Maßnahmen in der Fläche	82
5	Maßnahmen speziell im urbanen Raum	84
	Abbildungsverzeichnis.....	92
	Literaturverzeichnis	95

1 Einleitung

Der Klimawandel gilt als eine der größten globalen Herausforderungen des 21. Jahrhunderts. Steigende Treibhausgaskonzentrationen in der Atmosphäre führen zu einer anhaltenden Erwärmung, die sich in verschiedenen Bereichen des Erdsystems bemerkbar macht. Neben dem Temperaturanstieg zählen Veränderungen im Niederschlagsregime, die Zunahme extremer Wetterereignisse, das Abschmelzen von Gletschern und Eiskappen sowie der Meeresspiegelanstieg zu den zentralen Folgen dieser Entwicklung. Diese Prozesse haben weitreichende Auswirkungen auf Ökosysteme, menschliche Gesellschaften und wirtschaftliche Strukturen.

Besonders sensibel reagieren aquatische Systeme auf die Klimaerwärmung. Gewässer sind durch ihre enge Abhängigkeit vom Niederschlags- und Temperaturgeschehen unmittelbar betroffen. Veränderte Abflussmuster, häufigere und längere Niedrigwasserperioden, zunehmende Wassertemperaturen und eine verstärkte Belastung durch Nähr- und Schadstoffe gefährden die Stabilität von Flüssen, Seen, Feuchtgebieten und Küstengewässern. Damit sind nicht nur ökologische Funktionen wie die Sicherung der Biodiversität oder die Bereitstellung von Lebensräumen bedroht, sondern auch zahlreiche Nutzungsansprüche des Menschen. Trinkwasserversorgung, Landwirtschaft, Energiegewinnung, Schifffahrt sowie Freizeit- und Erholungsaktivitäten stehen in direkter Abhängigkeit zu einer stabilen und qualitativ hochwertigen Wasserverfügbarkeit.

Österreich ist als alpines Land in besonderer Weise von den Folgen des Klimawandels betroffen. Die Temperaturerhöhung in den Alpen verläuft schneller als im globalen Durchschnitt, was die hydrologischen Systeme stark beeinflusst. Der Rückgang der Gletscher führt zu veränderten Abflussregimen: Während in den Wintermonaten höhere Abflüsse durch frühere Schneeschmelze auftreten, sinken die Niedrigwasserabflüsse in den Sommermonaten deutlich. Dies wirkt sich insbesondere auf Gebirgsflüsse aus, die bislang stark durch Schmelzwasser gespeist wurden.

Gleichzeitig führen im Osten des Landes (z. B. im Burgenland und im Weinviertel) längere Trockenperioden zu sinkenden Grundwasserspiegeln und vermindern die Wasserführung der Fließgewässer. Damit steigt die Belastung durch Nährstoffe als Folge der geringeren Verdünnung in Kombination mit höheren Wassertemperaturen und dem dadurch geringeren Sauerstoffgehalt. In Seen erhöht sich die Gefahr von Algenblüten.

Feuchtgebiete und Auenlandschaften, die für den ökologischen Wasserhaushalt Österreichs von zentraler Bedeutung sind, geraten zunehmend unter Druck. Durch Trockenheit, Regulierung und Klimaveränderungen verlieren sie ihre Funktion als natürliche Puffer- und Speicherzonen.

Gerade kleine Fließgewässer in den Tieflagen Österreichs, die schon natürlicherweise geringe Niederwasserführungen aufweisen, sind daher von der Gewässererwärmung und den reduzierten NW-Abflüssen, die bis zur fast gänzlichen Austrocknung führen können, besonders betroffen.

Diese ernsthafte Bedrohung für die Biodiversität und die ökologische Funktionsfähigkeit erfordert ein integratives Gewässermanagement, das ökologische, hydrologische und klimatische Aspekte berücksichtigt. Um die negativen Auswirkungen abzufedern, sind Anpassungsmaßnahmen unerlässlich. Dazu zählen die Wiederherstellung natürlicher Rückhalte- und Speicherfunktionen durch Renaturierung von Flussauen und Feuchtgebieten, die Wiederherstellung oder Verbesserung der Grundwasseranbindung, eine Reduzierung der Flächenversiegelung sowie die Implementierung des Schwammstadt-Prinzips in urbanen Räumen. Ergänzend dazu müssen wasserwirtschaftliche Strategien entwickelt werden, die ökologische Mindestabflüsse sichern, die Effizienz der Wassernutzung steigern und den Interessenkonflikt zwischen menschlichen Nutzungsansprüchen und ökologischen Anforderungen ausgleichen.

Vorliegende Handlungsempfehlungen beschreiben, welche Maßnahmen zur Klimawandelanpassung im Rahmen eines integrativen Gewässermanagements bei Renaturierungen/Revitalisierungen und im Zuge der Gewässerpflege zu berücksichtigen sind. **Der Schwerpunkt liegt dabei auf kleinen und mittleren Fließgewässern im außeralpinen Raum.** Generell ist dabei festzuhalten, dass einzelne Maßnahmen aufgrund ihrer vielfältigen (Wechsel)wirkungen in der Regel mehreren Auswirkungen des Klimawandels entgegenwirken.

Die folgenden Kapitel widmen sich einer detaillierten Analyse der Zusammenhänge zwischen Klimaerwärmung und Gewässern und den absehbaren Auswirkungen auf z. B. Abflussdynamik und Wasserqualität – mit besonderem Fokus auf Österreich. Darauf aufbauend werden die Möglichkeiten zur Anpassung dargestellt, um sowohl ökologische Stabilität als auch gesellschaftliche Nutzungsansprüche langfristig zu gewährleisten. In eigenen Kapiteln wird dabei auch auf die speziellen Anforderungen sowohl in urbanen als auch ländlichen Gebieten eingegangen.

2 Auswirkungen des Klimawandels auf Abflussverhältnisse, Temperatur und Gewässerökologie

Der Klimawandel bezeichnet langfristige Veränderungen des globalen als auch regionalen Klimas. Diese äußern sich unter anderem in steigenden Durchschnittstemperaturen, veränderten Niederschlagsmustern, häufigeren Extremwetterereignissen (z. B. Dürren, Hitzewellen, Starkregen) sowie einem steigenden Meeresspiegel. Der aktuelle Klimawandel wird vor allem durch menschliche Aktivitäten (z. B. Treibhausgasemissionen aus Industrie, Verkehr, Landwirtschaft, Abholzung und Landnutzungsänderungen, ...) verursacht und ist nicht mehr nur Teil natürlicher Klimaschwankungen wie in früheren Erdzeitaltern (z. B. durch vulkanische Aktivität, Sonnenzyklen, natürliche Klimaschwankungen).

2.1 Generelle Auswirkungen des Klimawandels auf den Wasserhaushalt

Der Klimawandel hat signifikante Auswirkungen auf den globalen Wasserhaushalt, die sich sowohl auf die Verfügbarkeit als auch auf die Qualität der Wasserressourcen auswirken. Steigende Temperaturen, veränderte Niederschlagsmuster und häufigere Extremwetterereignisse beeinflussen die natürlichen Wasserkreisläufe auf komplexe Weise und stellen Mensch und Umwelt vor große Herausforderungen. Eine der deutlichsten Folgen des Klimawandels ist die zunehmende Veränderung in der räumlichen und zeitlichen Verteilung von Niederschlägen. In vielen Regionen der Welt kommt es zu längeren Trockenperioden und häufigeren Dürren, während andere Gebiete unter verstärkten Starkregenereignissen leiden. Auch die wiederkehrende Abfolge beider Phänomene in einer Region ist zu beobachten.

Diese Veränderungen resultieren in einer zeitlich und regional inhomogenen Verfügbarkeit von Wasser, die in Perioden oder Regionen mit hohem Bedarf als problematisch erachtet wird. Besonders betroffen sind bereits wasserarme Regionen, in denen die Versorgungssicherheit zunehmend gefährdet ist (IPCC, 2022).

Neben der Quantität beeinflusst der Klimawandel auch die Qualität des verfügbaren Wassers. Der Sauerstoffgehalt sinkt, da Wasser bei höheren Temperaturen weniger Sauerstoff lösen kann als kälteres Wasser. Gleichzeitig erhöhen Starkregenereignisse den Eintrag von Feinsediment in Oberflächengewässer. Durch häufigere Überläufe von Abwassersystemen steigt der Eintrag von Nähr- und Schadstoffen (Kundzewicz et al., 2008). Trockenperioden konzentrieren zudem Schadstoffe, da weniger Wasser zur Verdünnung zur Verfügung steht.

Durch ein geringeres Wasserdargebot bei gleichzeitig steigendem Bedarf erhöht sich zudem die Konkurrenz zwischen verschiedenen Nutzern (Landwirtschaft, Industrie, Energiewirtschaft, Haushalte).

2.2 Auswirkungen-des Klimawandels speziell auf den österreichischen Wasserhaushalt und die aquatische Fauna

Der Klimawandel und der damit einhergehende Temperaturanstieg schreitet kontinuierlich voran und beeinflusst dadurch maßgeblich die Wassertemperatur.

Steigende Lufttemperaturen und resultierende Erwärmung der Gewässer:

Die Lufttemperaturen in Gebirgsregionen steigen schneller als im globalen Durchschnitt, wodurch auch die Wassertemperaturen beeinflusst werden (Niedrist, G.H., 2023). Seit 1900 stieg die Lufttemperatur in Österreich um rd. 3,1°C (Zweiter Österreichischer Sachstandsbericht zum Klimawandel (AAR2), BMLUK, 2025). In der Studie „Klimawandel in der Wasserwirtschaft“ (Blöschl et al., 2017) wurde eine österreichweite Zunahme der Lufttemperatur von 1996 bis 2014 um ca. 1,2°C ermittelt. Die zukünftige, österreichweite Zunahme zwischen 2021 und 2050 wird rund 1,5°C betragen. Der Temperaturanstieg soll zudem in den tiefen Lagen, vor allem im Osten Österreichs, stärker sein als im alpinen Raum. Langzeitstudien zeigen weiters, dass sich alpine Fließgewässer in Österreich schneller erwärmen als bisher angenommen. Eine Untersuchung der Universität Innsbruck ergab, dass die Wassertemperatur des Inns und der Großache um 0,24 bzw. 0,44 °C pro Jahrzehnt gestiegen ist. Besonders auffällig ist die Erwärmung in den Wintermonaten, was auf die steigende Lufttemperatur in Gebirgsregionen zurückzuführen ist. Eine weitere Studie, veröffentlicht in "Nature Climate Change", analysierte Daten von 216 europäischen Flüssen, darunter 152 in Österreich.

Sie stellte fest, dass 87 % dieser Flüsse eine Erwärmung und 70 % einen Sauerstoffverlust zwischen 1981 und 2019 verzeichneten. Die mittlere Erwärmungsrate lag in Mitteleuropa bei 0,27 °C pro Jahrzehnt (Zhi, W. et al., 2023). Höhere Lufttemperaturen bedingen zudem exponentiell ansteigende Verdunstungsraten.

Die meisten aquatischen Organismen haben eine genetisch festgelegte Temperaturspanne, innerhalb der ein Leben bzw. ein Überleben möglich ist. Die auftretenden Maximal- und Minimaltemperaturen und deren Dauer sowie örtlich und zeitlich auftretende natürliche Schwankungen der Temperatur im Gewässer sind bestimmende Faktoren für das Vorkommen und die Bestandsbildung bestimmter Arten aber auch für die Ausbildung der typischen Gewässerlebensgemeinschaften.

Die Erwärmung der Fließgewässer hat dadurch mehrere kurz- bis langfristig wirkende ökologische Konsequenzen:

- Verschiebung der Artenzusammensetzung bzw. der Fischregionen: Kälteangepasste Arten wie z. B. die Bachforelle verlieren Lebensraum, während wärmeliebende Arten vordringen.
- Zu den Gewinnern des Klimawandels können gebietsfremde Arten zählen, die eine Bedrohung für heimische Tiere und Pflanzen darstellen.
- Verringerter Sauerstoffgehalt: Wärmeres Wasser kann weniger Sauerstoff lösen, was den Stress für aquatische Organismen erhöht, wodurch diese anfälliger für Krankheiten werden.
- Vermehrtes Algenwachstum: Höhere Temperaturen fördern das Wachstum von Algen, was zu Eutrophierung führen kann.
- Beeinträchtigung der Fortpflanzung: Viele Fischarten benötigen spezifische Temperaturen für die Fortpflanzung, die durch die Erwärmung gestört werden.

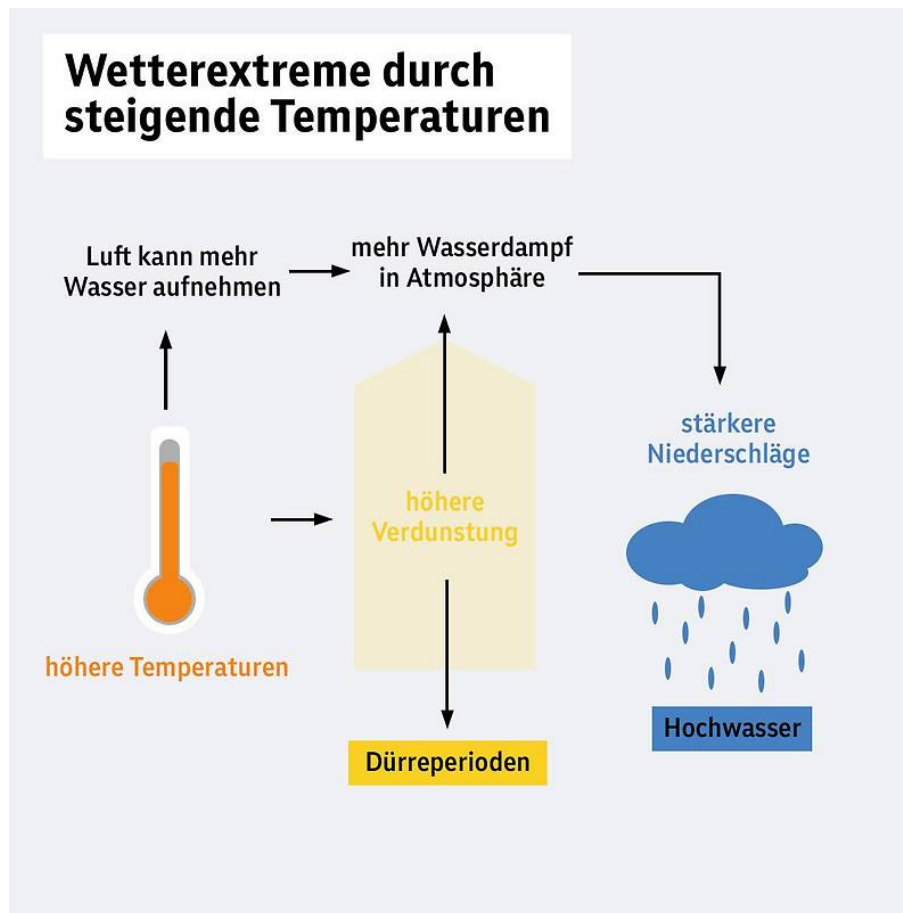
Veränderte Niederschlagsverteilung und resultierende Änderungen im Wasserhaushalt

Geringere Sommerniederschläge und damit veränderte Abflussmuster führen in manchen Regionen zu niedrigeren Niederwasserabflüssen. Gemäß Studie „Klimawandel in der Wasserwirtschaft“ nimmt der Niederschlag österreichweit gesehen zwar zukünftig zu – zwischen 3 % im Sommer und 14 % im Winter im Zeitraum von 2021 bis 2050. In 5 % der betrachteten Einzugsgebiete nahmen die Niederwasserabflüsse in den letzten 60 Jahren ab. Unter der Annahme eines weiteren Temperaturanstiegs um 2°C wird eine weitere Halbierung der Niederwasserabflüsse bis 2040 prognostiziert. Die aktuelle laufende Studie „Wasser im Klimawandel – eine Studie über die Auswirkungen“ (<https://www.wasseraktiv.at/wasser-im-klimawandel>) untersucht die Auswirkungen des Klimawandels auf Österreichs Wasserhaushalt. Ziel der österreichweiten Studie ist es, anhand zahlreicher Messdaten, Wasserszenarien bis zum Jahr 2100 zu erstellen. Die vorliegenden ersten Ergebnisse deuten auf einen signifikanten Rückgang der Gletscher und Schneedecken hin. Die Gletscher Österreichs werden bis zum Jahr 2050 voraussichtlich 70 bis 80 Prozent ihrer Masse eingebüßt haben, verglichen mit dem Jahr 2024. Ein weiteres Zwischenergebnis ist, dass die saisonale Verschiebung des Niederschlags deutlich stärker ausfallen wird, als bisher angenommen. Gemäß den Projektionen wird sich die mittlere sommerliche Niederschlagsmenge bis zur Mitte des Jahrhunderts im Vergleich zu früheren Szenarien-Berechnungen um fünf bis 15 Prozent reduzieren. Gleichzeitig verschiebt sich der Niederschlag in die kältere Jahreszeit. Die Niederschlagsmenge bleibt im Jahresmittel weitgehend konstant, jedoch führt der anhaltende Temperaturanstieg zu einem erhöhten Wasserverlust, beispielsweise durch eine verstärkte Verdunstung. Obwohl während der Saison insgesamt weniger Wasser gesammelt wird, können die erhöhte Niederschlagsintensität und die damit verbundenen Folgen, wie ein beschleunigter Abfluss und eine verringerte Versickerung, lokale Überflutungen wahrscheinlicher machen.

Insgesamt führt veränderte Niederschlagsverteilung in Zusammenhang mit der erhöhten Temperatur zu folgenden Änderungen im Wasserhaushalt:

- Zunahme extremer Wetterereignisse: Heftige Regenfälle und längere Trockenperioden treten häufiger auf.

Abbildung 1 Schematische Darstellung der Auswirkungen von steigenden Temperaturen.



Quelle: <https://orf.at/stories/3397626/> vom 02.07.2025 © ORF

- Stärkere Regenfälle überfordern natürliche Wasserspeicher und erhöhen das Hochwasserrisiko
- Rückgang von Gletschern und Schneebedeckung:
 - Verringerte Wasserspeicherung im Winter durch geringere Schneedecken.
 - Frühzeitige Schneeschmelze führt zu einer zeitlichen Verschiebung des Wasserangebots, Reduktion der Abflüsse im Frühjahr und Sommer.
 - Reduktion der Kühlung der Gewässer durch Schmelzwasser.
- Steigende Lufttemperaturen führen zu einer verstärkten Verdunstung
- Sinkende Grundwasserspiegel, weil weniger Wasser zur Versickerung kommt und mehr Wasser verdunstet.
- Verlängerte Vegetationszeit durch frostfreie Böden und wärmere Temperaturen im Winter führen zu einem gesteigerten Wasserverbrauch durch die Natur und weniger verfügbares Wasser für die langfristige Speicherung

Insgesamt lassen sich die Auswirkungen des Klimawandels auf die österreichischen Fließgewässer auf folgende Hauptparameter zusammenfassen, die nachfolgend näher behandelt werden.

- Untypische Aufwärmung des Gewässers
- Verringerung des Niederwasser-Abflusses und Verlängerung der Niederwasserphasen
- Erhöhung der Hochwasser-Spitzen
- Veränderung Abflussregime (wird bei den Kap. Niederwasser und Hochwasser mitbehandelt)
- Erhöhung Feinsedimenteintrag durch Starkregen
- Stärkere Auswirkung von stofflichen Belastungen
- Verschiebung biozönotischer /Fischregionen
- Stärkere Auswirkung von invasiven Arten
- Geänderte Nutzungsansprüche der Menschen

Insbesondere werden auch die wichtigsten Maßnahmen zu deren Minimierung/Vermeidung beschrieben. Erfüllen Maßnahmen ihre Wirkung bei mehreren Problembereichen, werden sie bei ihrer Hauptwirkung beschrieben und bei den anderen Problembereichen nur kurz angeführt bzw. auf den Hauptbereich verwiesen.

3 Grundsätzliche Überlegungen zur Maßnahmenplanung

3.1 Optimierte Kombination der Einzelmaßnahmen durch integrative übergeordnete Planungen

Mit der Betrachtung längerer Gewässerabschnitte bzw. Einzugsgebiete können Einzelmaßnahmen optimal aufeinander abgestimmt und kombiniert werden, wodurch deren Gesamtwirkung erheblich gesteigert wird. Für diese Anforderung wurde das Gewässerentwicklungs- und Risikomanagementkonzept (GE-RM) als integratives Planungsinstrument entwickelt, das durch Vernetzung und Abstimmung der Ziele und Maßnahmen im Planungsraum der Festlegung von mittel- bis langfristigen Zielen, Maßnahmen und Handlungsoptionen für das Hochwasserrisikomanagement dient.

Weiterführende Informationen zum GE-RM sind auf der Website des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Klima- und Umweltschutz, Regionen und Wasserwirtschaft zu finden (<https://www.bmluk.gv.at/service/publikationen/wasser/leitfaden-gewaesserentwicklungs--und-risikomanagement.html>)

3.2 Erhaltung Hochwasserschutz und Sohlstabilität

Durch Maßnahmen in und an Gewässern darf es zu keiner Verschlechterung der Hochwassersicherheit, insbesondere bei höherwertig genutzten Flächen, kommen. Dementsprechend sind die Abflusskapazitäten und die Freiborde nach etwaiger Umsetzung zu erhalten. Gerade bei Hochwasserprognosen und den daraus ermittelten notwendigen Abflusskapazitäten inkl. Freiborde erschweren klimawandelbedingte Extremereignisse die Prognose.

Durch Eintiefung der Gewässersohle können der Grundwasserspiegel abgesenkt oder Ufersicherungen unterspült werden. Anlandungen können die Hochwasserabfuhr unzulässig verringern.

Bei allen Maßnahmen ist daher eine Sohlstabilität im dynamischen Gleichgewicht anzustreben. Das bedeutet, dass trotz kurzfristiger Sohlschwankungen im Mittel die vorhandenen Sohländerungen über einen längeren Betrachtungszeitraum keinen maßgebenden Trend (Erosion oder Anlandung) ergeben.

3.3 Dem Gewässertyp entsprechende Maßnahmen und Materialien

Die Renaturierung von Fließgewässern zielt darauf ab, die gewässertypischen Lebensräume und die für deren Funktionsfähigkeit erforderlichen natürlichen Prozesse wiederherzustellen. Um dieses Ziel zu erreichen, müssen sich die Maßnahmen an der natürlichen Flussbettausformung orientieren. Wenn möglich sollten dabei auch gewässertypische Materialien verwendet werden. d.h. möglichst keine/wenig Steine in Tieflandgewässern.

Eine der primären Aufgaben ist dabei die verlorengegangenen Schlüsselhabitate für aquatische und amphibische Arten wieder zu schaffen. Schlüsselhabitate sind besonders bedeutsame Lebensräume, die für bestimmte Arten essenziell sind – insbesondere für bedrohte oder sensible Arten.

Beispiele sind:

- Kiesbänke und Furten (seichte, rasch überströmte Bereiche mit Kies) als Laichplätze und Lebensraum für Jungfische
- Flachwasserzonen mit geringer Strömung für Jungfische
- Tiefe Gewässerbereiche (Kolke als Rückzugraum in der warmen aber auch in der kalten Jahreszeit)
- Totholzstrukturen als Verstecke für Jung- und Adultfische, Nahrungsquelle und Substrat für Insekten
- Altarme, Nebengerinne und Auwälder

Abbildung 2 Schotterbank und Flachwasserbereich für Beispiel Schlüsselhabitat Oberlauf (Bregenzerach) (links), Beispiel für Strukturen v.a. Holz in Tieflandflüssen (Thaya) (rechts)



3.4 Wiederherstellung/Erhaltung Durchgängigkeit

Ein wesentlicher Punkt bei der Maßnahmenplanung gerade in Hinblick auf durch den Klimawandel verursachte Probleme wie vermehrte Hochwasserereignisse, Dürre, Austrocknen von Gewässern ist die Wiederherstellung der Durchgängigkeit.

Die Vernetzung der Lebensräume innerhalb eines Wasserkörpers und über Wasserkörpergrenzen hinweg ermöglicht die Wiederbesiedlung zuvor trocken gefallener Abschnitte aus Rückzugsräumen etc. Dadurch profitieren die Fischbestände längerer Gewässerabschnitte. Werden isolierte Populationen vernetzt, kann zudem die Stabilität der Teilpopulationen bei kritischen Ereignissen erhöht werden.

3.5 Minimierung der Gewässeraufwärmung

Die Erhöhung der Wassertemperatur in Gewässern greift auf vielen unterschiedlichen Wegen, insgesamt aber massiv in die Ökosystem Gewässer ein.

Bei allen Maßnahmen an Gewässern ist daher zu prüfen, ob damit eine Gewässeraufwärmung vermieden oder zumindest minimiert werden kann.

3.6 Maximierung Wasserrückhalt

Der Wasserrückhalt beschreibt die Fähigkeit eines Systems (Boden, Vegetation, Landschaft), Wasser zu speichern und zu verzögern, bevor es in Bäche, Flüsse oder die Kanalisation gelangt.

Ein hoher Wasserrückhalt hilft:

- Überflutungen zu verhindern, in dem Wasser gespeichert und langsamer abgegeben wird,
- Niederwasser-Phasen zu verkürzen und Niederwasser-Abflüsse (bis hin zu Mittelwasser MQ) zu erhöhen,
- die Grundwasserreserven aufzufüllen,
- Gewässer vor Stoffeinträgen zu schützen.

3.7 Berücksichtigung der langfristigen Entwicklung der Ufervegetation und des resultierenden Pflegeaufwandes bzw. Neophytenaufkommens

Struktur- und artenreiche Ufervegetationsgesellschaften sind ein wesentlicher Bestandteil ökologisch intakter Gewässer. Durch die besondere Lage am Übergang von Land und Wasser beherbergen Uferzonen eine große Zahl an teils hoch spezialisierten Tier- und Pflanzenarten. Das Vorhandensein eines standortgerechten Uferbewuchses hat aus wasserwirtschaftlicher Sicht zahlreiche Vorteile. Invasive Pflanzenarten werden an der Ausbreitung gehindert.

Bereits bei der Planung eines Gehölzstreifens bzw. einer Bepflanzung entlang von Gewässern sollte man sich Gedanken über die mögliche Entwicklung und den gewünschte Zielzustand machen. In Abhängigkeit von den lokalen Rahmenbedingungen ist eine naturnahe Gehölzentwicklung anzustreben, die aber den Anforderungen des Hochwasserschutzes für höherwertig genutzte Flächen nicht widerspricht.

3.8 Förderung der Naherholung an Gewässern unter Erhaltung von Rückzugsräumen für die Tier- und Pflanzenwelt

Naturnahe Gewässer entwickeln sich zunehmend zu attraktiven Zielen für die Naherholung. Gleichzeitig entsteht jedoch ein Nutzungskonflikt zwischen Erholungssuchenden und den Anforderungen des Naturschutzes sowie der Gewässerökologie. Dies gilt umso mehr, als die oben angeführten Auswirkungen des Klimawandels und ein vermehrtes Aufkommen invasiver Arten den Stress für Flora und Fauna sukzessive erhöhen. Eine zielführende Strategie zur Konfliktminimierung ist die „positive Besucherlenkung“.

Als Grundprinzipien der Besucherlenkung gilt es Anreize zu schaffen, um gewünschte Besucherströme an attraktive, leicht erreichbare Soll-Plätze (inkl. Sitzplätze ...) zu konzentrieren, Zugänge zu empfindlichen Rückzugsräumen zu erschweren (durch schlechte Wege, stechende Pflanzen wie z. B. Weißdorn, Schlehdorn, ...), statt strikt zu verbieten und somit Erholung und Naturschutz in Einklang zu bringen.

4 Konkrete Auswirkungen und Maßnahmen

4.1 Untypische Aufwärmung des Gewässers und Maßnahmen zur Anpassung

4.1.1 Auswirkungen

Die Erwärmung der Gewässer ist eine klar messbare Folge des anthropogenen Klimawandels. Sie beeinflusst sowohl physikalische und chemische Prozesse als auch aquatische Ökosysteme und menschliche Nutzungen.

Als wechselwarme Tiere können Fische und andere Gewässerorganismen die Körpertemperatur nicht selbst regulieren, sondern sind direkt von der Wassertemperatur abhängig. Deren Stoffwechsel ist eng an die Wassertemperatur gebunden. Die thermischen Grenzen sind art- und individuenspezifisch und hängen unter anderem von Entwicklungsstadium, Akklimatisierungszeit, Jahreszeit, Sauerstoffgehalt, Gewässerverschmutzung, Auftreten von Krankheitserregern oder Interaktion mit anderen Organismen ab (Gaudard et al. 2018). Typischerweise können Kaltwasserarten Temperaturen über 25 °C nicht tolerieren (Lessard & Hayes 2003). Ein Anstieg der Temperaturen führt zunächst zu einem erhöhten Energie- und Sauerstoffbedarf. Gleichzeitig sinkt jedoch die Sauerstofflöslichkeit im Wasser.

Zudem sind Fortpflanzungszyklen zu einem erheblichen Anteil von der Wassertemperatur gesteuert. Untypisch hohe Temperaturen verändern beispielsweise das Laichverhalten von Fischen und beschleunigen die Entwicklung der Fischeier und -larven, was die Überlebenschancen von Jungfischen beeinträchtigen kann.

Das Makrozoobenthos reagiert ebenfalls empfindlich auf Temperaturerhöhungen. Temperatur- und sauerstofftolerante Arten wie viele Zuckmückenlarven (Chironomidae) oder Würmer gewinnen an Dominanz, während empfindliche Gruppen wie Eintagsfliegen (Ephemeroptera), Steinfliegen (Plecoptera) oder Köcherfliegen (Trichoptera) zurückgehen. Damit einhergehend kann die Diversität einzelner Gewässerabschnitte sinken.

Zusätzlich verstärken hohe Temperaturen die Zersetzung organischer Substanz, was zu Sauerstoffdefiziten im Sediment führt und benthische Gemeinschaften weiter belastet. Die Kombination aus erhöhtem Stoffwechsel, Sauerstoffmangel und Verschiebung der Artenzusammensetzung führt zu einer Abnahme der ökologischen Qualität und zu einer Homogenisierung der Lebensgemeinschaften. Langfristig sind Verschiebungen der Verbreitungsgrenzen sowie der Verlust empfindlicher Schlüsselarten zu erwarten.

4.1.2 Maßnahme: Beschattung durch Ufervegetation – Ufergehölzstreifen

Die Wiederherstellung der Beschattung durch standortgerechte, dichte Ufervegetation mit möglichst vollständigem Kronenschluss wird als die mit Abstand aussichtsreichste Maßnahme zur Reduktion der Gewässeraufwärmung betrachtet. In Gewässern geringer Größe kann die angestrebte Maßnahme neben Ufergehölzen auch durch krautige, überhängende Vegetation oder durch Röhricht realisiert werden.

Die Beschattung durch Ufervegetation reduziert den Anteil der kurzwelligen Sonnenstrahlung, die die Wasseroberfläche erreicht, und somit den strahlungsbedingten Wärmeeintrag um bis zu 95 % (Kalny et al. 2017). In Hitzeperioden kann die maximale Tagestemperatur des Wassers um bis zu 4 °C im Vergleich zu unbeschatteten Strecken reduziert werden (Moosmann et al. 2005). Eine ausreichende Beschattung durch Gehölze trägt weiters zur Pufferung vom Tagesgang der Temperatur bei. Die kühlende Wirkung von gut beschatteten Zuflüssen ist selbst in Hauptgewässern messbar, die aufgrund ihrer Breite nicht vollständig beschattet sein können (Aquaplus 2021).

Ufergehölzstreifen sollten möglichst nahe am Gewässer liegen, da damit die intensivste Beschattung erreicht wird. Zusätzlich bilden frei liegende Wurzeln Habitate im Gewässer und das herabfallende Laub stellt eine wichtige Nahrungsbasis für Pflanzenfresser im Gewässer dar. Zudem stellen Ufergehölze wichtige Strukturen für Schlupf und Paarung aquatischer Insekten dar und dienen als Lieferanten für Totholz im Gewässer.

Abbildung 3 Abschnitt an der oberen Thaya mit gewässertypischen Strukturelementen und guter Beschattung (links). Strukturarmer Abschnitt an der oberen Thaya ohne Uferbewuchs (rechts)



Bereits bei der Anlage bzw. Planung von Ufergehölzstreifen ist die zukünftige Entwicklung des Gehölzbestandes und dessen Auswirkungen auf die Hochwasserabflusskapazität zu berücksichtigen. In Abhängigkeit von den lokalen Rahmenbedingungen ist eine naturnahe Gewässerentwicklung anzustreben. An Flussabschnitten, an denen das Abflussprofil knapp bemessen ist, muss die Vegetation im Abflussprofil nieder und gut durchströmbar gehalten werden. Vielfach ist eine Bepflanzung des Abflussprofils mit Hochstämmen oder Kopfweiden tolerierbar, wenn deren Kronenansatz oberhalb des bordvollen Wasserspiegels liegt. Muss die hydraulische Leistungsfähigkeit des Gewässerprofils zur Gänze erhalten bleiben, werden nur die Böschungsoberkanten bepflanzt.

Der Bewuchs sollte einerseits bevorzugt südexponiert angelegt werden, um eine maximale Beschattung des Gewässers zu erreichen. Aus hydraulischer Sicht sollte die Bepflanzung uferseitig abwechselnd und in lang gestreckten Gruppen jeweils am Außenufer erfolgen.

Dadurch verbleibt im Hochwasserfall ein möglichst breiter und ungeteilter – also hydraulisch günstiger – Abflussquerschnitt. Die Gehölzgruppen sind am Prallufer möglichst dicht anzuordnen, um unerwünschte Seitenerosion zu verhindern. Durch die Beschattung der Böschung und des Gewässers werden das Wachstum der krautigen Vegetation und das Massenaufkommen von Wasserpflanzen eingeschränkt, was sich positiv auf die Pflegeintervalle auswirkt.

Abbildung 4 Bepflanzung Weidenbach zw. Gaweinsthal und Bad Pirawarth (links). Pulkau durchgehende Beschattung durch Gehölze auf beiden Uferseiten (rechts)



Beispiel Beschattung durch Ufervegetation

Ein durchgehende (dichte) Bewaldung bzw. Gewässerrandstreifen stellt das Optimum hinsichtlich Beschattung und Kühlungseffekt dar. Ein Beispiel für die erfolgreiche Umsetzung einer Gehölzbepflanzung entlang eines Gewässers ist das Projekt am Weidenbach zwischen Gaweinsthal und Bad Pirawarth in Niederösterreich, wo Bäume entlang des Gewässers gepflanzt wurden, um eine Überhitzung zu vermeiden. Entlang des Weidenbaches wurden z. B. folgende Baum- und Straucharten gepflanzt: Vogelkirsche, Echte Walnuss, Trauerweide und Winterlinde. Weitere positive Nebenaspekte waren dabei: Stabilisierung der Uferböschung, Förderung der Artenvielfalt und Schaffung einer Pufferzone zwischen Bach und den angrenzenden Ackerflächen.

4.1.3 Maßnahme: Beschattung durch Gewässerstrukturen

Eine Beschattung kann auch durch die Förderung gewässertypischer Strukturen inkl. (gewässertypischer) Tiefstellen erreicht werden. Durch den Einbau von großen Holzstrukturen knapp über oder im Mittelwasserbett (Strukturbäume, Wurzelstöcke) wird das Bachbett nicht nur beschattet, es entstehen auch Versteckmöglichkeiten und Strömungsschatten. Können aufgrund mangelnder Flächenverfügbarkeit nur kleinräumige Maßnahmen umgesetzt werden, kann zumindest eine lokale Beschattung durch den Einbau von Holzstrukturen knapp über dem Mittelwasserniveau gefördert werden.

Abbildung 5 Laabenbach – Tiefstellen und direkte Beschattung durch Totholz/überhängende Bäume

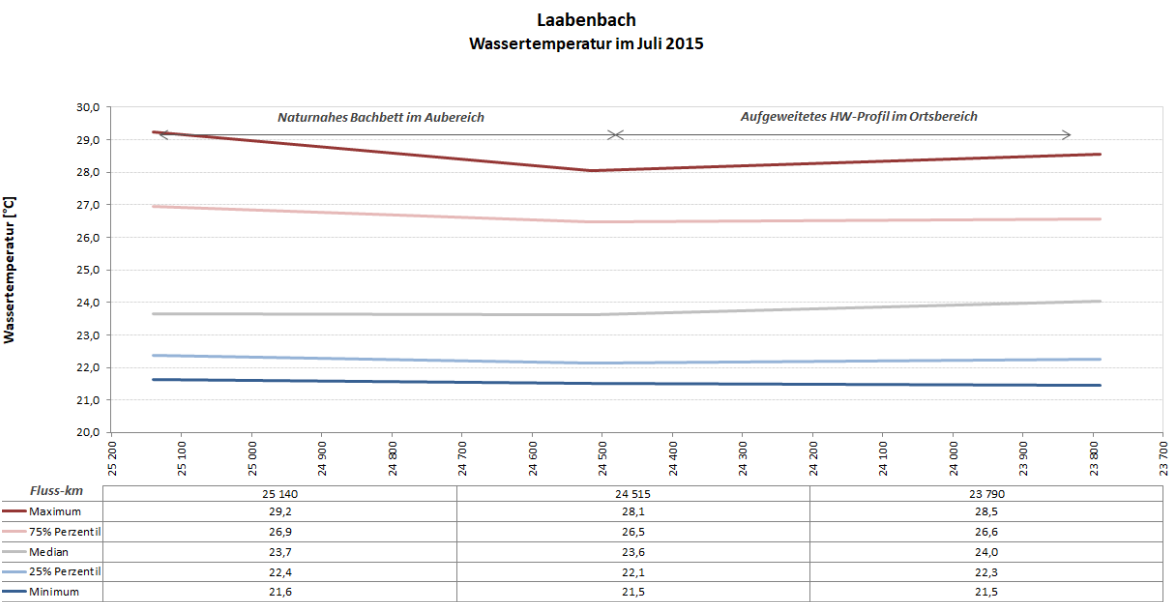


Die Gestaltung des Mittelwasserbettes hat wesentliche Auswirkungen auf die Gewässererwärmung (siehe Abbildung 6). Ein überbreites Mittelwasserbett mit geringen Wassertiefen und fehlender Beschattung führt bei Niederwasser zu einer wesentlich höheren Aufwärmung als im Vergleich zu einem kompakten, heterogenem Mittelwasserbett. Auch die Auswahl der verwendeten Materialien hier vor allem die Farbe kann zu einer Erwärmung beitragen. Zu bevorzugen sind hellere Wasserbausteine, dunklere Wasserbausteine können bei einer flachen Überströmung zur Erwärmung beitragen.

Abbildung 6 Kompaktes MW-Bett und Beschattung (links). Überbreites MW-Bett, flach überströmt ohne höheren Uferbewuchs, z.T. Verwendung dunkler Wasserbausteine (rechts)



Abbildung 7 Reduktion Wassertemperatur im revitalisierten Gewässerabschnitt und Aufwärmung im regulierten Abschnitt



4.1.4 Maßnahme: (Wieder)Vernetzung von Gewässer und Grundwasser

Die hydrologische Verbindung zwischen Grund- und Oberflächengewässern spielt eine wichtige Rolle für die Stabilität von aquatischen Ökosystemen. Eine Funktion liegt in der Temperaturregulation, da Grundwasser ganzjährig relativ kühl ist. Auch kleine Grundwasser gespeiste Gewässer und Feuchtgebiete weisen in Trockenzeiten einen Basisabflüsse auf, der ein Austrocknen und den Verlust von Lebensräumen verhindert.

Technische Versiegelungen wie Beton- oder diverse andere Betonierte und glatt verfugte Sohl- und Uferpflasterungen bieten Tieren und Pflanzen keinen Lebensraum und verhindern den natürlichen Austausch zwischen Oberflächenwasser und Grundwasser. Durch die Entfernung der betonierten Gerinnesohle und Einbau von standortgemäßen Sohl- und Böschungsmaterial kann – auch ohne zusätzliche Strukturierung – eine deutliche ökologische Verbesserung des Gewässers erzielt werden.

Wesentlich dabei ist, dass das eingebrachte Sohlmaterial nicht bei Hochwasser wieder erodiert wird. Dazu ist einerseits der Korndurchmesser des Sohlmaterials ausreichend groß, allerdings im Rahmen der gewässertypischen Korngrößen, zu wählen. Im Bereich der Furten, die hydraulisch am stärksten beansprucht werden, kann gröberes Sohlsubstrat eingebracht werden, wie es auch in natürlichen Gewässern der Fall ist (vgl. Kapitel 4.3, Erhöhung der Hochwasserspitzen-Spitzen).

Abbildung 8 Liesing flussab Mündung trockene Liesing vor (links) und kurz nach Bau (rechts)



Beispiel Entfernung Sohlpflasterung

Im Rahmen des LIFE Projektes EnCam (Environmental project with Climate Adaptation and Mitigation, Projektnummer: LIFE19 CCA/AT/001329) wurde bzw. wird das derzeit gepflasterte und verfugte Bachbett des Liesingbaches in Wien im gesamten Projektabschnitt im Zuge der Wiederherstellung der Oberfläche abgerissen und neu aufgebaut. Die neue Sohle wird mit autochthonem Sediment überschüttet und die Uferlinien werden heterogen ausgeführt. Der Totholzanteil im Bereich der Sohle soll dabei auch gleichzeitig wesentlich erhöht werden. Die Korngrößen und die Korngrößenverteilung des Substrates wurden dabei so gewählt, dass kleinräumige Umlagerungen möglich sind aber es bei größeren Hochwasserereignissen zu keinem Auswaschen des Geschiebes über größere Bereiche kommt.

Abbildung 9 Liesing – Hart verbauter Abschnitt mit Sohlpflasterung. Revitalisierter Bereich (2005) am Liesingbach



Abbildung 10 Hagenbach– gepflasterte Sohle vor Umbau 2016 (links). Hagenbach natürliche Gewässersohle 2025 nach ökol. Begleitplanung im Zuge HWS-Ausbau (rechts)



4.1.5 Maßnahme: Gestaltung naturnaher Kolk-Furt-Abfolgen zur Initiierung von Grundwasser-Zutritten

Als Beitrag gegen die sommerliche Erwärmung kann der Grundwasser-Zutritt in Gewässer neben der Wiederherstellung einer naturnahen, offenen Sohle durch die Schaffung naturnaher Kolk-Furt-Abfolgen erhöht werden. Durch die Interaktion des kühlen Grundwasserstroms mit dem Oberflächenwasser kann die Wassertemperatur gepuffert werden. Oberflächenwasser und Grundwasser bilden generell ein eng verbundenes System, das durch Infiltration (Versickerung in den Untergrund) und andererseits durch Exfiltration (Austritt in Gewässer) interagiert.

Auch wenn an der einzelnen Furt sich nur wenige Sekundenliter stark erwärmtes Oberflächenwasser mit dem kühlen Grundwasserbegleitstrom austauschen, ist bei einer großen Anzahl von naturnahen Furten und insgesamt geringer Wasserführung eine substantielle Abkühlung des Flusswassers möglich. Der naturnahe Unterlauf der Pielach weist beispielsweise eine solche sommerliche Abkühlung im Längsverlauf auf. Es liegt nahe, dass die naturnahen Kolk-Furt-Abfolgen des Pielach-Unterlaufs, die teils quer zum begleitenden Grundwasserstrom verlaufen, diese Abkühlung bewirken.

Abbildung 11 Strukturierung Liesing flussab reiche Liesing (links). Natürliche Kolk-Furt-Abfolgen an der Mank (NÖ) (rechts)



4.1.6 Maßnahmen im Rahmen der Gewässerpflege

Struktur- und artenreiche Ufervegetationsgesellschaften sind ein wesentlicher Bestandteil ökologisch intakter Gewässer. Der Uferbewuchs dient sowohl als Lebensraum und Nahrungsgrundlage als auch als Ausbreitungs- und Wanderkorridor für zahlreiche Tier- und Pflanzenarten. Auch aus Sicht des Wasserbaues ist das Vorhandensein eines standortgerechten Uferbewuchses in vielen Fällen von Vorteil: Der Bewuchs der Uferzone erhöht den Hochwasserrückhalt und stabilisiert durch das dichte Wurzelwerk die Ufer. Darüber hinaus stellt er die stabilste und pflegeärmste Uferbegleitvegetation dar. Durch den Schattendruck der Gehölze können zudem Pflegeeingriffe an der Böschung selbst (Böschungsmahd) und im Gewässer (Entkrauten) deutlich reduziert bzw. gänzlich ausgesetzt werden. Invasive Pflanzenarten werden an der Ausbreitung gehindert. Zur Sicherung unterschiedlichster Interessen und Nutzungen v.a. hinsichtlich des Hochwasserschutzes ist es außer in Freilandstrecken aber unerlässlich, diese Bereiche auch entsprechend zu pflegen. Sogenannte Gewässerpflege- und Instandhaltungskonzepte („Gewässerpflegekonzepte“) definieren jene Maßnahmen, mit denen eine langfristige Erhaltung bzw. Verbesserung der ökologischen Funktionsfähigkeit bei gleichzeitiger Erhaltung der Wirksamkeit der Hochwasserschutzanlagen bzw. die Sicherstellung des Hochwasserschutzes erreicht werden können und orientieren sich an folgenden Zielen:

- Sicherstellung des Hochwasserschutzes
- Erhaltung der Wirksamkeit der Hochwasserschutzanlagen
- Erhaltung/Verbesserung der ökologischen Funktionsfähigkeit und des ökologischen Zustandes
- Orientierung am Zielzustand gemäß Nationalen Gewässerbewirtschaftungsplan

Aus gewässerökologischer Sicht stellt der Umgang mit den Ufergehölzen einen wesentlichen Schwerpunkt von Gewässerpflegekonzepten dar. So soll innerhalb der rechtlichen Möglichkeiten ein möglichst naturnaher, standorttypischer Ufergehölzstreifen geschaffen bzw. erhalten werden. Falls möglich sollten ungenutzte Flächen als ungestörter Lebensraum sich selbst überlassen werden. Ist dies aufgrund der Rahmenbedingungen nicht möglich (siehe oben), soll zumindest eine möglichst weitgehende Beschattung des Gewässers zur Vermeidung von zu starker Aufwärmung ermöglicht werden. Darüber hinaus sollen Uferstrukturen / Einstände durch ins Gewässer reichende oder überhängende Äste, möglichst im Wasser sitzende Wurzelstöcke und Wurzelbärte geschaffen werden. Im Optimalfall wird eine erforderliche Ausdünnung des Ufergehölzbestandes durch die Entnahme einzelner Stämme erreicht.

Abbildung 12 Entnahme von einzelnen Stämmen um die Hochwasserabfuhr zu erhalten. Gleichzeitig bleibt ein durchgehender Ufergehölzsaum erhalten



Details zum Umfang und Aufbau von Gewässerpflegekonzepten sind im Leitfaden „Gewässerpflegekonzepte“ (BMLRT, 2020) dargestellt.

Abbildung 13 Das Belassen eines krautigen Ufersaums mit niedrigen Weiden erfüllt minimale ökologische Anforderungen (links). Bei beengtem Raumangebot kann durch eine Bepflanzung von hohen Bäumen an der Böschungsoberkante eine verbesserte Beschattung erreicht werden, um eine zu starke Aufwärmung des Gewässers zu vermeiden (rechts)



4.1.7 Maßnahme: Monitoring von Wassertemperaturdaten

Vor dem Hintergrund des Klimawandels ist das Monitoring der (Wasser)Temperatur keine optionale Zusatzmaßnahme mehr, sondern eine notwendige Grundlage für Umwelt- und Gewässerschutz, Risikomanagement (z. B. Fischsterben, Algenblüten), wasserwirtschaftliche Planung und Klimafolgenforschung. Ohne belastbare Daten lassen sich Trends, Extremereignisse und Wirkzusammenhänge kaum zuverlässig bewerten. Das kontinuierliche Monitoring ermöglicht Trendanalysen (langfristige Erwärmung), Bewertung von Hitzestress und ökologischen Risiken, Entwicklung von Anpassungsmaßnahmen (Beschattung, Renaturierung, Mindestabflüsse) und die Verbesserung hydrologischer und ökologischer Modelle und ist damit ein zentrales Element von Klimaanpassungsstrategien.

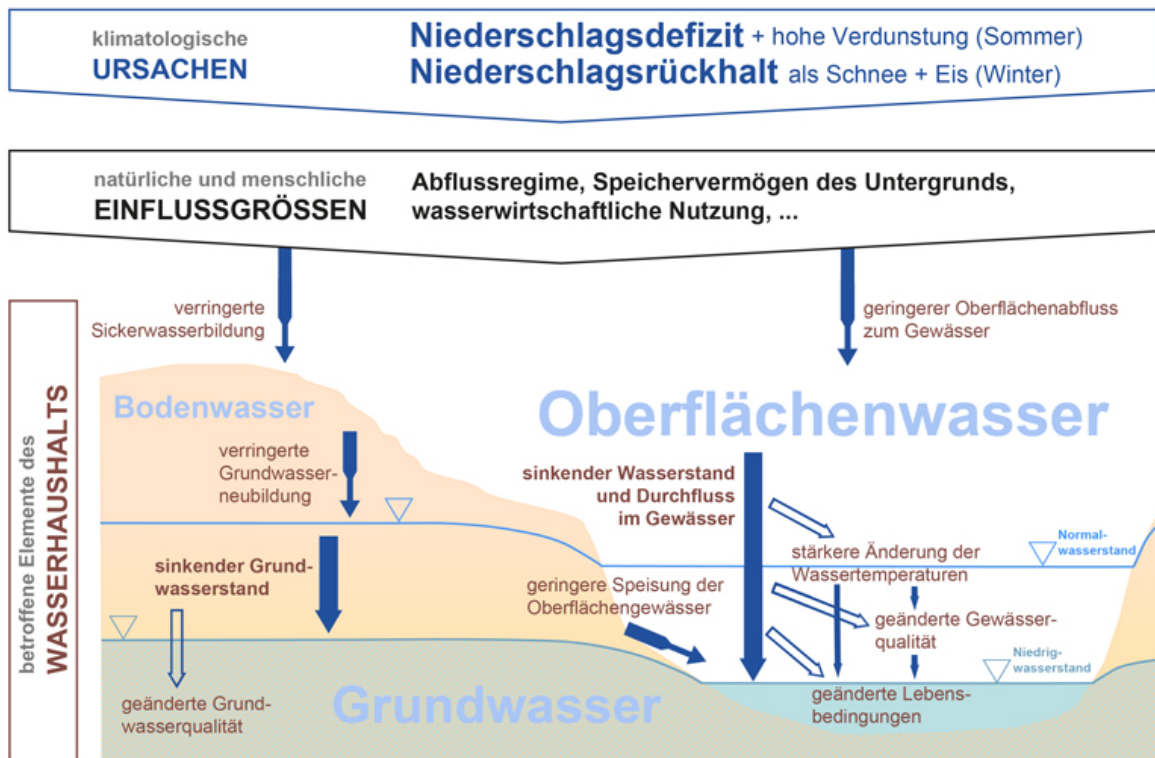
4.2 Verringerung Niederwasser-Abflüsse und Verlängerung Niederwasser-Phasen

4.2.1 Auswirkungen

Der Klimawandel verändert die hydrologischen Kreisläufe in vielerlei Hinsicht und wirkt sich insbesondere auf die Abflussdynamik aus. Durch steigende Temperaturen verschiebt sich die Niederschlagsverteilung zunehmend: Winter werden niederschlagsreicher, aber mit einem höheren Regen- statt Schneefallanteil, während die Sommer tendenziell trockener ausfallen. Dadurch kommt es zu einer beschleunigten Abflussbildung im Winterhalbjahr, während in den Sommermonaten die Wasserführung in einigen Gewässern zurückgehen kann. Hinzu kommt die erhöhte Verdunstung, die sowohl Böden als auch Oberflächengewässer betrifft. Durch die Erwärmung wird mehr Wasser an die Atmosphäre abgegeben, wodurch die Grundwasserneubildung sinkt. Da das Grundwasser in vielen Regionen den Basisabfluss der Flüsse in Trockenzeiten speist, führt diese Entwicklung zu einer Verstärkung von Niedrigwasserphasen. Vor allem in Gebieten mit geringer Grundwasseranbindung der Flüsse sind diese Effekte besonders ausgeprägt. Ein weiterer zentraler Faktor ist der Rückgang der Gletscher- und Schneeschmelze. In Gebirgsregionen waren Flüsse lange Zeit im Sommer durch Schmelzwasser stabilisiert. Mit der Abnahme der Gletscher fehlt diese gleichmäßige Zuführung, sodass im Sommer deutlich geringere Abflüsse auftreten, während Schmelzwasser zunehmend früher im Jahr abgegeben wird. Dies führt zu einer Verschiebung des saisonalen Abflussregimes und verstärkt Trockenphasen in der warmen Jahreszeit.

Die Folgen sind vielfältig. Ökologisch bedeutet eine Verringerung der Niedrigwasserabflüsse den Verlust von Lebensräumen, erschwerte Bedingungen für Fischwanderungen und eine Verschlechterung der Wasserqualität, da Schadstoffe weniger verdünnt werden. Auch Energieversorgung und Industrie sind betroffen, da die Erzeugung aus Wasserkraft zurückgeht und Kühlwasser nicht mehr in ausreichender Menge und Temperatur gewährleistet werden kann. Landwirtschaft und Trinkwasserversorgung geraten unter Druck, wenn Entnahmen in Konkurrenz zu sinkenden Abflüssen stehen.

Abbildung 14 Ursachen von Niedrigwasser und deren Auswirkungen auf die Elemente des Wasserhaushalts Oberflächengewässer, Boden- und Grundwasser



Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass der Klimawandel zu häufigeren, längeren und intensiveren Niedrigwasserperioden führt. Ursache sind veränderte Niederschlagsmuster, eine erhöhte Verdunstung und eine abnehmende Grundwasserneubildung. Damit stellt der Rückgang der Niedrigwasserabflüsse eine der zentralen Herausforderungen für Wasserwirtschaft und Ökosystemschutz in einer sich erwärmenden Welt dar.

4.2.2 Maßnahme: Gestaltung einer dem Gewässertyp angepassten Flussmorphologie

Kleinräumige Maßnahmen zur Habitatverbesserung im unmittelbaren Gewässerbett (Gewässerstrukturierungen) beschränken sich auf das bestehende Flussbett sowie die unmittelbare Uferzone. Damit kann ein vielfältiger und heterogener Lebensraum geschaffen werden, der auch bei verringertem Niederwasser Lebensraum bietet. Großräumige Maßnahmen wie Gewässerrenaturierungen haben diese Wirkung in noch stärkerem Ausmaß und tragen auch schon zur Vergleichsmässigung des Abflussregimes und Reduktion der Hochwasserspitzen bei (siehe Kap. 4.3 – Erhöhung der Hochwasserspitzen).

4.2.2.1 Gestaltung einer angepassten Niederwasserrinne zur Sicherstellung eines ökologischen Mindestlebensraumes

Eine zentrale Rolle spielt dabei die Gestaltung von Niederwasserrinnen, die als strukturgebendes Element bei langen Niederwasserphasen dienen. Eine Niederwasserrinne ist ein morphologisch vertieftes Profil innerhalb des Gerinnequerschnitts, dass auch bei geringen Abflüssen eine kontinuierliche Wasserführung mit einer ausreichenden Mindestwassertiefe sicherstellt. Bei der Planung einer Niederwasserrinne ist dabei die ökologisch erforderliche Mindestwassertiefe in Abhängigkeit der Abschätzung der zukünftigen Entwicklung des Abflusses – soweit möglich – zu berücksichtigen.

Während in Hochwasserphasen die gesamte Gerinnebreite durchströmt wird, konzentriert sich bei Niedrigwasser der Abfluss in dieser Rinne. Infolgedessen werden der Sauerstoffaustausch, die Strömungsvielfalt sowie der Lebensraumerhalt auch während Trockenzeiten sichergestellt. Die Konzentration des Abflusses in der Niederwasserrinne wirkt auch temperaturpuffernd.

Die dauerhafte Ausbildung einer Niederwasser-Rinne erfordert entsprechende strömungslenkende Maßnahmen (Buhnen, Strömungshindernisse...), damit sich diese auch bei Hochwasser erhalten bzw. neu ausbilden kann.

Abbildung 15 Wurzelstöcke wirken in kleinen Fließgewässern (Liesing, Wien) als Strömungslenker (Buhnen) (links). Ein mittiger Wurzelstock als Strömungsteiler hat die Ausbildung einer Insel zu Folge (Liesing, Wien) (rechts)



Abbildung 16 Auch Bögen in der Linienführung bewirken durch Ausbildung von Rinnern am Außenufer eine Niederwasserrinne (Foto Mank, NÖ).



Abbildung 17 Hohe Steinbuhne mit Ufererosion gegenüber und resultierendem tiefen Kolk (Mank, NÖ). Struktureicher Abschnitt am Laabenbach nach umgesetzter Renaturierung (NÖ)



Abbildung 18 Buhne mit Kolk am Bühnenkopf und Kiesinsel/Furt flussab (Melk, NÖ)



4.2.2.2 Keine für den Gewässertyp untypischen Aufweitungen

Während an den morphologischen Flusstyp angepasste Maßnahmen die Auswirkungen des Klimawandel auf die Gewässer reduzieren können, können nicht gewässertypische Maßnahmen die Auswirkungen noch verschärfen. So führen sohlgleiche Aufweitungen des Mittelwasser- und Hochwasser-Bettes über längere Strecken nur beim verzweigten Flusstyp zur Annäherung an den gewässertypischen Zustand.

Bei pendelnd-mäandrierenden Flusstypen führt eine reine Aufweitung des Abflussprofils ohne Herstellung eines pendelnden MW-Bettes nicht zur Ausbildung gewässertypischer Lebensräume. Ohne strömungslenkende Strukturen entsteht ein überbreites MW-Bett, das sukzessive wieder verlandet. Diese überbreiten Gewässerbereiche mit zumeist geringer Strömung erwärmen sich aufgrund der daraus resultierenden Gewässertiefe stärker als andere Bereiche des Gewässers.

Abbildung 19 Überbreites MW-Bett durch sohlgleiche Aufweitung eines gewunden-mäandrierenden Gewässers. Aufgrund der geringen Gewässerdynamik entsteht ein kaum durchflossener, ökologisch unattraktiver Rückstaubereich, der sukzessive verlandet. Massive Schlammablagerungen und Aufwärmung!



4.2.2.3 Gestaltung von Tiefstellen (Kolke) als Refugialräume

Besonders im Sommer führen steigende Wassertemperaturen und sinkende Abflüsse zu erheblichen Belastungen für die aquatische Fauna. Fische sind in solchen Phasen besonders auf ausreichend tiefe und kühle Wasserbereiche angewiesen. Im Zuge der Gewässerregulierungen gingen jedoch viele solcher Tiefzonen aufgrund von Begradigungen usw. verloren. Eine der zentralen Aufgaben moderner Gewässerrenaturierung im Schatten des Klimawandels ist daher die Wiederherstellung morphologischer Vielfalt, insbesondere die Schaffung von Tiefstellen und Kolken als Rückzugsräume für Fische in Hitze- und Niedrigwasserperioden. Durch den Einbau von Totholz, Wurzelstöcken oder Steinen entstehen zudem Versteckmöglichkeiten und Strömungsschatten. Diese Strukturen bieten Fischen und anderen Gewässerlebewesen Rückzugsräume und schaffen kühle Nischen mit höherem Sauerstoffgehalt.

Abbildung 20 Foto Liesing flussab Mündung Dürre Liesing – Tiefstellen und direkte Beschattung durch Totholz, Ufergehölze 2 Jahre nach Bau noch relativ klein



Abbildung 21 Tiefer Kolk am Außenufer (links). Tiefer, durch Totholz beschatteter Kolk im Bereich eines „Strömungshindernisses“ (Mank, NÖ) (rechts)



Die Schaffung gut strukturierter Tiefstellen (Kolke) kann durch entsprechende Maßnahmenplanung erfolgen bzw. unterstützt werden. So können Buhnen in unterschiedlichster Ausprägung Tiefstellen dauerhaft gewährleisten. Solche Maßnahmen wurden bereits erfolgreich in den letzten Jahren umgesetzt.

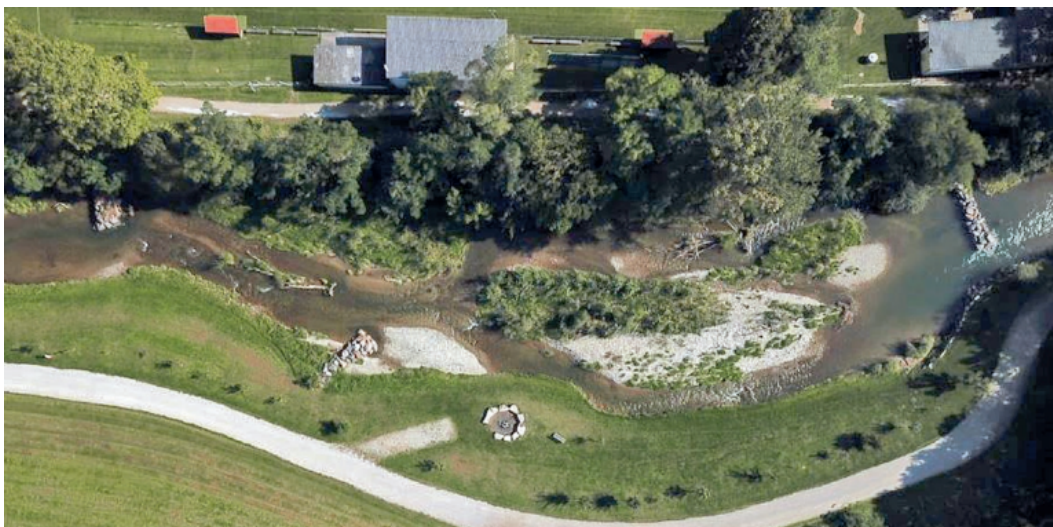
Abbildung 22 Fischschwarm in Rinner am Außenufer bei Niederwasser (Weidenbach, NÖ) (links). Kolke am Buhnenkopf stellen auch wichtige „Erholungsräume“ für Menschen dar (Melk St. Leonhard am Forst) (rechts)



Beispiel Strukturierung

Am Michelbach (NÖ) wurden im Jahr 2017 85 Bühnenstrukturen aus großen Wasserbausteinen errichtet, um im begradigten Flusslauf wieder naturnahe Strukturen und fischökologische Schlüsselhabitate zu entwickeln. Bereits bei den ersten Hochwässern bildeten sich trotz des begradigten Flusslaufs im Bereich der Bühnen ausgeprägte Kolk-Furt-Sequenzen aus. Bei Niederwasser betrug deren Tiefe im Schnitt über 1,5 m. Zahlreiche Kiesbänke und -inseln sind entstanden. Im sehr heißen und trockenen Sommer 2018 wurden die Wassertiefen in den Kolken vermessen und die Wassertemperatur im oberen Bereich der Strukturierungsstrecke (42 Bühnenkolke) dokumentiert. Während im Bereich der Furten an einem August-Nachmittag Wassertemperaturen von 22 bis 24 °C gemessen wurden, lagen die Temperaturen in den Kolken um 2 bis 3 °C darunter.

Abbildung 23 Foto Michelbach im Bereich Roitnerwiese



Bei ca. jedem zehnten Kolk war die Temperatur mit 15 bis 18 °C sogar um bis zu 8 °C kühler. Diese sommerkühlen Tiefstellen sind für Fischarten, wie Bachforelle, Äsche, Koppe und Huchen wertvolle Rückzugsorte.

4.2.3 Maßnahme: Herstellung der Durchgängigkeit zur Vernetzung von Refugialräumen und Wiederbesiedlung trockengefallener Abschnitte

Die Wiederherstellung der Durchgängigkeit stellt eine Voraussetzung für die Erreichung und langfristige Erhaltung des guten ökologischen Zustands bzw. Potentials dar. Gerade in den östlichen Flachländern Österreichs gibt es zahlreiche Gewässer, wo aufgrund der geringen Niederwasserabflüsse die Durchgängigkeit gemäß den Anforderungen des FAH-Leitfadens oder der Qualitätszielverordnung bereits natürlicherweise nicht gegeben ist. Durch die Auswirkungen des Klimawandels wird diese Problematik noch zusätzlich verstärkt; bis hin zum Austrocknen von Gewässern. Mit der Wiederherstellung der Durchgängigkeit kann nach derartigen Extremereignissen die natürliche Wiederbesiedelung bei höheren Abflüssen gewährleistet werden. Fische können in kühlere Flussabschnitte als Rückzugsraum bei Hitzeereignissen oder auch bei Hochwässern ausweichen. Weiters kann die Wiederanbindung von kühleren Seiten-/Nebengewässern ein wesentlicher Faktor für das Überleben einer Population sein. Werden isolierte Populationen vernetzt, kann zudem die Stabilität der Teilpopulationen bei kritischen Ereignissen erhöht werden.

Die Möglichkeiten zur Wiederherstellung der Durchgängigkeit bestehen aus:

4.2.3.1 Entfernen von Querbauwerken

Die Entfernung eines Querbauwerkes ermöglicht eine gänzliche Wiederherstellung des natürlichen Sohlgefälles und der Durchwanderbarkeit. Neben der Durchgängigkeit können damit auch ökologisch weitgehend wertlose Rückstauräume beseitigt und ein naturnahes Flussbett flussauf des ehemaligen Querbauwerkes geschaffen werden.

Abbildung 24 Nicht fischpassierbares Querbauwerk an der Pulkau



Eine vollständige Beseitigung des Querbauwerks ist dann möglich, wenn dessen Nutzung (Wasserausleitung, Wasserkraft, etc.) aufgegeben wurde und auch nach dem Rückbau eine stabile Sohle vorliegt.

4.2.3.2 Umbau von Querbauwerken in fischpassierbare Rampen

Querbauwerke ohne energiewirtschaftliche Nutzung können vielfach zu fischpassierbaren Sohlrampen umgebaut werden. Hierbei wird die Sohle durch Errichtung einer rauen, naturnahen Rampe mit einem dem Flusstyp entsprechenden Gefälle stabilisiert. Bei Querbauwerken mit Wasserkraftnutzung (Wehre) sind Rampen schwer umsetzbar, da für deren Passierbarkeit ein relativ großer Anteil des Gesamtabflusses erforderlich ist. Zudem weisen viele Wehre bewegliche Wehrkronen (Klappen, Aufsätze, etc.) auf.

Abbildung 25 Rampe an der Großen Tulln



Sohlrampen sind bei naturnaher, entsprechend flacher Ausführung für fast alle Gewässerorganismen durchgängig. Neben dem verbesserten Fischaufstieg sind bei dieser Maßnahme jedenfalls auch eine ungehinderte Abwärtswanderung sowie die Geschiebedurchgängigkeit sichergestellt. Insbesondere in der Forellenregion liegen diesbezüglich sehr gute Erfahrungen vor, da diese Sohlrampen dem Gewässertyp entsprechen.

4.2.3.3 Errichten von Fischaufstiegshilfen (FAHs)

FAHs sind bauliche Einrichtungen, die Fischen und anderen aquatischen Lebewesen (Benthosorganismen) die Überwindung eines künstlich geschaffenen Hindernisses in flussauf gerichteter Richtung ermöglichen. Im Gegensatz zu Rampen wird nur ein kleiner Teil des Abflusses über die FAH abgeleitet, in der Regel ebenso kein Hochwasser.

Grundsätzlich ist zwischen naturnahen (gewässertypischen) und technischen FAHs zu unterscheiden. Naturnahe FAHs orientieren sich dabei an natürlichen, in Gewässern vorkommenden Habitattypen, Strukturmerkmalen, Fließgeschwindigkeiten und Turbulenzen. Technische FAH's wie z. B. Schlitzpässe, weisen hingegen kaum naturnahe Habitatslemente auf und besitzen demnach auch eine schlechte Eignung als Lebensraum. Grundsätzlich ist der Übergang zwischen naturnahen und technischen FAHs fließend; je

steiler und unnatürlicher z. B. die Ufer gestaltet werden, desto mehr Sicherungsmaßnahmen sind notwendig, und desto naturferner sind diese FAHs.

Eine große Bedeutung kommt der fachgerechten Wartung von Fischaufstiegsanlagen zu. Auch naturnah ausgeführte FAHs sind technische Bauwerke, deren Funktion langfristig nur bei regelmäßiger Wartung und Instandhaltung garantiert werden kann. Die Anforderungen und Gestaltungskriterien für funktionsfähige FAH's sind im FAH-Leitfaden des BMLRT (2021) umfassend dargestellt.

4.2.3.4 Keine Fischfallen bei Renaturierungen durch trockenfallende Seiten- oder Altarme

Im Zuge von Renaturierungen werden Seitenarme, Altarme, Nebengerinne und strukturreiche Fluträume geschaffen, die aus ökologischer Sicht große Vorteile bieten. Bei Niedrigwasser kommt es jedoch häufig dazu, dass solche Strukturen vom Hauptstrom abgeschnitten werden. In einzelnen Fällen trocknen sie vollständig aus oder werden durch Sedimentbarrieren verschlossen. Die Folge ist, dass Fische und andere Organismen in diesen Bereichen eingeschlossen werden und keinen Anschluss mehr an den Hauptfluss haben. Durch den Rückgang der Wasserführung können sich die Lebensbedingungen in den isolierten Bereichen rasch verschlechtern. Vor allem Sauerstoffmangel, Überhitzung des Wassers und Austrocknung führen dazu, dass Fische und andere aquatische Arten geschädigt oder sogar getötet werden. Damit entsteht ein Zielkonflikt zwischen der ökologischen Aufwertung durch Renaturierung und den Risiken, die sich in Trockenperioden verstärken.

Generell gilt es jedoch festzustellen, dass solche Ereignisse in natürlichen Systemen immer schon aufgetreten sind. Im Regelfall überwiegt der ökologische Nutzen der zusätzlichen Lebensräume und der gewässertypischen Umlagerungsdynamik die auftretenden möglichen Schäden. Vielfach sind die meisten Lebewesen zudem ausreichend mobil, sodass sie bei langsam sinkenden Abflüssen in den Hauptstrom bzw. in sichere Bereiche abwandern. Durch eine sorgfältige Gestaltung der Strukturen im Gewässer und entsprechende Strömungslenkung kann das Risiko von Fischfallen aber zumindest minimiert werden. Ein zentrales Element besteht darin, auch bei Niedrigwasser eine Mindestwasserführung sicherzustellen. Dies kann durch gezielte Anpassungen der Morphologie, beispielsweise durch tiefer angelegte Nebengerinne oder Buhnen, die den Stromstrich zur Abzweigung der Nebengewässer lenken, erreicht werden. Gleichzeitig ist

es wichtig, Rückzugsräume zu schaffen, die auch bei geringen Wasserständen bestehen bleiben. Tiefe Kolke mit Grundwasserkontakt oder schattige Uferzonen können als Refugien dienen und die Überlebensfähigkeit der Fischbestände sichern.

Abbildung 26 Unterstromig angebundener Altarm ohne durchgehende Niederwasserrinne – Fische können bei andauernder Niederwasserphase nicht abwandern



Neben der baulichen Gestaltung spielt auch die fortlaufende Beobachtung eine wesentliche Rolle. Hydraulische Modellierungen können bereits in der Planungsphase aufzeigen, wie sich Renaturierungsmaßnahmen bei unterschiedlichen Abflussszenarien auswirken. Durch Monitoringprogramme lässt sich feststellen, ob die angelegten Strukturen von Fischen genutzt werden und ob Anpassungen erforderlich sind. Eine adaptive Vorgehensweise, die bauliche Nachjustierungen zulässt, stellt sicher, dass die ökologischen Ziele von Renaturierungen mit den Anforderungen des Klimawandels in Einklang gebracht werden.

4.2.3.5 Prüfung von Nutzungseinschränkungen oder -beschränkungen

Oberflächengewässer werden vielfältig zur Stromproduktion, für die landwirtschaftliche Bewässerung sowie als Kühlwasser etc. genutzt. Gerade in ausgeprägten und verstärkten Niederwasserphasen ist zu prüfen, ob eine Nutzungseinschränkung der Entnahme für landwirtschaftliche Bewässerung oder Ausleitung in Triebwasserkanäle oder zu Kühlzwecken erforderlich ist, um wesentliche ökologische Beeinträchtigungen zu vermeiden.

In diesem Zusammenhang können im Wasserrechtsverfahren bei nachvollziehbar begründeten Bedenken sogenannte „Vorbehaltsmengen“ festgelegt werden. Diese dienen als „Reserve“, wenn zukünftig z. B. auch als Folge der Auswirkungen des Klimawandels, die ursprünglich definierten Abflüsse nicht mehr ausreichen, um die ökologische Funktionsfähigkeit des Gewässers zu erhalten. Mit entsprechenden Nachweisen kann ohne aufwändige Verfahren (Eingriff in bestehende Rechte, z. B. Verfahren nach § 21a) z. B. der Restwasserabfluss angehoben oder die Kühlwassermenge reduziert werden.

Beispiel Nutzungsbeschränkungen

An der Leitha wurde eine Niederwasserbetriebsordnung für sämtliche Regulierungsorgane unter Berücksichtigung der bewilligten Wasserentnahmen und der zwischenstaatlichen Vereinbarungen mit Ungarn ausgearbeitet. Laut Gewässervertrag müssen 2/3 der Niederwasserabflussmenge an Ungarn weitergegeben werden. In Abhängigkeit des Niederwasserabflusses werden daher Einschränkungen der Entnahmen bis hin zu einem Entnahmestopp verordnet, die über ein Ampelsystem am Pegel Nickelsdorf angezeigt werden. Im Betriebsfall 2 (Entnahmeeinschränkung) darf die Hälfte der bewilligten Entnahmen für Bewässerung getätigt werden. Hierfür wurde das Projektgebiet, in welchem Entnahmebewilligungen aus dem Gewässersystem Leitha - Kleine Leitha - Wiesgraben bestehen, in zwei Sektoren eingeteilt.

Im Betriebsfall 2 (Entnahmeeinschränkung) dürfen nur mehr entweder die Felder im Sektor A oder im Sektor B bewässert werden.

Die Reduktion von anthropogenen Störungen stellt eine weitere Maßnahme dar, um Fische während Hitzeereignissen zu schützen. Im Falle thermischer Belastung zeigen sich temperaturempfindliche Fischarten, die Bereiche mit kühleren Wassertemperaturen aufsuchen, als besonders vulnerabel gegenüber Störungen wie dem Bootsverkehr, Badenden oder Hunden. Zudem ist der Druck durch Erholungssuchende während Hitzeereignissen als besonders hoch einzustufen.

4.2.4 Maßnahmen bei Austrocknung („Fischrettungspools“) und Fischbergung

In niederschlagsarmen und heißen Monaten können vor allem kleine Gewässer in Ostösterreich abschnittsweise oder auch über größere Bereiche trockenfallen. Gleiches gilt für größere Gewässer mit starker Versickerung wie z. B. der Leitha in NÖ.

Wenn ein Gewässer im Fischlebensraum austrocknet bzw. das Gewässer bis auf Tümpeln bereits ausgetrocknet ist, muss unverzüglich eine Fischbergung erfolgen. Dies geschieht in der Regel durch den Einsatz der Elektrofischerei.

Fehlen Kolke oder trocknen diese aufgrund niedrigen Grundwasserstandes rasch aus, ist der Zeitraum für eine erfolgreiche Fischbergung meist zu kurz (sofern die Abflussreduktion nicht länger geplant künstlich erfolgt wie bei Bachabkehren).

Durch die Errichtung von Kolken bzw. deren Abdichtung („Fischrettungspools“) kann der Zeitraum für eine Fischbergung verlängert werden.

Beispiel „Fischrettung“

An der Leitha wird derzeit in einem Pilotprojekt die Effektivität für derartige „Fischrettungspools“ von der NÖ Bundeswasserbauverwaltung getestet („LIFE IP IRIS Austria“). Dabei wurde ein Kolk errichtet und mittels Lehmschlag gegen Versickerung abgedichtet. Der Einbau einer Steinbuhne soll dafür sorgen, dass diese Tiefstelle langfristig erhalten bleibt. Fische sollen sich in diesen Kolk bei sinkendem Wasserstand zurückziehen können. Bei nur kurzer Dauer des Trockenfallens sind keine weiteren Maßnahmen nötig, sollte die Trockenperiode länger andauern, können die sich darin befindlichen Fische geborgen und in wasserführende Abschnitte des Gewässers übersiedelt werden.

Das beim Aushub des Pools gewonnene Material wurde zur Schaffung von Kieslebensräumen in der Flachuferzone genutzt.

Abbildung 27 Ausführungsprojekt Fischrettungspool Leitha (links), Fischrettungspool Leitha nach Fertigstellung 2025 (rechts)



In einem Monitoring wird nun untersucht, wie groß der Abschnitt ist, aus den Fische zumindest in einem gewissen Prozentsatz in den Kolk einwandern und wie effektiv damit dieser Rückzugsort ist.

4.3 Erhöhung der Hochwasserspitzen

4.3.1 Auswirkungen

Neue Studien, insbesondere jene von Blöschl et al. (2023) zeigen, dass Österreich in besonderem Maße von einer Zunahme extremer Abflüsse betroffen ist. Die Winterabflüsse steigen infolge erhöhter Niederschläge und vermehrter Regenereignisse im Winterhalbjahr, während die sommerlichen Niedrigwasserperioden länger und ausgeprägter werden. Die klassische Rolle der Schneeschmelze als gleichmäßiger Wasserlieferant verliert an Bedeutung, da die Schneedecken zurückgehen und die Schmelze zeitlich nach vorne verlagert wird. In den Alpenregionen treten daher Hochwässer zunehmend im Winter und Frühjahr auf, während die Sommerabflüsse zurückgehen.

Im östlichen und nördlichen Österreich nehmen Starkregenereignisse aufgrund des größeren Wassergehaltes der wärmeren Luft zu und führen in Verbindung mit gesättigten Böden vermehrt zu regional begrenzten, aber intensiven Hochwasserereignissen.

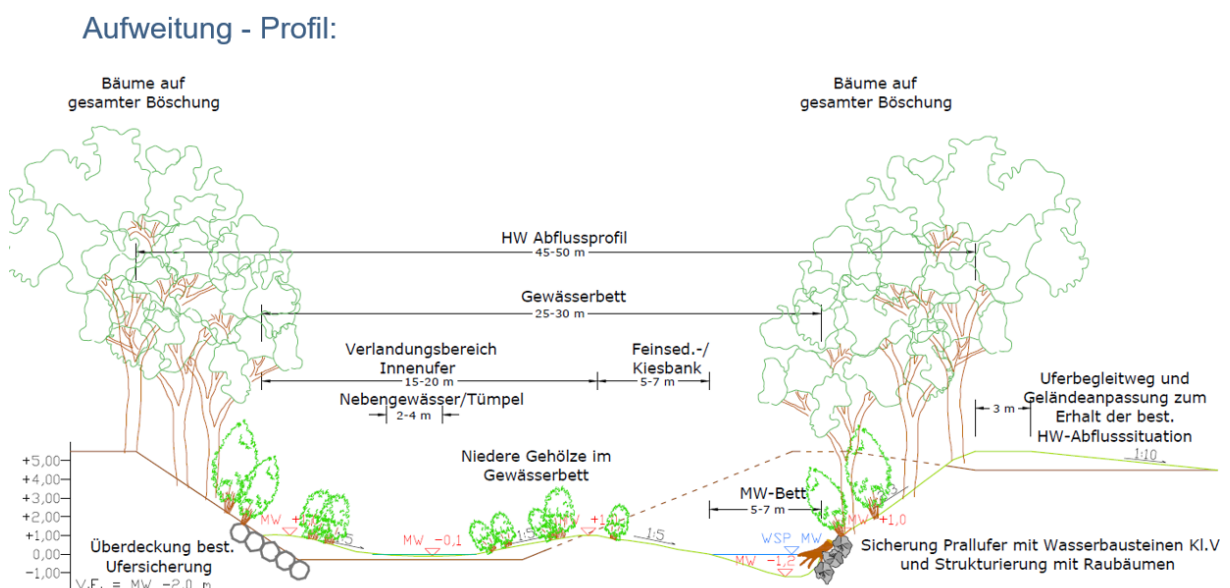
Besonders kleine und mittelgroße Einzugsgebiete reagieren sensibel auf diese Entwicklungen, da sie rasch und direkt auf intensive Niederschläge reagieren. Die Donau und ihre größeren Nebenflüsse zeigen bislang eine vergleichsweise stabile Entwicklung, jedoch wird auch hier langfristig mit einer erhöhten Variabilität gerechnet.

4.3.2 Maßnahme: an Extrem-HW angepasste Gewässerausformung

Durch eine Vergrößerung des Hochwasser-Abflussraumes kann einerseits das Aufkommen von Gehölzen zugelassen werden, ohne den HW-Schutz zu gefährden. Andererseits wird ein Puffer für zukünftige Erhöhungen der HW-Abflussspitzen im Zuge der Klimaerwärmung geschaffen. Dies gilt umso mehr, weil klimawandelbedingte Extremereignisse die Hochwasserprognosen erschweren. Im Zuge der Gewässerpflege ist darauf zu achten, dass die Ufergehölze den bei der hydraulischen HW-Berechnung angenommenen Raum nicht überschreiten.

Andererseits ist bereits im Bewilligungsverfahren eine mittlere Bezugs-Sohle festzulegen, um eine nachvollziehbare Grundlage für Räumungen im Gewässerbett zu schaffen. Überschreitet die aktuelle mittlere Sohle diesen Wert, sind Räumungen erforderlich. Liegt die aktuelle mittlere Sohle trotz lokaler Ablagerungen unter diesen Wert, sind Räumungen nicht zulässig.

Abbildung 28 Beispiel Judenau, Große Tulln

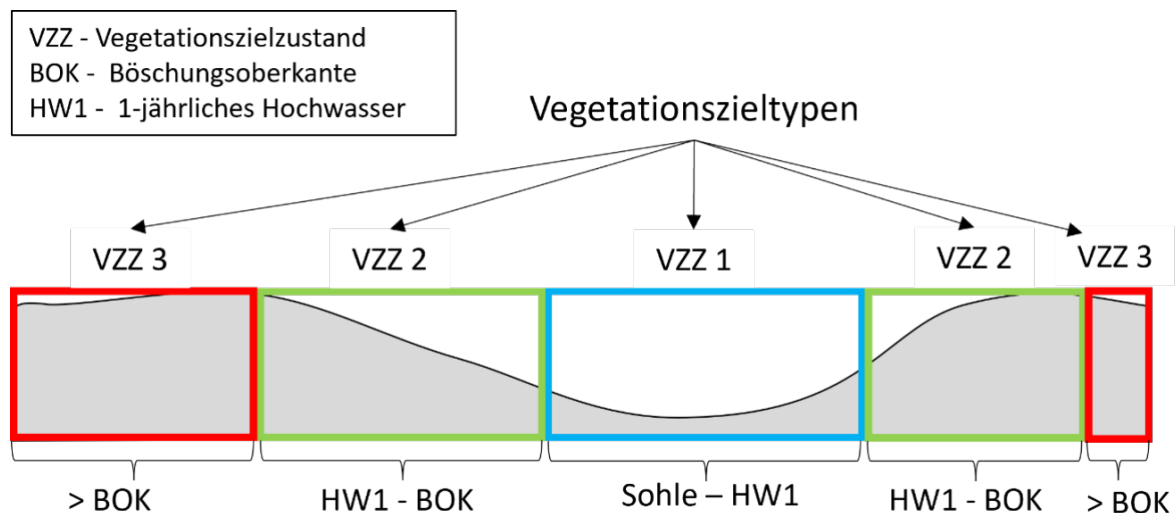


Beispiel HW-angepasste Planung

Die MA 45 – Wiener Gewässer hat im Rahmen des LIFE Projektes EnCAM (Adapting large-scale environmental projects to climate change while supporting climate objectives) gezeigt, wie künftig bei großen Umweltprojekten sich durch den Klimawandel verändernde Anforderungen berücksichtigt und daraus abgeleitete Anpassungsmaßnahmen integriert werden können.

Als Basis für die Umsetzung der Ziele im Handlungsfeld „Klima“ unter Einklang mit den Handlungsfeldern Hochwasserschutz, Ökologie, Naherholung und Nutzung zu erreichen wurden zuerst Vegetationszielzuständen (VZZ) am Liesingbach definiert bzw. erstellt (Rauch & Weissteiner, 2022). Die Vegetationsflächen wurden auf Basis ihrer Lage im Abflussquerschnitt verschiedene Vegetationstypen zugeordnet.

Abbildung 29 Vegetationstypen LIFE EnCAM



Der Vegetationstyp 1 umfasst jene Arten, die in der Nähe des Gewässerbettes vorkommen und ist durch eine besonders hohe Abflussdynamik gekennzeichnet.

Räumlich anschließend an den Vegetationstyp 1 erfolgt der Vegetationstyp 2 im oberen Bereich des Abflussprofils. Diese Bäume befinden sich in der Nähe der Uferkrone. Dieser Typ ist keiner hohen Abflussdynamik ausgesetzt. Trockenstress kann auf südexponierten Böschungen ein wesentlicher Faktor sein. Aus diesem Grund wurden für die Vegetationstypen auch nicht heimische Baumarten gewählt, da sie in Zukunft auf Grund des Klimawandels bei der Auswahl eine Rolle spielen könnten.

Baumarten außerhalb des direkten Abflussprofils gehören zum Vegetationstyp 3.

Arten, die durch Ranken eine Beschattungswirkung erzielen, bilden den Vegetationstyp 4. Sämtliche Vegetationstypen können sowohl mittels Bepflanzung als auch als Spontanvegetation entstehen. Jedem Vegetationstyp wurde weiters eine Liste an standorttypischen Pflanzenarten zugeordnet.

Auf Basis der Vegetationstypen wurden anschließend 6 Vegetationszielzustände definiert.

Abbildung 30 VZZ- LIFE EnCAM

	Vegetationstyp			
	1	2	3	4
Vegetationszielzustand A	●	●	●	●
Vegetationszielzustand B	●	●	●	●
Vegetationszielzustand C	●	●	●	●
Vegetationszielzustand D	●	●	●	●
Vegetationszielzustand E	●	●	●	●
Vegetationszielzustand F	●	●	●	●
Vegetationszielzustand F	●	●	●	●

Den Vegetationstypen wurden in Abhängigkeit der Vegetationsziele unterschiedliche Rauigkeitswerte zugeordnet. Auf Basis dieser Zuordnung wurde für die verschiedenen VZZ eine Sensibilitätsanalyse durchgeführt. Mit den Erkenntnissen aus der Analyse wurde ein maximal möglicher Bewuchs bei Einhaltung der Hochwasserschutzziele iterativ erarbeitet. Da der ökologisch und mikroklimatisch optimale VZZ A auch die höchste hydraulische Rauigkeit aufweist, steht er in direktem Konflikt mit dem Ziel des Hochwasserschutzes. Mittels eines numerischen 2D hydraulischen Modelles wurden die Möglichkeiten einer maximalen Bepflanzung bei Erhalt der Hochwasserschutzziele erhoben. Die Umlegung der Erkenntnisse aus der Modellierung erfolgte anschließend in Form von Bepflanzungsplänen. Die Pflanzen wurden auf Basis der angegebenen Vorschläge unter Beiziehung von Experten für Ökologie ausgewählt und auf die geplanten Vegetationszielzustände verteilt.

Besonderes Augenmerk wurde bei der Bepflanzung sowohl auf den Wuchshabitus, deren Biomechanische Eigenschaften und ihrer Überflutungsverträglichkeit als auch deren Beschattungswirkung und Resilienz hinsichtlich Klimawandel gelegt.

Ein weiterer Gesichtspunkt bei der Bepflanzung war die Schutzwirkung in der Nähe von potentiell gefährlichen Abbruchkanten. So wurden in der näheren Umgebung von größeren Geländesprüngen wie zum Beispiel bei Stützwänden vermehrt stachelige Arten gesetzt, um ein Betreten dieser Zonen für etwaige Passanten möglichst unattraktiv zu gestalten.

Ebenfalls wurden in weiterer Folge noch Erhaltungsmaßnahmen für die Vegetationszielzustände definiert.

Die vorgeschlagenen Maßnahmen sollen die Hochwassersicherheit erhalten und gleichzeitig eine Annäherung an ein intaktes, sich selbst erhaltendes Ökosystem erreichen.

4.3.3 Maßnahme: Gewährleistung von Standsicherheit und Stabilität der Maßnahmen

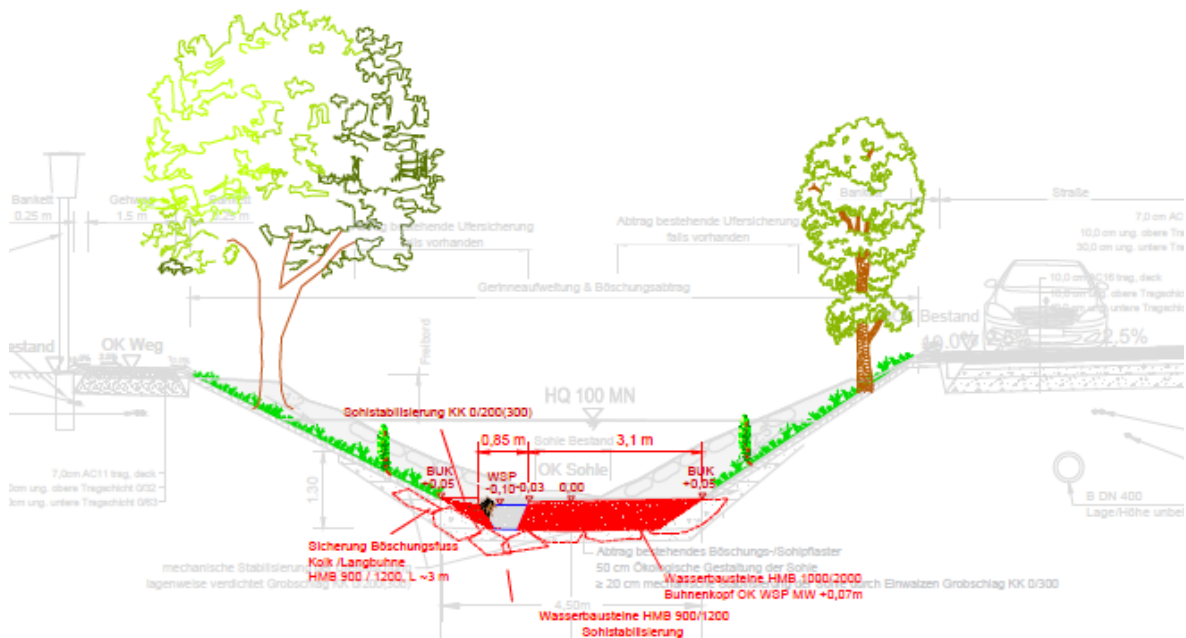
Durch die Zunahme der Extremereignisse steigt die Häufigkeit und die Intensität der hydraulischen Beanspruchung des Gewässerbettes. Dies gilt vor allem im Nahbereich höherwertiger Nutzungen, da hier erhöhte Ansprüche an die Standsicherheit und Stabilität der Maßnahmen zu stellen sind. Dies gilt umso mehr, wenn aufgrund von beengten Raumverhältnissen die größeren Abflussmengen nicht auf einer größeren Breite abgeführt werden können und somit die Wassertiefen bei Hochwasser zunehmen.

Die für die Gewässersohle verwendeten Stein- bzw. Choriotopgrößen sind daher auf die Erfordernisse des Hochwasserschutzes in Zusammenspiel mit den ökologischen Anforderungen abzustimmen. Grundsätzlich sind für einen gewässertypischen Sohlaufbau die Korngrößen so zu wählen, dass zumindest lokal eigendynamische, für die ökologische Funktionsfähigkeit wesentliche Umlagerungsprozesse im Mittelwasserbett stattfinden können. Um flächigere Erosionen zu verhindern, werden darunter und daneben größere Korngrößen eingebaut.

Abbildung 31 HW-Schutz Hagenbach (NÖ) im Ortsgebiet: Sohlberollung ($D = 30\text{--}40\text{ cm}$) im Untergrund, darüber kiesiges Material für naturnahe Flusssohle. Aufgrund des kompakten HW-Bettes und der damit viel größeren Schleppkraft muss das Sohlsubstrat im Kern für die Stabilität der Furten gröber als im natürlichen Zustand sein



Abbildung 32 Beispiel für integrativen HW-Schutz: Bepflanzung oberhalb HW100-Spiegel, Sohlberollung im Untergrund, darüber kiesiges Material für naturnahe Flusssohle



Beispiel Gewährleistung Standsicherheit Liesing ENCAM

Ein weiterer Bestandteil des Projektes an der Liesing in Wien war die Geschiebeoptimierung mit dem Ziel die morphologischen Prozesse im Fluss in ein Gleichgewicht zwischen An- und Ablagerungen zu bringen. Es sollen natürliche morphologische Prozesse wie die Umlagerung von Geschiebe ermöglicht werden.

Eine zentrale Rolle spielt hier die Korngrößenverteilung des Sohlsubstrates. Die unterschiedlichen Korngrößen und deren Verhältnis zueinander sind entscheidend dafür ab welchen Durchflüssen es zu größeren Bewegungen der Sohle und damit verbundenen Umlagerungen kommt. Zu große Eintiefungen werden durch die Berollung der Sohle mit Wasserbausteinen der Klasse LMB60/300 grundsätzlich verhindert. Auf diese Berollung wurde Substrat in einer Schichtstärke von 10 bis 40 cm aufgebracht. Dieses Substrat bildet die Schicht, in der morphologische Prozesse zugelassen werden. Die Korngrößen und die Korngrößenverteilung des Substrates wurden auf Basis einer Sedimentstudie so gewählt werden, dass kleinräumige Umlagerungen möglich sind, es aber bei

größeren Hochwasserereignissen zu keinem Auswaschen des Geschiebes über größere Bereiche kommt.

Da an der Liesing ein gestörter Geschiebetrieb herrscht, wird mit Sedimentzugabe und -entnahmestellen ein aktives Sedimentmanagement langfristig ermöglicht.

4.3.4 Maßnahme: Erhöhung Wasserrückhalt im Gewässer- und Auenbereich

Die Renaturierung von Gewässern, die Reaktivierung von Auen sowie die Vergrößerung der Retentionsräume durch Rückverlegung linearer Hochwasserschutzanlagen erhöhen den Wasserrückhalt und können Hochwasserspitzen kappen bzw. eine Verlangsamung von Hochwasserwellen erreichen. Voraussetzung für eine Umsetzung dieser Maßnahmen sind geeignete Rahmenbedingungen im Gewässerumfeld, insbesondere eine ausreichende Flächenverfügbarkeit.

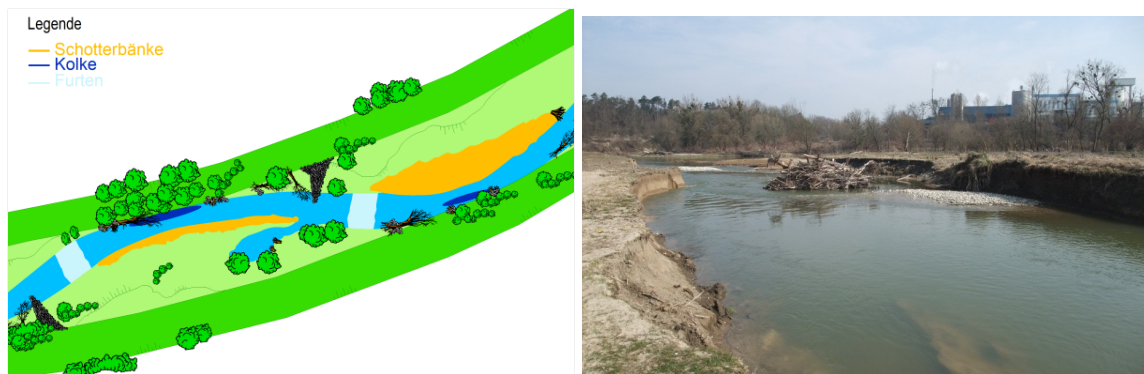
Im Gegensatz zu Rückhaltebecken erfolgt ein Wasserrückhalt bei allen Abflüssen, wodurch auch eine gewisse Aufhöhung der Niederwasser-Abflüsse - durch verzögerte und lang anhaltende Abgabe des gespeicherten Wassers - erreicht werden kann. Alle nachfolgenden Maßnahmentypen können entweder aktiv hergestellt oder durch Initialmaßnahmen (Entfernung Ufersicherung, Förderung Eigendynamik durch Strukturierungsmaßnahmen) entwickelt werden. Mit dieser Maßnahmengruppe wird vielfach das Hochwasser-Abflussprofil und/oder das Gefälle großräumig verändert, sodass wesentliche Auswirkungen auf den Feststoffhaushalt zu erwarten sind. Dieser ist daher bei derartigen Maßnahmen unbedingt zu berücksichtigen.

4.3.4.1 Aufweitungen des Gewässerbettes

Die durchgehende Aufweitung eines eingeeengten Regulierungsbettes bietet ursprünglich verzweigten Flüssen wieder ausreichend Raum für die Ausbildung von gewässertypischen Seitenarmen (Teilgerinne). Es entstehen zahlreiche Inseln und Kies-/Sandbänke unterschiedlicher Entwicklungsstufen (Sukzession). Durch die Aufweitung des Hochwasser-Abflussprofils mit pendelndem Mittelwasserbett kann bei pendelnden und mäandrierenden Flusstypen die Hochwasser-Abflusskapazität erhöht werden, ohne ein

überbreites Mittelwasser-Bett zu verursachen. Somit kann zumindest südseitig eine dichte Ufervegetation für die Beschattung toleriert werden, ohne den Hochwasserschutz-Schutz zu gefährden. Bei verzweigten Flusstypen sollte hingegen eine Aufweitung auf Sohlniveau gestaltet werden.

Abbildung 33 Aufweitung des HW Profils und Initiierung einer pendelnden MW-Linienführung, mit Schotterbänken an den Innenufern und strukturreichen Tiefenrinnen an den Außenufern (südseitige Ufervegetation für Beschattung)(links), Totholzagglomerationen sind sowohl Lebensraum an sich als auch wesentliche Strukturbildner (Ybbs, NÖ) (rechts)



Bei pendelnden und mäandrierenden Flusstypen entstehen durch diese Maßnahme wesentliche gewässertypische Habitate, wobei die Quantität unter dem natürlichen Leitbildzustand bleibt. Bei entsprechend ausgeprägten Flussbögen (große Pendelbreite) und möglichst starker Strukturierung des Flussbettes durch Raubäume etc. entsteht vielfach trotzdem ausreichend Lebensraum für die Ausbildung intakter Fischbestände. Bei entsprechend großflächiger Ausführung ist daher ohne andere Beeinträchtigungen vielfach vom Erreichen des guten ökologischen Zustandes auszugehen.

Wichtig ist, dass sich diese Strukturen bei Hochwasser häufig und unsystematisch verlagern können. Dadurch wird die Möglichkeit zur dynamischen Eigenentwicklung gewässertypischer Habitatverhältnisse gegeben und es stellen sich Lebensräume und Strukturen ein, die vor der Durchführung der Maßnahme nicht vorhanden waren bzw. in der verbleibenden Regulierungsstrecke selten anzutreffen sind. Totholzagglomerationen (Raubäume, Wurzelstöcke), wirken als Strömungsteiler und Kolkbildner und stellen damit wesentliche Strukturbildner und Voraussetzung für die Ausbildung intakter Fischpopulationen dar. Verzweigte Abschnitte ohne Totholz weisen hingegen nur sehr geringe Fischbestände auf.

4.3.4.2 Großräumige Renaturierungen im Gewässer – und Auenbereich

Großräumige Gewässerrenaturierungen gehen über den Fluss und die unmittelbar angrenzenden Uferbereiche hinaus und zielen auf eine Annäherung an den ursprünglichen Flusstyp ab. Damit werden für aquatische und terrestrische Lebensgemeinschaften wesentliche Verbesserungen bis hin zum Erreichen des ökologischen Zielzustandes erreicht. Voraussetzung sind ausreichende Flächenverfügbarkeit und geeignete Nutzungen im Nahbereich.

Im Idealfall kann sich ein revitalisiertes Fließgewässer zu einem natürlichen, sich selbst regulierenden System entwickeln, welches seinem Landschaftsraum und seinem morphologischen Gewässertyp angepasst ist und nach Abschluss der Maßnahmen kaum einer Instandhaltung bedarf.

Beispiel: LIFE+ Projektes "Lebensraum im Mündungsbereich des Flusses Traisen"

Das LIFE+ Projekt setzte Maßnahmen im Bereich zwischen der Donau und dem ehemals errichteten Traisen-Kanal um und schuf dort auf ca. 10 km Länge einen gänzlich neuen Traisen-Fluss mit umgebenden Uferzonen und einer großen Mündungszone an der Donau. Rund um das Kraftwerk Altenwörth wurde das Wasser der Traisen in dieses neue Flussbett umgeleitet. Das alte Gerinne blieb zur Entlastung bei großen Hochwässern und als Stillgewässer bestehen. Das LIFE+ Projekt erschuf den **neuen** Traisen-Unterlauf, der keine Renaturierung eines alten Flussabschnitts ist, sondern eine Neuschaffung von dynamischen Fluss- und Au-Lebensraum. Im Zuge dieses LIFE+ Projektes wurden zudem durch Absenkung des angrenzenden Umlandes auch auf insgesamt 50 ha Standorte der Weichen Au und Nebengewässer geschaffen wurden. Durch geeignete und ausreichende Strömungsverhältnisse bei höheren Abflüssen soll die morphologische Ausformung (Bögen mit steilen Prallufern und flachen Gradienten an den Innenufern, Kolke, Seitenarme, usw.) langfristig sichergestellt werden ohne weitere Eingriffe.

Abbildung 34 LIFE Traisen – nach Umsetzung



4.3.4.3 Wasserrückhalt durch Vernetzung mit Auen und Nebengewässern

Die Wiederanbindung von Auen und Nebengewässern als natürliche Überflutungsräume, welche Hochwasser abpuffern können und als Wasserspeicher dienen können, sind Bestandteile einer „klimafitten“ Hochwasserschutzstrategie. Weiters wird die Grundwasserneubildung durch Versickerung gefördert.

Wichtig bei Trockenheit: Auen halten länger Feuchtigkeit und verbessern den Wasserhaushalt der gesamten Landschaft. Maßnahmen im potentiellen Auenniveau reichen weit in das Gewässerumland und berühren den gesamten vom Gewässer geprägten Talraum. Das Spektrum umfasst Maßnahmen zur Verbesserung der Nebengewässer und Auenvegetationsbestände sowie zur Sicherung und Reaktivierung von Retentionsräumen.

Das Hauptaugenmerk liegt dabei auf:

- Wiedervernetzung/Donation bestehender Nebengewässer-, Grabensysteme sowie Tümpelketten mit dem Fluss
- Initiierung neuer Nebengewässersysteme
- Wiedervernetzung/Donation bestehender Auenstandorte
- Initiierung neuer autotypischer Vegetationsbestände
- Erhaltung und Reaktivierung von Retentionsräumen

Darüber hinaus trägt die Wiedervernässung von Mooren und Feuchtgebieten entscheidend dazu bei, hydrologische Extreme auszugleichen. Diese Ökosysteme wirken wie natürliche Speicher, indem sie Wasser in Niederschlagsphasen aufnehmen und es während Trockenzeiten langsam wieder abgeben. Ein Hektar Feuchtgebiet kann bis zu mehrere Millionen Liter Flutwasser (= mehrere 100l/m²) aufnehmen und damit Hochwasserspitzen beträchtlich abmildern. Damit stabilisieren sie sowohl den Grundwasserhaushalt als auch die Wasserführung in Flüssen und Seen.

Beispiel: LIFE AMooRe

Das Projekt LIFE AMooRe ist ein strategisches Natur-Projekt, das die Umsetzung der Moorstrategie Österreich 2030+ unterstützt. Die Moorstrategie Österreich 2030+ als Teil der nationalen sowie EU-Biodiversitätsstrategie 2030 trägt zur Umsetzung der betreffenden (EU)-Gesetzgebungen bei.

Im Vordergrund steht die Zielerreichung gemäß Flora-Fauna-Habitat (FFH)- und Vogelschutzrichtlinie. Am Ende des Projekts sollen weitere Handlungs- und Entscheidungsgrundlagen zur vollständigen Umsetzung der Moorstrategie Österreich 2030+ vorliegen. Dadurch wird sichergestellt, dass die österreichischen Moore ihre Schlüsselrolle im Kampf gegen den Biodiversitätsverlust und Klimawandel, und für den Wasser- und Bodenschutz im Sinne der europäischen Umweltpolitik erfüllen können.

Es ist erst das zweite integrierte LIFE-Projekt und zugleich auch das bislang größte Moorprojekt in Österreich. Mit einer Umsetzungsfläche von etwa 1.400 ha (davon ca. 1.165 ha begünstigte Fläche) sollen die Bedingungen für 13 verschiedene Lebensraumtypen und 37 damit verbundene Arten von hohem Erhaltungswert gemäß FFH-RL verbessert werden. Weitere Infos: <https://life-amoores.at>

4.3.5 Maßnahme: Erhöhung Wasserrückhalt im Einzugsgebiet

Der Wasserrückhalt beschreibt die Fähigkeit eines Systems (Boden, Vegetation, Landschaft), Wasser zu speichern und zu verzögern, bevor es in Bäche, Flüsse oder die Kanalisation gelangt. Ein hoher Wasserrückhalt hilft:

- Überflutungen zu verhindern, in dem Wasser gespeichert und langsamer abgegeben wird,
- NW-Phasen zu verkürzen und NW-Abflüsse zu erhöhen,
- die Grundwasserreserven aufzufüllen,
- Gewässer vor Stoffeinträgen zu schützen.

Aktuell ist der Wasserrückhalt durch großflächige Versiegelung urbaner Infrastrukturen und landwirtschaftlich intensiv genutzte Flächen deutlich verringert. Durch Asphalt, Beton und andere undurchlässige Materialien wird Niederschlagswasser rasch oberflächlich abgeleitet, anstatt langsam in den Boden einzusickern.

Die Maximierung des Wasserrückhalts ist daher ein zentraler Bestandteil klimaangepasster Raumplanungsstrategien. Um entsprechende Wirkung zu erreichen, erfordert dies aber die möglichst großflächige Umsetzung folgender Maßnahmen:

- Entsiegelung von Flächen mit Asphalt, Beton und andere undurchlässige Materialien
- Lokale Versickerung von Regenwasser durch Versickerungsmulden, Kieskörper, Versickerungstunneln etc. (siehe Kap. 5, Urbaner Raum)
- Wasserspeichernde Bodenbewirtschaftung (siehe Kap. 4.4.3)
- Wasserrückhalt in der Landschaft

Diese großflächige Maßnahme erfordert die Umsetzung vieler Teilmaßnahmen und damit eine ganzheitliche Strategie, langfristiges Denken und die Zusammenarbeit vieler Akteure.

4.3.6 Maßnahme: Schaffung von Refugialräumen bei Hochwasser

Ist eine naturnahe Gestaltung des Gewässers aufgrund der Erfordernisse für den HW-Schutz bzw. aufgrund fehlenden Raumes nicht möglich, sollten zumindest gezielt Refugialräume geschaffen werden, die Fischen und anderen aquatischen Organismen Rückzugsorte bei extremen Situationen bieten. Für ihre Funktion sind strömungsberuhigtere Bereiche und Versteckmöglichkeiten wesentlich.

4.3.7 Maßnahme: Monitoring von Abfluss- und Niederschlagsdaten

Zusätzlich wird ein verstärktes Monitoring von Abfluss- und Niederschlagsdaten notwendig, um Trends frühzeitig zu erkennen und Schutzstrategien flexibel anpassen zu können. Die Kombination aus technischer Infrastruktur, ökologischen Maßnahmen und vorsorgender Raumplanung ist entscheidend, um Österreichs Gesellschaft und Wirtschaft langfristig vor den Folgen des Klimawandels zu schützen.

4.4 Starkregenereignisse/Sedimenteintrag

4.4.1 Auswirkung

Der Klimawandel führt nicht nur zu einer Verschiebung der Niederschlagsverteilung, sondern auch zu einer Zunahme der Intensität von Regenereignissen. Während längere Trockenperioden immer häufiger auftreten, werden sie zunehmend von sehr heftigen Starkniederschlägen unterbrochen. Diese Entwicklung hat erhebliche Folgen für den Wasser- und Sedimenthaushalt in Fließgewässern. Besonders kritisch ist die Kombination aus längerer Trockenheit und anschließendem Starkregen. In solchen Situationen sind die Böden oft ausgetrocknet, verdichtet und dadurch weniger aufnahmefähig. Wasser kann nicht versickern und der schnelle Oberflächenabfluss führt zu verstärkter Erosion auf Hängen, unbewachsenen Flächen und landwirtschaftlich intensiv genutzten Böden. Dadurch gelangen große Mengen an Feinsedimenten in die Gewässer, die den Kieslückenraum der Gewässersohle als Lebensraum für die Bodenfauna verstopfen und die Sauerstoffversorgung der Fischeier an den Laichplätzen verhindern. Ein erhöhter Eintrag an Feinsedimenten wirkt sich natürlich stark auf Organismen aus, die auf ein funktionierendes Flussbett als permanenten oder teilweisen Lebensraum und Rückzugsgebiet angewiesen sind. Dies betrifft vor allem kieslückenbewohnende Makrozoobenthosarten. Während wärmere Temperaturen und Szenarien mit geringem Durchfluss weniger signifikante individuelle Auswirkungen auf den Bruterfolg und die Embryonalentwicklung lithophiler Fische zeigen, erzeugt die Kombination dieser beiden Stressfaktoren mit Feinsedimenten die höchsten und synergistischsten Effekte (Wild et al., 2023). Dies zeigt, dass Wechselwirkungen zwischen mehreren Stressfaktoren des Klimawandels eine erhebliche Bedrohung für den Fortpflanzungserfolg lithophiler Fische darstellen können.

Außerdem wird die Wasserqualität durch den Eintrag von Nährstoffen, Schadstoffen und organischem Material beeinträchtigt, die mit den Sedimenten in die Gewässer gespült werden. Sedimente, die zuvor bei Niedrigwasser im Gewässerbett abgelagert wurden, werden bei plötzlichem Hochwasser massiv erodiert. So entstehen kurzfristig extrem hohe Sedimentfrachten, die nicht nur ökologisch problematisch sind, sondern auch für die Infrastruktur Risiken bergen. Brücken, Staustufen und Hochwasserschutzanlagen können durch übermäßigen Sedimenttransport beschädigt oder in ihrer Funktion beeinträchtigt werden.

Auch für Seen und Talsperren ergeben sich Probleme. Eingetragene Sedimente verkürzen deren Lebensdauer, verringern das Speichervolumen und beeinflussen die Wasserqualität, da Nährstoffe und Schadstoffe an die Sedimentpartikel gebunden sind.

4.4.2 Maßnahme: Ufervegetation und Gewässerrandstreifen

Gewässerrandstreifen sind unbebaute und bewachsene Flächen entlang von Gewässern, die als Pufferzonen zwischen einer intensiv genutzten Kulturlandschaft und dem aquatischen Raum fungieren. Intakte Gewässerrandstreifen – oder besser Gewässerrandflächen sind Lebensräume für eine große Vielfalt an Pflanzen und Tieren. Gleichzeitig reduzieren sie den Eintrag von Feinsediment, Nährstoffen und Schadstoffen aus der Landwirtschaft in die Gewässer.

Das Projekt RIBUST in Niederösterreich untersuchte die Effizienz solcher Streifen zum Schutz der Wasserqualität gegenüber Belastungen durch Landnutzung und Klimawandel. (RIBUST – Effizienz von Gewässerrandstreifen zum Schutz der Wasserqualität). So kam man zum Schluss das Gewässerrandstreifen eine effiziente, umweltfreundliche und kostengünstige Methode zur Nährstoffrückhaltung und -entfernung (Anm.: im Vergleich zu techn. Lösungen) sein können. Dabei zeigte sich, dass konzentrierter Oberflächenabfluss aus landwirtschaftlich genutzten Flächen die Infiltration verringert, die Erosion erhöht und somit die Rückhaltefähigkeit von Boden für Wasser, Sedimente und Nährstoffe deutlich mindert. Die Abflusssituation sollte daher bereits bei der Planung von Gewässerrandstreifen vorab untersucht und berücksichtigt werden. Durch angepasste Gestaltung und Positionierung, sowie eventuell auch durch die Wahl von entsprechender Vegetation kann den negativen Folgen einer Abflusskonzentration entgegengewirkt werden.

Gestaltung von Gewässerrandstreifen (GRS):

- Breite: Empfehlungen für die Breite von Gewässerrandstreifen variieren je nach Gewässertyp, jedoch wird oft eine Breite von mindestens 5 bis 20 Metern empfohlen.
- Vegetation: Eine Mischung aus Gräsern, Stauden und Bäumen sollte eine vielfältige und nachhaltige Flora im Gewässerrandstreifen fördern.
Bepflanzung und Pflege: Gute Pflege durch regelmäßige Pflege- und Erhaltungsmaßnahmen (z. B. Mähen, ...) sorgt dafür, dass die Randstreifen gesund bleiben und effektiv wirken.

4.4.3 Maßnahmen im Einzugsgebiet

Angepasste Bodenbewirtschaftungsmaßnahmen spielen für den Bodenschutz eine große Rolle und können physikalische und chemische Eigenschaften des Bodens verbessern sowie Oberflächenabfluss (Erosion) reduzieren.

Hierbei kann auf eine konservierende Bodenbearbeitung zurückgegriffen werden, wenn möglich in der Verbindung mit einer Direktsaat. Dieses Vorgehen senkt zusätzlich die Gefahr einer Verdichtung, kann jedoch mit zusätzlichem Herbizideinsatz einhergehen.

Der Verzicht von bodenwendender Bearbeitung bietet folgende Vorteile für den Boden:

- Schutz der Bodenoberfläche durch Pflanzenreste
- Stabile und wenig verschlämmte Bodenstruktur
- Erhöhtes Aufkommen von Grobporen (bessere Durchlüftung)
- Gut strukturierte Böden fördern die Infiltration und verhindern damit eine stärkere Wassererosion durch Abflüsse. Zur konservierenden Bodenbearbeitung gehört auch der Einsatz von Zwischenfrüchten, um den Boden vor Erosion und Evaporation zu schützen.

Der gleiche Effekt kann mit Mulchbedeckungen u. Ä. erreicht werden. Untersaat, Agroforst, Mischkulturen und ähnliche Anbauvarianten bieten aufgrund der längeren Vegetationsperiode und einer höheren Bewuchsdichte Schutz vor Evaporation und Erosion.

Beispiel Projekt begrünte Fließwege

Das Projekt Begrünte Fließwege (<https://www.baw.at/wasser-boden/projekte/begruente-flieszwege.html>) hat zum Ziel für die besonders erosionsgefährdeten Einzugsgebiete Österreichs mittels innovativer Modellansätze sowohl Flächen für Grünrandstreifen als auch für potenzielle begrünte Fließwege auf Ackerflächen auszuweisen.

Im Rahmen der Neuauflage des ÖPUL-Programms ist es geplant, den Aufwand für die Anlage begrünter Fließwege auf landwirtschaftlichen Ackerflächen abzugelten. Hierzu ist eine schlagbasierte Ausweisung nötig, um Flächen zu identifizieren, bei denen begrünte Fließwege eine hohe Wirksamkeit haben.

Im Projekt „Begrünte Fließwege Österreich“ sollen daher mit dem Modell PhosFate sowohl potenzielle Fließwege und Sedimenteintragspfade in Gewässer modelliert und dann Informationen zur Eintrittswahrscheinlichkeit auf Schlagebene aggregiert werden. Der dabei entstehende digitale Layer soll dazu dienen, Ackerflächen in Bezug auf die Sinnhaftigkeit von begrünten Fließwegen oder Gewässerrandstreifen besser bewerten zu können.

Abbildung 35 Begrünter Fließweg



4.4.4 Maßnahme: Bewusster Feinsedimentrückhalt in Zubringergräben

Eine Möglichkeit zur Verhinderung oder Minimierung von Sedimenteintrag kann der bewusste Rückhalt von (Fein)Sedimenten in ausgewählten Zubringern sein. Kann der Feinsedimenteintrag in den Zubringer nicht durch Uferrandstreifen etc. reduziert werden, können die Feinsedimente flussauf der Mündung durch Rückhaltedämme zurückgehalten werden. Diese müssen dann periodisch geräumt werden. Der Rückhalt von Sediment durch Aufweitungen etc. funktioniert nur bei größeren Kornfraktionen (Kies).

4.5 Verschiebung biozönotischer-/Fischregionen

4.5.1 Auswirkung

Die Klimaerwärmung hat einen unmittelbaren Einfluss auf die Wassertemperaturen: Für den Alpenraum zeigen Szenarien, dass die Wassertemperaturen in den Flüssen bis 2050 um ungefähr 2 °C gegenüber 1990 ansteigen werden. Als Folge werden die Lebensräume der Kaltwasserfische um 20 bis 25 % schrumpfen, während wärmeliebende Arten

profitieren und sich zunehmend ausbreiten. Studien der Universität für Bodenkultur an Gewässern wie z. B. Mur, Ybbs und Pielach (Borgwardt et al., 2023) zeigen, dass für Österreich mit ähnlichen Größenordnungen zu rechnen ist. So ergaben die Auswertungen in der Studie „Auswirkungen der Klimaveränderung auf die Fischzönosen oberösterreichischer Fließgewässer“ (BAW, 2018), dass im alpinen Bereich diese Verschiebung geringer ausfallen dürfte als im Granit- und Gneisgebiet. Am stärksten wirkt sich der mögliche Habitats-Verlust für Kaltwasserfische allerdings in den Kalkvoralpen und nördlichen Kalkhochalpen aus – hier wurden Fließlängenverschiebungen von bis zu 91 km errechnet, im Mittel wurden rd. 42 km errechnet.

Einzelne Arten, wie beispielsweise der Huchen und die Äsche, sind derzeit bereits infolge anderer anthropogener Eingriffe in ihrem Bestand so stark gefährdet, dass diese zusätzliche, klimabedingte Beeinträchtigung sie zum Aussterben bringen könnte. Auch die Bachforelle ist als akut gefährdet einzustufen.

Eine weitere Studie an der Pielach (Pletterbauer et al., 2015) zeigte einen steigenden Trend in den Monatsmittelwerten, der für die Sommermonate stärker ausgeprägt ist, bei gleichzeitig fallendem Trend der Durchflussmenge (der Trend für Maximalabflüsse ist als konstant zu sehen). Weiters zeigte sich im Rahmen der Studie, dass die Erwärmung des Gewässers im Frühjahr tendenziell früher einsetzt, was auch in Zusammenhang mit milderem Wintern und reduziertem nivalen Abfluss zu sehen ist. Zudem wurde dokumentiert, dass sich während in Hitzephasen auf weiten Strecken die Wassertemperaturen im Stressbereich für kaltwasserliebende Arten wie z. B. Bachforelle befinden. Für das österreichische Gewässersystem ergibt sich damit eine dringende Anpassungsaufgabe: Es gilt, die verbleibenden kühlen Refugien zu schützen, Durchgängigkeit und strukturelle Vielfalt sicherzustellen, Beschattung und Zuflüsse zu erhalten und künftig bei Besatz- und Bewirtschaftungsentscheidungen die veränderten räumlichen Bedingungen zu berücksichtigen. Nur so kann die Funktion von Fließgewässern als Lebensraum für kaltegebundene Fischarten trotz des Klimawandels gesichert werden.

4.5.2 Maßnahme: Klimawandel bei Wiederherstellung der Durchgängigkeit berücksichtigen

Die Wiederherstellung der Durchgängigkeit wird in erster Linie durch die Errichtung von Fischwanderhilfen gewährleistet. Die Bemessung der FAH erfolgt gemäß FAH-Leitfaden (BMLRT, 2021) anhand der Fischregion und der sogenannten größenbestimmenden Fischart. Bei einer FAH, welche sich an einer Fischregionsgrenze befindet, wird mittels einer Einzelfallbeurteilung durch den zuständigen Sachverständigen festgestellt, was bei diesem Standort der (mit verhältnismäßigen Mitteln erreichbare) Stand der Technik sein kann.

Ist zu erwarten, dass sich an einem Standort in absehbarer Zeit die Fischregion derartig verschiebt, dass eine neue größenbestimmende Fischart für die Planung bzw. Betrieb zu erwarten ist, könnte – soweit keine rechtlichen Hindernisse vorhanden sind – die Planung anhand der zu erwarteten Fischart bzw. Fischregion angedacht werden. Ist zudem das Auftreten von Laichwanderungen von größeren Schwarmfischen in größeren Stückzahlen (z. B. Nasen, Barben, Brachsen, Nerflingen, etc.), welche bisher in diesem Gewässerabschnitt noch nicht in Erscheinung traten, zu erwarten, wäre im Sinne einer klimafitten Anpassung eine entsprechende Dimensionierung der FAH zu prüfen.

Berücksichtigen sollte man weiters auch die etwaige Ausbreitung von Krankheiten wie z. B. PKD (Proliferative Nierenkrankheit der Fische -engl.proliferative kidney disease), die eine stark temperaturabhängige Komponente besitzt. In diesem Zusammenhang kann – unter Berücksichtigung der rechtlichen Rahmenbedingungen – überlegt werden, die fortschreitende Ausbreitung durch die Errichtung von Migrationssperren zu verhindern bzw. das Tempo der Ausbreitung zu verringern.

4.5.3 Maßnahme: Förderung der aktuellen und zukünftigen Leitbildzönose

Bei der Festlegung ökologischer Ziele wird zunehmend darauf zu achten sein, dass zukünftige Temperatur- und Abflussbedingungen realistisch eingeschätzt werden. In vielen Fällen bedeutet das, dass sich die Fischregionen verschieben. Aus vormalig typischen Forellenregionen (Epi-/Metarhithral) können Äschenregionen (Hyporhithral) oder sogar Übergangsbereiche zur Barbenregion werden, in denen wärmetolerantere Arten eine stärkere Rolle spielen. Renaturierungen sollten daher so gestaltet werden, dass sie eine hohe strukturelle und thermische Vielfalt bieten. Tiefere Kolke, beschattete Uferbereiche,

Nebengerinne und Quellzuflüsse schaffen Rückzugsräume für empfindliche Arten und verbessern die Temperaturpufferung.

Darüber hinaus ist eine konsequente Kontrolle und Dokumentation der Fischfauna notwendig, um Veränderungen frühzeitig zu erkennen und gegebenenfalls steuernd eingreifen zu können. Bei der Wiederansiedlung oder dem Besatz von Fischarten ist auf geänderte Bedingungen zu reagieren. Nur lokal angepasste und genetisch geeignete Stämme sollten verwendet werden, um die Anpassungsfähigkeit an sich wandelnde Umweltbedingungen zu erhalten. Gleichzeitig sollte auf die Wiedereinführung von Arten verzichtet werden, deren Lebensraumsansprüche unter den erwarteten Klimabedingungen künftig nicht mehr erfüllt werden können.

4.6 Ansprüche der Naherholung in Bezug auf Gewässer und Klimawandel

4.6.1 Auswirkung

Gewässer gehören zu den wichtigsten natürlichen Ressourcen für den Menschen. Ihre Nutzung umfasst viele Bereiche, die sich durch den Klimawandel verändern und zunehmend in Konflikt geraten. Besonders hervorzuheben ist der Bereich der Freizeit und Erholung, da die Nutzung der Gewässer als Naherholungsgebiet durch ein verändertes Freizeitverhalten, u.a. auch durch die Auswirkungen des Klimawandels (höhere Temperaturen, etc.), zunimmt. Durch den steigenden Nutzungsdruck auf das Ökosystem kommt es aber zu einem weiter steigenden Stress für Flora und Fauna.

Gewässer sind attraktive Orte für vielfältige Aktivitäten:

- Baden und Wassersport: Seen und Flüsse sind Erholungsräume, deren Nutzung jedoch durch Blaualgenblüten, Sauerstoffmangel oder hygienische Belastungen eingeschränkt werden kann.
- Angeln und Fischerei: Intakte Fischbestände und sauberes Wasser sind zentrale Voraussetzungen. Erwärmung, Sauerstoffmangel und Niedrigwasser gefährden jedoch die Fischpopulationen.

- Tourismus: Seenlandschaften, Flussufer oder Küstenregionen sind bedeutende touristische Ziele. Rückgänge der Wasserqualität und häufigere Extremereignisse schmälern die Attraktivität.
- Naturerleben und Naherholung: Spaziergänge, Radfahren oder einfach der Aufenthalt am Wasser hängen stark von einem naturnahen Erscheinungsbild ab. Verlandung, Müll oder sichtbare ökologische Schäden mindern den Erholungswert.

Damit werden Freizeit- und Tourismusansprüche besonders empfindlich durch den Klimawandel beeinträchtigt, da sie direkt auf eine hohe ökologische Qualität und Stabilität der Gewässer angewiesen sind. Im Gegensatz zu funktionalen Nutzungen wie Schifffahrt oder Energie stehen Freizeitansprüche in enger Verbindung mit dem Erhalt naturnaher Landschaften und intakter Ökosysteme.

4.6.2 Maßnahme: Schaffung eines „angenehmen“ Mikroklimas

Der Klimawandel verändert die Rahmenbedingungen für die Nutzung und Gestaltung von Naherholungsflächen. Längere Hitzeperioden, intensivere Sonneneinstrahlung sowie häufigere Starkregenereignisse stellen neue Anforderungen an die Infrastruktur. Ziel ist es, Aufenthaltsqualität und Erholung trotz veränderter klimatischer Bedingungen zu gewährleisten – durch angepasste Gestaltung von Rad- und Fußwegen, Rastplätzen und Gewässerzugängen.

Das Schaffen von Schatten ist eine der wirksamsten Methoden damit sich Oberflächen erst gar nicht so stark erwärmen. Schatten, der im besten Fall mithilfe von Pflanzen erzeugt wird, senkt die Temperatur spürbar und ist Voraussetzung für die Benutzung des öffentlichen Raumes. Durch gezielte Beschattung von Rastplätzen und Zugangspunkten an Gewässern können diese Areale sehr stark aufgewertet werden und gleichzeitig kann damit auch eine gewisse Besucherlenkung erfolgen. Für den sommerlichen Schatten können entsprechend hohe Laubbäume gepflanzt werden, im Winter sind diese ohne ihr Laubkleid lichtdurchlässig. Die Pflanzabstände können zudem so gewählt werden, dass z. B. Wegabschnitte im Hochsommer beschattet und im Winter besonnt sind.

Bei Rastplätzen und Zugangspunkten zum Gewässer soll auf eine naturnahe Gestaltung mit Holz, Naturstein und Wiesenflächen geachtet werden. Im Sommer sollten Standorte für Rastplätze bevorzugt winddurchlüftete, schattige Lagen sein, für die Übergangszeit/Winter südexponierte, sonnige Plätze. Vorhandene Ufervegetation wäre

als bevorzugter natürlicher Sonnenschutz zu nutzen.

Rad- und Fußwege sollen – soweit möglich – mit unversiegelten oder wasserdurchlässigen Oberflächen (z. B. wassergebundene Wegedecken, Rasengittersteine, Schotterrasen usw.) errichtet werden. Negative Effekte von urbanen Hitzeinseln (übermäßige Erwärmung und Speicherung der Wärme, schneller Abfluss von Oberflächenwasser) können durch überlegte Oberflächengestaltung wesentlich reduziert werden: Unversiegelte Oberflächen, die sich meist weniger aufheizen, Abfluss verzögern, Regenwasser aufnehmen und wieder verdunsten, verbessern damit das Mikroklima wesentlich. Befestigte Bodenbeläge, die breite Fugen mit Platz für Pflasterritzenvegetation aufweisen, heizen sich wesentlich weniger auf als Asphaltflächen. Helle Beläge reduzieren ebenfalls die Wärmeabsorption und reflektieren die Sonnenstrahlung.

Abbildung 36 Naherholung Liesing Wien 2 Jahre nach Baumsetzung – wenn die Bäume höher sind, kann der technische Sonnenschutz entfallen



Abbildung 37 Naturnahe Fließgewässer sind „interessante“ Spielplätze



4.6.3 Maßnahme: Besucherlenkung

Als erster Gestaltungsansatz dient die Schaffung attraktiver Soll-Plätze (gezielte Anziehungspunkte). Diese Zonen dienen der gezielten Kanalisierung von Besuchern und bieten: leicht erreichbare Uferabschnitte mit Sitzgelegenheiten (z. B. Stege, Liegeflächen, Bänke), Infotafeln und Wegweiser, barrierearme Gestaltung für verschiedene Nutzergruppen, pflegeleichte Infrastruktur, z. B. Holzplattformen, Kiesbuchten sowie optional z. B. Trinkwasserstellen, Abfallbehälter oder Fahrradständer.

Das zweite Standbein der Besucherlenkung ist Rückzugsräume für die Natur (gezielte Vermeidung) zu schaffen. Diese Bereiche sollen nicht betreten oder gefunden werden. Dies kann durch schwer zugängliche Uferstrukturen (z. B. dichter Bewuchs, umgestürzte Bäume), bewusste Pflanzung stechender oder „abwehrender“ Vegetation wie z. B. durch Weißdorn, Schlehdorn, Brombeeren, natürliche Hindernisse wie Totholz oder sumpfige Bodenstellen sowie fehlende Wege und Zugangshilfen oder Fahrverbote erreicht werden.

Zusätzliche Maßnahmen zur Besucherlenkung wären Informations- und Bildungsarbeit (Schilder, geführte Naturerlebnispfade, ...), visuelle Zonierung (z. B. durch Farbgebung, Wegbreiten, Materialwechsel), regelmäßiges Monitoring und Pflege der

Lenkungselemente und Partizipation der lokalen Bevölkerung (z. B. bei der Gestaltung von Soll-Plätzen).

Als gutes Beispiel dient hierfür der Nationalpark Donau-Auen – Lobau mit Badeplätzen an ausgewählten Gewässerarmen (z. B. Panozzalacke, Dechantlacke), Ausstattung mit Stegen, Liegewiesen und Abfallentsorgung, gut ausgebauten und markierte Wege für Radfahrer und Spaziergänger sowie Schautafeln und Bildungsstationen zur Förderung von Akzeptanz und Verständnis.

Der Zugang zum Gewässer soll mit flach abfallenden Böschungen, Stegen oder Trittsteinen erfolgen. Die Oberflächengestaltung der Wege zum Ufer soll wasserdurchlässig sein, aber gleichzeitig muss im unmittelbaren Nahbereich des Gewässers auf einen Erosionsschutz geachtet werden. Bei der Auswahl von Plätzen wäre auch auf eine gute Anbindung an Rad- und Fußwegenetz zur CO₂-armen Erreichbarkeit wünschenswert.

4.7 Verstärktes Vorkommen invasiver gebietsfremder Arten

4.7.1 Auswirkungen

Der Klimawandel verändert die ökologischen und physikalischen Bedingungen in und entlang von Gewässern weltweit. In diesem Kontext gewinnen invasive gebietsfremde Arten zunehmend an Bedeutung. Diese Arten stammen ursprünglich aus anderen geografischen Regionen und werden durch menschliche Aktivitäten – etwa Schifffahrt, Aquakultur, Handel oder Freizeitnutzung – in neue Lebensräume eingeschleppt. Wenn sie sich dort erfolgreich etablieren und ausbreiten, können sie einheimische Arten verdrängen und ökologische Prozesse nachhaltig verändern. Neozoen wie die verschiedenen Grundelarten oder der Blaubandbärbling haben sich in den vergangenen Jahren stark verbreitet, insbesondere in wärmeren, strukturarmen Gewässerbereichen der Donau und ihrer Zuflüsse. Diese Arten verdrängen teils einheimische Kleinfische und verändern die Nahrungsnetze nachhaltig.

Folgen invasiver Arten in und an Gewässern:

- Ökologisch: Verdrängung heimischer Arten, Veränderung von Nahrungsnetzen, Verlust der Biodiversität.
- Wirtschaftlich: Schäden an Infrastruktur (z. B. verstopfte Rohre durch Muscheln), Kosten für Bekämpfung, Einbußen in Fischerei und Tourismus.
- Gesundheitlich: manche invasive Arten können Krankheiten übertragen oder Allergien auslösen.

Weitere invasive Tierarten in und entlang von Gewässern wären z. B. Asiatische Tigermücke, Waschbär, Mink, Quagga- und Zebra- Muschel, Amerikanischer Signalkrebs usw. An Gewässern sind zudem invasive Pflanzenarten hochproblematisch, weil sie die ursprüngliche Vegetation oft vollständig ersetzen und dabei Monokulturen schaffen. Je großflächiger solche Bestände sind, umso problematischer ist ihr Auftreten. Invasive Arten haben sehr effiziente Vermehrungsmechanismen und dringen meist in „ungesättigte“ Pflanzengesellschaften ein (Störungszonen, Flächen mit Nutzungs-/Pflegeaufgabe, Pionierbereiche). In ihrer ursprünglichen Heimat sind sie meist bedeutend weniger aggressiv.

Abbildung 38 Große Kanada-Goldrute (links). Drüsen- Springkraut (rechts)



4.7.2 Maßnahme: Keine Anlage von Strukturen/keine Maßnahmen, welche invasive Arten fördern können

Bei Verkommen invasiver Pflanzenarten wie Staudenknöterich und Drüsen-Springkraut sollte an terrestrischen Initialstandorten eine einjährige Erstbegrünung erfolgen, die später ausfällt und die Besiedlung mit einheimischen Arten erleichtert.

Gewässertypische hochdynamische Initialstandorte wie Kiesbänke und -inseln sind bei starkem Verkommen invasiver Pflanzenarten wie Staudenknöterich und Drüsen-Springkraut ein ungelöstes „Problem“. Einerseits entstehen sie bei „funktionsfähigen“, vor allem verzweigten Gewässern nach jedem Hochwasser unbewachsen neu und können daher nicht „erstbegrünt“ werden. Zudem sind viele heimische Tierarten darauf angewiesen. Gleichzeitig werden sie aber von den oben angeführten Pflanzenarten dicht besiedelt (vgl. z. B. naturnahe, verzweigte Gewässerabschnitte der Schwechat, z. B. Wienersdorfer Au etc.).

Bei der Anlage von neuen ökologisch relevanten Strukturen wie z. B. dem Einbau von Totholzelementen kann nur bedingt auf die mögliche Eignung als Lebensraum für invasive oder faunenfremde Fischarten (wie z. B. Schwarzmundgrundel, ...) Rücksicht genommen werden, da sie auch für gewässertypische Tierarten Schlüsselhabitate darstellen.

Durch die Vermeidung von Blockwurf kann jedoch zum Beispiel das Vorkommen der nicht heimischen Grundelarten reduziert und der Bestand heimischer Fischarten gefördert werden (vgl. Bericht Befischung March Jedenspeigen, Gandolf und Frangež, 2025).

Im Bereich des Neophytenmanagements ist die Prävention eine der wichtigsten und zugleich zielführendsten Maßnahmen.

4.7.3 Maßnahme: Entfernung von Neophyten im Zuge der Renaturierung bzw. bei Arbeiten an Gewässern

Bauarbeiten an und in Gewässern, wie Renaturierungen, Ufersicherungen oder wasserbauliche Maßnahmen, greifen zwangsläufig in sensible Ökosysteme ein. Besonders im Kontext des Klimawandels, der invasive Arten begünstigt, muss darauf geachtet werden, die heimische Vegetation zu fördern und Neophyten zu bekämpfen. So können kleinere Bestände von Neophyten schon am Beginn der Bauarbeiten entfernt und

nachhaltig entsorgt werden. Damit wird eine „gefährliche“ Quelle für deren Aufkommen auf neu geschaffenen, „offenen“ Flächen beseitigt.

Abbildung 39 Abtrag Staudenknöterich aus Böschung und fachgerechte Entsorgung (links). Entfernung Götterbaum im Rahmen Errichtung FWH Greifenstein (rechts)



4.7.4 Maßnahme: Nachsorge bei Bauarbeiten/Neophytenmanagement

Nachsorge und Neophytenmanagement sind entscheidende Erfolgsfaktoren für nachhaltige Bauprojekte an Gewässern.

Die Vermeidung der Ansiedlung von invasiven Gehölzen und anderen invasiven Pflanzenarten kann durch die Beachtung einiger Rahmenbedingungen gut unterstützt werden:

- Im Zuge der Ufergehölzpflege keine Stellen mit offenem Boden schaffen (Brandplätze und offene Fahrspuren vermeiden, längere Zwischendeponierung von Aushub oder Vegetationsabfällen auf gut besiedelbarem Substrat vermeiden)
- Regelmäßige Kontrolle von vegetationsfreien Stellen (bei bewusster Anlage von vegetationsfreien oder -armen Flächen, wie Pionierflächen oder Sukzessionsstellen, müssen beim Auftreten von ersten Problempflanzen sofort Gegenmaßnahmen gesetzt werden)
- Bei Pflegearbeiten ist bewusst auf die Gefahr der Verschleppung von Samen oder Wurzelstücken zu achten (Rhizomstücke im Reifenprofil, im Werkzeug etc.)
- Bei der Ausbringung von Erdmaterial auf Herkunft achten

Die Vermeidung von Bestandsbildungen ist bereits aufwändiger und an eine gute Artenkenntnis der Problempflanzen gebunden. Die Etablierung von Problempflanzen ist aber eine kritische Phase, bei der mit vergleichsweise geringem Aufwand deren Ausbreitung kontrolliert werden kann:

- Abfahren und Kontrolle gefährdeter Flächen (am besten zur Blütezeit)
- Kleine Bestände unmittelbar beim Auftreten bekämpfen (zumindest schwächen oder deren unmittelbare Ausbreitung verhindern)
- Die fachgerechte Entsorgung des Pflanzenmaterials ist ein wichtiger Punkt, denn die meisten invasiven Pflanzen sind durch eine enorme Regenerationsfähigkeit gekennzeichnet. Fehler bei der Entsorgung führen häufig zur weiteren Verschleppung von Samen und Wurzelaufläufem.
- Die Gewährleistung der Kontinuität eines einmal eingeschlagenen Weges ist besonders wichtig, da fast alle Problempflanzen erst bei einem mehrjährig durchgeführten Bekämpfungsprogramm deutlich zurückgehen. Da im Bereich der Neophytenbekämpfung noch große Wissensdefizite bestehen, kommt der Dokumentation der Bekämpfungsmaßnahmen (Ausmaß, Zeitpunkt, Lokalität etc.) besondere Bedeutung zu.
- Nach Abschluss der Bekämpfungsmaßnahmen muss für eine rasche „Begrünung“ der offenen Flächen mit standortgerechtem Pflanzenmaterial gesorgt werden, um möglichst bald zu einer wirksamen Konkurrenzvegetation zum Neophytenbestand zu kommen. Bis zur vollständigen Regeneration der behandelten Fläche sind regelmäßige Kontrollen angebracht.

Abbildung 40 Negativbeispiel für Neophytenmanagement und Pflegekonzept – keine Beschattung, Monokultur an Jap. Staudenknöterich



4.7.5 Maßnahme: Bewusst Wanderhindernisse erhalten (Einwanderung von Signalkrebs bei Edel- oder Steinkrebsvorkommen verhindern)

Das bewusste Erhalten von Wanderhindernissen steht grundsätzlich nur in fischfreien Gewässern und in Zusammenhang mit der Ausbreitung des Signalkrebses zur Diskussion. Der Signalkrebs ist gegenüber veränderten Umweltbedingungen deutlich robuster als der Edelkrebs. Zudem trägt er den Erreger der Krebspest (*Aphanomyces astaci*) in sich, gegen den er selbst weitgehend immun ist. Diese Kombination aus Konkurrenzüberlegenheit und Krankheitsübertragung hat in weiten Teilen Europas zu einem dramatischen Rückgang der Edelkrebsbestände geführt. Die selbsttätige Ausbreitung aus einem besiedelten Abschnitt flussabwärts mit der Strömung, lässt sich kaum verhindern. Besser stehen die Chancen für eine Eindämmung flussaufwärts, hier müssen neben der Strömung auch Wanderungshindernisse überwunden werden. Vor diesem Hintergrund werden in Österreich zunehmend gezielte Wanderhindernisse für Signalkrebse errichtet oder erhalten, um pestfreie Edelkrebsgewässer langfristig zu schützen. Dabei handelt es sich um künstliche oder natürliche Barrieren – etwa Wehre, Abstürze oder Abstufungen – die den aktiven Aufstieg des Signalkrebses verhindern sollen. Diese „krebsspezifischen

Barrieren“ können gezielt so dimensioniert werden, dass sie die Schwimm- und Kletterfähigkeit des Signalkrebse einschränken. Die planerische Herausforderung besteht darin, die widersprüchlichen Ziele von ökologischer Durchgängigkeit und Artenschutz in Einklang zu bringen.

Abbildung 41 Krebssperre



4.8 Stärkere Auswirkungen stofflicher Belastung

4.8.1 Auswirkungen

Der Klimawandel verändert die hydrologischen und chemischen Rahmenbedingungen von Fließgewässern zunehmend und führt zu einer deutlichen Verschärfung ihrer stofflichen Belastung. Steigende Wassertemperaturen, häufigere Trockenperioden und intensivere Starkregenereignisse verändern die Transport-, Abbau- und Verdünnungsprozesse von Nähr- und Schadstoffen. Diese Entwicklungen wirken sich direkt auf die Wasserqualität und die ökologische Funktionsfähigkeit der Gewässer aus (Umweltbundesamt, 2021).

Während Starkregenereignisse verstärkt Nähr- und Schadstoffe aus diffusen Quellen wie landwirtschaftlich genutzten Flächen in Fließgewässer eintragen, führen langanhaltende Trockenphasen zu einer gegenteiligen, aber ebenso kritischen Situation. Durch die Abnahme der Abflüsse sinkt die Verdünnungskapazität der Gewässer, wodurch sich die Konzentrationen von Nährstoffen, organischen Substanzen und anthropogenen Spurenstoffen deutlich erhöhen (Blaschke & Zessner, 2019). Besonders betroffen sind Gewässer, die als Vorfluter für kommunale und industrielle Kläranlagen dienen.

In Niedrigwasserphasen wird das gereinigte Abwasser der Kläranlagen in deutlich geringeren Wassermengen eingeleitet, wodurch die natürliche Verdünnung erheblich reduziert ist. Dies führt zu erhöhten Konzentrationen von Stickstoff- und Phosphorverbindungen, aber auch von Mikroschadstoffen wie Medikamentenrückständen, Hormonen oder Industriechemikalien. Untersuchungen des BMLRT (2022) zeigen, dass in kleineren österreichischen Flüssen während ausgeprägter Trockenphasen der Anteil von Kläranlagenabwässern am Gesamtabfluss zeitweise über 50 % betragen kann. Dadurch steigt die stoffliche Belastung lokal stark an, und die Selbstreinigungskraft der Gewässer wird erheblich eingeschränkt. Gleichzeitig verstärken höhere Wassertemperaturen die chemisch-biologischen Prozesse im Wasser. Sie beschleunigen mikrobielle Abbauvorgänge, verringern aber die Sauerstofflöslichkeit und können so zur Bildung von Sauerstoffdefiziten führen. Unter solchen Bedingungen kommt es häufig zu Rücklösungsprozessen von Nährstoffen aus Sedimenten, was die eutrophierenden Effekte weiter verstärkt (Lehtoranta et al., 2021). Die Kombination aus geringer Verdünnung, hoher Temperatur und organischer Belastung schafft eine besonders vulnerable Situation. In Stauräumen und langsam fließenden Gewässerabschnitten können sich dadurch toxische Cyanobakterien (Blaualgen) massenhaft vermehren, was erhebliche ökologische und gesundheitliche Risiken mit sich bringt (EEA, 2020).

4.8.2 Maßnahme: Förderung Sauerstoffeintrag und Selbstreinigungskraft durch Erhöhung der gewässertypischen Strukturvielfalt

Als wesentlichste Maßnahme in diesem Zusammenhang ist die Erhöhung der Strukturvielfalt des Gewässers zu nennen, um natürliche Turbulenzen, Durchmischung und Austauschprozesse zu fördern. Durch den Rückbau von Uferbefestigungen und Sohlschwellen wird die Strömung variabler, was die Oberflächenverwirbelung und somit den Sauerstoffeintrag verbessert. Der Einbau von Strukturelementen wie Totholz, Steinen oder Wurzelstöcken erzeugt lokale Strömungswechsel, Kolke und Riffles. Diese wirken wie

natürliche „Belüfter“ und schaffen Mikrolebensräume mit höherer Sauerstoffdynamik. Die Wiederherstellung einer natürlichen Gewässersohle verbessert mitunter den Stoffaustausch zwischen Grund- und Oberflächenwasser, was die Sauerstoffverfügbarkeit in der Sohle erhöht.

Der Rückbau von Querbauwerken kann ebenfalls bei Fließgewässern dazu beitragen, Stauwassereffekte zu reduzieren. In gestauten Abschnitten kommt es oft zu Sauerstoffarmut in der Tiefe; durch Wiederherstellung der Fließdynamik wird eine bessere Belüftung der gesamten Wassersäule erreicht.

Die Reaktivierung von Auen fördert den temporären Rückhalt von Wasser und Sedimenten. Die dort ablaufenden mikrobiellen Abbauprozesse verringern Nährstoffspitzen, bevor sie in den Hauptstrom gelangen (BMLRT, 2022). Die Selbstreinigungskraft eines Gewässers beruht generell auf biologischen und physikalisch-chemischen Prozessen, die Schadstoffe abbauen oder binden. Sie kann gezielt gestärkt werden, indem:

- die hydraulische Aufenthaltszeit in Gewässern oder Auen erhöht wird, damit Mikroorganismen mehr Zeit für den Abbau organischer Substanzen haben.
- Biofilme auf Sedimenten und Steinen gefördert werden, etwa durch strukturierte Sohle und variable Strömung. Diese Mikroorganismen spielen eine Schlüsselrolle im Nährstoffabbau und bei der Oxidation von organischem Material.
- natürliche Retentionsräume geschaffen werden, in denen sich Schwebstoffe und partikelgebundene Schadstoffe absetzen können. Auen und Feuchtgebiete wirken dabei als biologische „Filter“.

4.8.3 Maßnahme: Förderung der Selbstreinigungskraft durch Beschattung

In unbeschatteten Gewässern fördern hohe Lichtintensitäten das Algenwachstum, was tagsüber zu starken Sauerstoffübersättigungen, nachts jedoch zu Sauerstoffdefiziten führen kann. Beschattung durch Ufergehölze dämpft diese Schwankungen, indem sie die Photosyntheseaktivität von Algen begrenzen und die Produktion von organischem Material reduzieren. Dadurch verringert sich der biochemische Sauerstoffbedarf (BSB) im Wasser und das Gleichgewicht zwischen Sauerstoffproduktion und -zehrung wird stabilisiert (Lehtoranta et al., 2021).

Geringere Wassertemperaturen fördern auch die Entwicklung stabiler Biofilme und benthischer Gemeinschaften auf der Gewässersohle. Diese mikrobiellen Lebensgemeinschaften sind maßgeblich am Nährstoffumsatz beteiligt, insbesondere an der Nitrifikation und Denitrifikation. In beschatteten Gewässern werden Stickstoffverbindungen effizienter umgewandelt und Phosphorbindungsprozesse im Sediment begünstigt (Umweltbundesamt, 2021).

4.8.4 Maßnahme: Verringerung Nährstoff- und Sedimenteintrag durch Ufergehölzstreifen und Uferrandstreifen

Unter Uferrandstreifen (siehe auch Kap 4.4.2) werden grundsätzlich Stilllegungsflächen verstanden, die aus der landwirtschaftlichen Nutzung herausgenommen und nur mehr eingeschränkt bewirtschaftet werden (z. B. zweimal jährlich häckseln). Ufergehölzstreifen hingegen weisen einen Gehölzbewuchs auf, der aus einer weitgehend geschlossenen hochwüchsigen Gehölzreihe zur Beschattung des Wasserkörpers bestehen. Den Übergang zu den bewirtschafteten Flächen bilden direkt anschließende niederwüchsige Gehölze und Hochstaudengewächse, die von Krautpflanzen gesäumt werden. Dadurch werden im Vergleich zum Uferrandstreifen durch Ufergehölzstreifen viele weitere Funktionen wie etwa Biotopvernetzung, Beschattung, Uferschutz, Windschutz, etc. erfüllt. Durch die Beschattung und Temperaturpufferung (siehe Kap.4.1 - Aufwärmung) vermindern Ufergehölzstreifen die Sauerstoffzehrung und das Algenwachstum. Ufergehölze und Uferrandstreifen können den Sedimenteintrag in das Gewässer in Abhängigkeit von der Breite des Filterstreifens sowie der Art des Wasserzuflusses (flächenhaft oder punktuell) reduzieren. Da der Phosphoreintrag, durch Bindung des Phosphors an Partikel, direkt vom Sedimenteintrag abhängig ist, bewirken die beiden Maßnahmen einerseits eine Reduktion des Phosphors im Gewässer und andererseits eine Verbesserung der Flusssohle durch Reduktion des Feinsedimenteintrags.

In Bezug auf Stickstoff ist die Wirkung von Ufergehölzen und Uferrandstreifen als gering einzustufen, da der Eintrag in das Gewässer zum überwiegenden Teil über das Grundwasser erfolgt. Die Wirksamkeit der Filterfunktion ist aber auf die Nahbereiche der Uferstreifen beschränkt. Nach Bach et al. (1994) wird der Oberflächenabfluss aus weiter entfernt liegenden Einzugsflächen bereits im Vorfeld in Kleingerinnen konzentriert und durchtritt anschließend die Uferrandstreifen linienhaft, wodurch eine Filterung der diffusen Stoffeinträge ausgeschlossen werden kann. Eine wirksame Reduzierung des diffusen, vor allem des erosiven Stoffeintrages ist nach BACH et al. (1994) ausschließlich

durch eine erosionsvermeidende landwirtschaftliche Bewirtschaftung im Einzugsgebiet erreichbar.

Beispiel Uferrandstreifen

In Frede et al. (1994) wurde die Retentionsleistung von Uferrandstreifen für gelöste Nährstoffe und Sediment im flächenhaften Oberflächenabfluss aus der landwirtschaftlich genutzten Fläche untersucht. Im Feldversuch wurden an für eine Mittelgebirgslandschaft typischen Uferstreifen Oberflächenabflüsse simuliert und über eine Bilanz der eingeleiteten und austretenden Frachten deren Retentionsleistung bestimmt.

Diesbezüglich konnten folgende Ergebnisse festgehalten werden: Die Abflussverminderung betrug durchschnittlich 67 %. Die durchschnittliche Verringerung der Sedimentkonzentration und –fracht war mit über 82 % bzw. 90 % sehr hoch. Die Konzentrationsverminderung ist dabei unabhängig von der Abflussverminderung im Uferstreifen. Die Konzentration der Partikel der Tonfraktion, die für den Stoffeintrag ins Gewässer relevant sind, wurde um durchschnittlich 40 % verringert. Eine Verlängerung der Fließstrecke ergab zunehmende Verminderungen der Nährstofffrachten, was auf die anwachsende Infiltration zurückzuführen ist. Die angegebenen Retentionsleistungen beziehen sich nur auf flächenhaften Oberflächenzufluss in die Uferstreifen hinein und die oberflächlich zu erfassenden Abflüsse aus den Uferstreifen.

Eine Optimierung der Retentionsleistung von Uferstreifen erfordert eine räumlich gleichmäßig verteilte Infiltration des Oberflächenabflusses im Uferstreifen. Dazu muss ein flächenhafter Übertritt des Oberflächenabflusses in den Uferstreifen hinein gewährleistet sein. Die Uferstreifenbreite sollte daher mindestens 10 m betragen.

4.8.5 Maßnahme: Verringerung Nährstoff- und Sedimenteintrag durch Maßnahmen in der Fläche

Einen wesentlichen Beitrag zur Reduktion des Nährstoffaustrags aus ackerbaulich genutzten Flächen trägt die Art der Bodenbearbeitung bei. Diesbezüglich werden

- konventionelle Verfahren (regelmäßiger Pflugeinsatz bei der Grundbodenbearbeitung),
- konservierende Bodenbearbeitung (Pflugverzicht, Einsatz von lockernden und / oder mischenden Geräten, Durchführung von Mulchsaat) und
- Direktsaatverfahren (Verzicht auf jegliche Bodenbearbeitung) unterschieden.

Allgemein formuliert umfasst die konservierende Bodenbearbeitung jedes Verfahren, das die Eingriffsintensität in den Boden verringert. Dadurch werden die Bodenaggregate stabiler und der Gehalt an organischer Substanz und die Bodenfruchtbarkeit nehmen auf natürliche Art und Weise zu. In Verbindung mit der „schonenden“ Bodenbearbeitung wird außerdem eine ganzjährige Bodenbedeckung (Zwischenfruchtanbau) angestrebt.

Durch Maßnahmen in der Fläche kann einerseits der Nährstoffeintrag über die Oberfläche mit dem Sediment und andererseits der Nährstoffeintrag über die Versickerung in das Grundwasser reduziert werden. Über die Versickerung wird zum überwiegenden Teil Stickstoff z. B. über Drainagen, in das Gewässer eingetragen, Phosphor hingegen nur in geringem Maß.

Nach Wimmer (Agrar-Beratung-Service, Ingenieurbüro Wimmer, www.abs.at, 2006) kann durch die Anwendung konservierender Bodenbearbeitungsverfahren und die bodennahe Einarbeitung von Stroh- und Ernterückständen eine deutliche Minderung der Bodenerosion (> 90 % bei Direktsaat und > 60 % bei nichtwendender Bodenbearbeitung) erreicht werden. Damit in Verbindung kann der Oberflächenabfluss um bis zu 70 % verringert und somit der Austrag von Nitrat um > 85 % und der Austrag von Phosphor um > 65 % reduziert werden.

Nach Klink (2003) kann die konservierende Bodenbearbeitung bzw. die Direktsaat einerseits die Infiltration erhöhen (d.h. eine Reduktion des Oberflächenabflusses erreicht werden) und andererseits der Bodenabtrag sowie der Nährstoffaustrag deutlich reduziert werden. Demnach können durch bodenschonende Bewirtschaftung Stickstoffausträge durch Abfluss und Abtrag um 55 % und Phosphorverluste um 73 % und durch Direktsaat

Stickstoffausträge sogar um 66 % und Phosphorverluste um 85 % reduziert werden. Zwischenfruchtanbau sowie Mulch- und Direktsaatverfahren führen zu einer deutlichen Reduktion des Oberflächenabflusses.

Abbildung 42 Direktsaat in die Begrünung



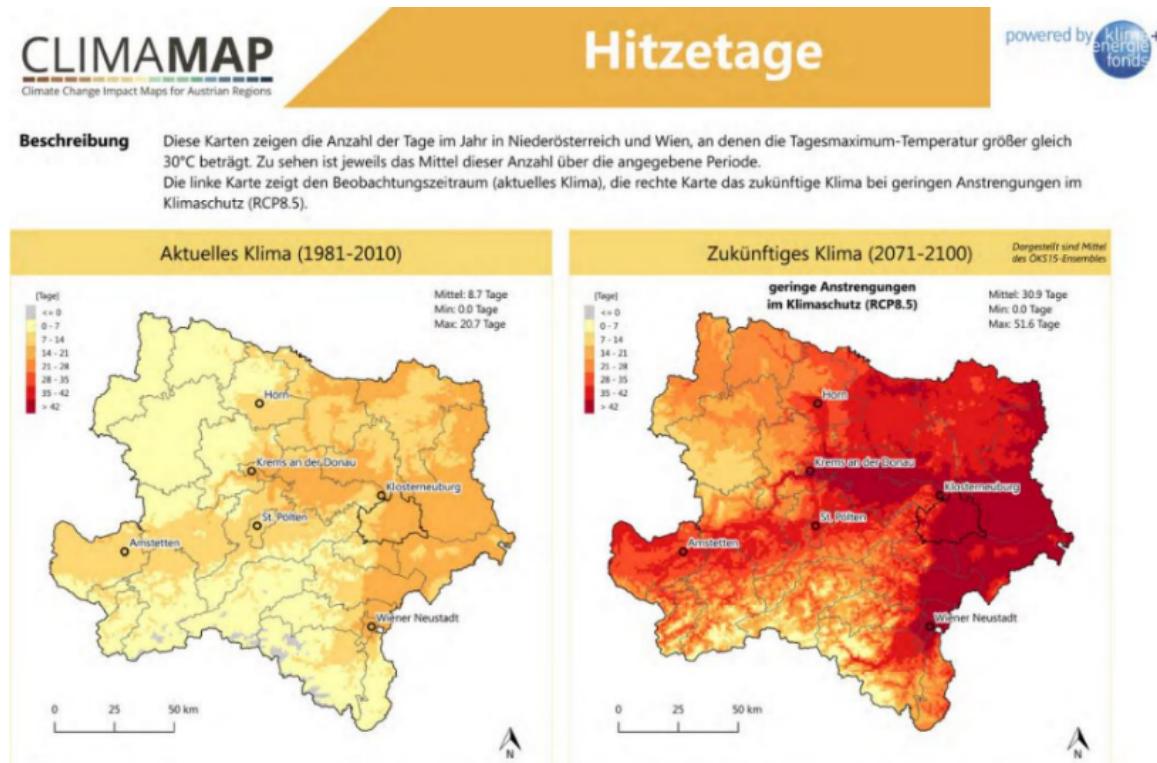
5 Maßnahmen speziell im urbanen Raum

Aufgrund der starken Versiegelung und des hohen Anteils an Beton sind Städte den Auswirkungen des Klimawandels stärker ausgesetzt als ländliche Regionen.

- Sie heizen sich stärker auf, kühlen nachts schlechter ab und bieten oft unzureichende Versickerungs- und Abflussmöglichkeiten für Starkniederschläge.
- Städte speichern aufgrund der hohen Flächenversiegelung und der dichten Bebauung die Wärme auch über Nacht und heizen sich stärker auf als ihr Umland.
- Dies beeinträchtigt die nächtlichen Erholungsphasen und belastet Stadtbewohner wie auch Flora und Fauna in der Stadt.

Der natürliche Wasserkreislauf wird verändert. Neben den unmittelbaren spürbaren und sichtbaren Folgen des Klimawandels gibt es auch vermehrt gesundheitlichen Risiken vor allem im städtischen Raum. Dies zeigt sich durch die Tatsache, dass es mittlerweile es mehr Hitze- als Verkehrstote in Österreich pro Jahr gibt. Diese negativen Begleiterscheinungen werden in Zukunft noch stärker zunehmen, wenn man den prognostizierten Anstieg an Hitzetagen in der Zukunft berücksichtigt (sh. Grafik).

Abbildung 43 Anzahl der Tage in W und NÖ mit der Anzahl an Tagen n größer 30°C im Vergleich aktuelles und zukünftiges Klima



Wegen versiegelter Flächen und dicht bebauter Areale werden in Städten oftmals in der Nacht bis zu zehn Grad Celsius mehr gemessen, als im Umland. Deshalb seien in der modernen Stadtplanung auch „Frisch- und Kaltluftschneisen“ (z. B. entlang von Gewässern wie dem Wienfluss) zu berücksichtigen. Durch sogenannte Kaltluftströme gelangt beispielsweise in Wien in der Nacht kühlere Luft aus der Wienerwaldregion in die Stadt. Die Stadtplanung wird deswegen zukünftig vermehrt auf die kühlere Luft achten und ihren Weg laut Wiener Smart Klima City Strategie nicht weiter verbauen. Die zunehmende Hitze führt weiters zu weitreichender Trockenheit und Wasserknappheit. Um der übermäßigen Überhitzung in den Städten entgegenzuwirken sind Beschattung, Begrünung und die Entsiegelung von Flächen daher geeignete Maßnahmen um den Auswirkungen entgegenzuwirken.

In Bezug auf den Abfluss und Entwicklung innerörtlicher Gewässer sind solche Gewässer speziellen Rahmenbedingungen ausgesetzt:

- verringerte Abflusskapazität
- fehlende Überflutungsmöglichkeit in der Aue durch Verbauung

- Engstellen im Gewässerbett (z. B. Brücken)
- technischen Verbau mit stark veränderter Gewässerstruktur
- fehlenden Uferbewuchs und Beschattung (das führt zu stärkerer Erwärmung des Gewässers und zu Verkrautung)
- hydraulische Belastungen durch Niederschlags- und Mischwassereinleitungen
- verstärkten Hitzestress durch die überproportionale Aufheizung des urbanen Raums.

Vegetation spielt im Abflussraum und auf den angrenzenden Flächen eines urbanen Gewässers eine multifunktionale Rolle. Ufervegetation im Abflussprofil hat einen Einfluss auf das Wassertemperaturregime sowie auf die aquatische Fauna. Neben dem Abflussbereich spielt die Vegetation in den angrenzenden Naherholungsflächen eine wichtige Rolle. Auf diesen Flächen ist eine Beschattungswirkung zur Reduktion von Urban Heat Island Effekten von besonderem Interesse. Diese speziellen Bedingungen sind in den jeweiligen Planungen entsprechend zu berücksichtigen. Im urbanen Raum kommt es aber auch zu einer verstärkten Nutzung von Gewässern als Naherholungsgebiete. Dadurch wird es in der Zukunft vermehrt zu Nutzungskonflikten zwischen den einzelnen Funktionen und deren Nutzern /Nutznießern kommen.

Um diese Konflikte bereits im Vorfeld zu minimieren, können folgende Maßnahmen empfohlen werden:

- Regelung und Lenkung von Freizeitnutzung: Die Regulierung von Freizeitaktivitäten (z. B. Bootsverkehr, Angeln) kann helfen, die natürlichen Lebensräume zu schützen und die Wasserqualität zu erhalten
- Müllbeseitigung: Regelmäßige Reinigungsaktionen zur Beseitigung von Müll und Abfall entlang von Gewässern sind wichtig, um die Verschmutzung zu reduzieren
- Aufklärung der Öffentlichkeit über den Schutz von Gewässern und die Bedeutung von Wasserressourcen ist essenziell.

Eine der wesentlichen Säulen des Wasserrückhaltes im besiedelten und städtischen Raum ist die Entsiegelung. Versiegelte Flächen – etwa Asphalt, Beton oder Pflaster – verhindern, dass Regenwasser im Boden versickern kann. In Städten sind oft mehr als 50 % der Gesamtfläche versiegelt. Die Vorteile der Entsiegelung sind die Wiederherstellung natürlicher Bodenfunktionen (Speicherung, Filtration), Verbesserung des Stadtklimas durch Verdunstung und Begrünung und die Reduktion von Hitzestress und Oberflächentemperaturen. Klassische Beispiele für Entsiegelungsmaßnahmen sind die Umwandlung von Parkplätzen in Grünflächen, Rückbau unnötiger Straßen oder Wege und

der Einsatz wasserdurchlässiger Beläge (z. B. Rasengittersteine oder Schotterrasen). Versickerung ermöglicht die gezielte Ableitung von Niederschlagswasser in den Untergrund. Dies entlastet die Kanalisation und fördert die Grundwasserneubildung.

Die häufigsten Versickerungssysteme sind:

- Mulden: begrünte Vertiefungen, in denen Wasser gesammelt und versickert wird
- Rigolen: unterirdische Speicher, meist mit Kies oder Schotter, die Wasser aufnehmen und nach und nach abgeben
- Versickerungsschächte: punktuelle Einleitungen direkt in tiefere Bodenschichten.
- Pflanzinseln (z. B. in Städten): kombinieren Begrünung mit Versickerung (z. B. für die Einleitung von Dachwässern)

Entsiegelung und Versickerung sind besonders wirksam in Kombination mit:

- Dachbegrünungen (zur Rückhaltung und Verdunstung),
- Regenwassernutzung (z. B. für Garten oder WC-Spülung),
- Retentionsräumen (z. B. Teiche, Gräben, Auen).

Trotz ihrer Vorteile stoßen Maßnahmen zum Wasserrückhalt oft auf Hürden vor allem der fehlende Raum im dicht bebauten Gebieten und relativ hohe Investitionskosten für nachträgliche Umbauten. In diesem Zusammenhang ist, gerade im urbanen Raum, auf die Schwammstadtmethode zu verweisen.

Die Schwammstadtmethode ist ein Planungs- und Gestaltungsansatz für dicht verbaute Orte. Entsiegelte Flächen funktionieren wortwörtlich wie ein Schwamm: Niederschlagswasser wird gesammelt, gespeichert, absorbiert und genutzt. Der natürliche Wasserkreislauf wird nachgeahmt, Auswirkungen von Starkregenereignissen und Überschwemmungen werden reduziert. Das Kanalsystem wird entlastet und gleichzeitig stehen für begrünte Flächen und Bäume mehr Wasser zur Verfügung.

Abbildung 44 Schwammstadtprinzip Stadtbäume © Energie- und Umweltagentur des Landes NÖ (links), Erste Parkanlage mit Schwammstadtprinzip – Wien 18., Parkanlage Johann-Nepomuk-Vogl-Platz (rechts)



Das Schwammstadt-Prinzip setzt dabei wichtige Umweltziele um:

- Regenwasserrückhalt, Verdunstung und Versickerung als Beitrag zur Annäherung an natürliche und lokale Wasserkreisläufe
- Verdunstung und Beschattung zur positiven Beeinflussung des städtischen Mikroklimas
- Die Entwicklung gesunder und leistungsfähiger Stadtbäume
- CO₂-Bindung in großen Bäumen
- Förderung der Biodiversität: Bäume als Lebensraum für Pflanzen und Tiere
- Verbessertes Wohlbefinden durch sichtbares und wirksames Stadtgrün
- Ressourcenschonung durch standortangepasste Bauweisen und Nutzung regionaler Materialien

In den letzten Jahren wurde bereits einige Maßnahmen in Anlehnung an das Schwammstadtprinzip in Wien umgesetzt:

- 18. Bezirk, Parkanlage Johann-Nepomuk-Vogl-Platz und Umfeld: Das Schwammstadt-Prinzip wurde hier zum 1. Mal in einer Parkanlage umgesetzt.
- 7. Bezirk, Zollergasse: Dieses innerstädtische Projekt wurde Ende November 2021 fertiggestellt.
- 22. Bezirk, Quartier am Seebogen-Aspern Seestadt: Das Schwammstadt-Prinzip wurde hier erstmals in ganzen Straßenzügen umgesetzt.

Abbildung 45 Extensiv gepflegte Retentionsmulde in Mistelbach



Abbildung 46 Versickerungsmulde und Naherholung – Naturspielplatz



Abbildung 47 Versickerungsmulde und Stillgewässer – Biotop



Best Practice Beispiel Liesing EnCAM

In der österreichischen Strategie zur Anpassung an den Klimawandel (Austrian Strategy for Climate Change Adaption) 2018 zeigt sich, dass der Klimawandel in Österreich im globalen Mittel rascher voranschreitet und sich z. B. durch eine Zunahme von Hitzewellen und lokalen Niederschlagsintensitäten auswirkt. In Zukunft ergeben sich neben der Herausforderung Hochwasserschutz auch ein steigender Stress für Flora und Fauna, ein vermehrtes Aufkommen invasiver Arten sowie ein steigender Nutzungsdruck auf das Ökosystem infolge vermehrter Nutzung des Gewässers als Naherholungsgebiet. In weiterer Folge bedeutet dies, vor allem für urbane Gewässer, einen erhöhten Pflege- und Instandhaltungsbedarf für das Gewässer. Es muss aktiv gegengesteuert werden, um ein urbanes Gewässersystem, wie z. B. den Liesingbach, als Ökosystem und Naherholungsraum nachhaltig weiterzuentwickeln. Die MA 45 – Wiener Gewässer ist im Rahmen des LIFE Climate Change Adaptation Programmes Fördernehmer von dem erfolgreich eingereichten LIFE Projekt EnCAM - Adapting large-scale environmental projects to climate change while supporting climate objectives (Laufzeit: 1.7.2020 bis 30.6.2026, Budget: circa 2,8 Millionen Euro, zu 50 Prozent

von der EU gefördert, EU-Programm: LIFE 2019 Climate Change Adaptation,
Durchführung: Stadt Wien, Abteilung Wiener Gewässer (MA 45))

Mit dem Projekt EnCam wird gezeigt, wie künftig bei großen Umweltprojekten sich durch den Klimawandel verändernde Anforderungen berücksichtigt und daraus abgeleitete Anpassungsmaßnahmen integriert werden können. Mit einer in einem Umweltprojekt gezielten Verbesserung des Mikroklimas werden neben der Verbesserung der gewässerökologischen Funktionen auch die Folgewirkungen des Klimawandels gemindert und es wird eine nachhaltige Naherholungsnutzung eines urbanen Gewässerraumes sichergestellt. Die Maßnahmen reichen von der Herstellung einer intensiven Beschattung gemäß definierter, mit dem Hochwasserschutz abgestimmten und am ökologischen Leitbild angepassten Vegetationsstrukturen am Liesingbach (Vegetationszielzustände (VZZ)), einer Errichtung von Erholungsinseln, einer Reduktion des CO₂ Ausstoßes von 50 % durch klimaorientierte Vergabekriterien, einer Reduktion des Neophytenbestandes, einer Reduktion des Bewässerungsaufwandes bei Baumneupflanzungen, einer Sicherung der Transferierbarkeit für andere Umweltprojekte in Österreich und einer Verbreitung durch Leitfäden und Workshops zum Thema Umsetzung von klimaorientierten Umweltprojekten.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Schematische Darstellung der Auswirkungen von steigenden Temperaturen.	12
Abbildung 2	Schotterbank und Flachwasserbereich für Beispiel Schlüsselhabitat Oberlauf (Bregenzerach) (links), Beispiel für Strukturen v.a. Holz in Tieflandflüssen (Thaya) (rechts).....	16
Abbildung 3	Abschnitt an der oberen Thaya mit gewässertypischen Strukturelementen und guter Beschattung (links). Strukturarmer Abschnitt an der oberen Thaya ohne Uferbewuchs (rechts).....	21
Abbildung 4	Bepflanzung Weidenbach zw. Gaweinsthal und Bad Pirawarth (links). Pulkau durchgehende Beschattung durch Gehölze auf beiden Uferseiten (rechts)	22
Abbildung 5	Laabenbach – Tiefstellen und direkte Beschattung durch Totholz/überhängende Bäume	23
Abbildung 6	Kompaktes MW-Bett und Beschattung (links). Überbreites MW-Bett, flach überströmt ohne höheren Uferbewuchs, z.T. Verwendung dunkler Wasserbausteine (rechts).....	24
Abbildung 7	Reduktion Wassertemperatur im revitalisierten Gewässerabschnitt und Aufwärmung im regulierten Abschnitt.....	24
Abbildung 8	Liesing flussab Mündung trockene Liesing vor (links) und kurz nach Bau (rechts).....	25
Abbildung 9	Liesing – Hart verbauter Abschnitt mit Sohlpflasterung. Revitalisierter Bereich (2005) am Liesingbach.....	26
Abbildung 10	Hagenbach– gepflasterte Sohle vor Umbau 2016 (links). Hagenbach natürliche Gewässersohle 2025 nach ökol. Begleitplanung im Zuge HWS-Ausbau (rechts).....	27
Abbildung 11	Strukturierung Liesing flussab reiche Liesing (links). Natürliche Kolk-Furt-Abfolgen an der Mank (NÖ) (rechts)	28
Abbildung 12	Entnahme von einzelnen Stämmen um die Hochwasserabfuhr zu erhalten. Gleichzeitig bleibt ein durchgehender Ufergehölzsaum erhalten	29
Abbildung 13	Das Belassen eines krautigen Ufersaums mit niedrigen Weiden erfüllt minimale ökologische Anforderungen (links). Bei beengten Raumangebot kann durch eine Bepflanzung von hohen Bäumen an der Böschungsoberkante eine verbesserte Beschattung erreicht werden, um eine zu starke Aufwärmung des Gewässers zu vermeiden (rechts)	30
Abbildung 14	Ursachen von Niedrigwasser und deren Auswirkungen auf die Elemente des Wasserhaushalts Oberflächengewässer, Boden- und Grundwasser	32

Abbildung 15 Wurzelstöcke wirken in kleinen Fließgewässern (Liesing, Wien) als Strömungslenker (Buhnen) (links). Ein mittiger Wurzelstock als Strömungsteiler hat die Ausbildung einer Insel zu Folge (Liesing, Wien) (rechts).....	34
Abbildung 16 Auch Bögen in der Linienführung bewirken durch Ausbildung von Rinnern am Außenufer eine Niederwasserrinne (Foto Mank, NÖ).	34
Abbildung 17 Hohe Steinbuhne mit Ufererosion gegenüber und resultierendem tiefen Kolk (Mank, NÖ). Struktureicher Abschnitt am Laabenbach nach umgesetzter Renaturierung (NÖ)	35
Abbildung 18 Buhne mit Kolk am Buhnenkopf und Kiesinsel/Furt flussab (Melk, NÖ).....	35
Abbildung 19 Überbreites MW-Bett durch sohlgleiche Aufweitung eines gewunden-mäandrierenden Gewässers. Aufgrund der geringen Gewässerdynamik entsteht ein kaum durchflossener, ökologisch unattraktiver Rückstaubereich, der sukzessive verlandet. Massive Schlammablagerungen und Aufwärmung!.....	36
Abbildung 20 Foto Liesing flussab Mündung Dürre Liesing – Tiefstellen und direkte Beschattung durch Totholz, Ufergehölze 2 Jahre nach Bau noch relativ klein	37
Abbildung 21 Tiefer Kolk am Außenufer (links). Tiefer, durch Totholz beschatteter Kolk im Bereich eines „Strömungshindernisses“ (Mank, NÖ) (rechts)	38
Abbildung 22 Fischschwarm in Rinner am Außenufer bei Niederwasser (Weidenbach, NÖ) (links). Kolke am Buhnenkopf stellen auch wichtige „Erholungsräume“ für Menschen dar (Melk St. Leonhard am Forst) (rechts)	38
Abbildung 23 Foto Michelbach im Bereich Roitnerwiese	39
Abbildung 24 Nicht fischpassierbares Querbauwerk an der Pulkau.....	41
Abbildung 25 Rampe an der Großen Tulln	42
Abbildung 26 Unterstromig angebundener Altarm ohne durchgehende Niederwasserrinne – Fische können bei andauernder Niederwasserphase nicht abwandern....	44
Abbildung 27 Ausführungsprojekt Fischrettungspool Leitha (links), Fischrettungspool Leitha nach Fertigstellung 2025 (rechts)	47
Abbildung 28 Beispiel Judenau, Große Tulln.....	48
Abbildung 29 Vegetationstypen LIFE EnCAM.....	49
Abbildung 30 VZZ- LIFE EnCAM	50

Abbildung 31 HW-Schutz Hagenbach (NÖ) im Ortsgebiet: Sohlberollung (D = 30-40 cm) im Untergrund, darüber kiesiges Material für naturnahe Flusssohle. Aufgrund des kompakten HW-Bettes und der damit viel größeren Schleppkraft muss das Sohlsubstrat im Kern für die Stabilität der Furten gröber als im natürlichen Zustand sein	52
Abbildung 32 Beispiel für integrativen HW-Schutz: Bepflanzung oberhalb HW100-Spiegel, Sohlberollung im Untergrund, darüber kiesiges Material für naturnahe Flusssohle	53
Abbildung 33 Aufweitung des HW Profils und Initiierung einer pendelnden MW-Linienführung, mit Schotterbänken an den Innenufern und strukturreichen Tiefenrinnen an den Außenufern (südseitige Ufervegetation für Beschattung)(links), Totholzagglomerationen sind sowohl Lebensraum an sich als auch wesentliche Strukturbildner (Ybbs, NÖ) (rechts)	55
Abbildung 34 LIFE Traisen – nach Umsetzung.....	57
Abbildung 35 Begrünter Fließweg.....	64
Abbildung 36 Naherholung Liesing Wien 2 Jahre nach Bauumsetzung – wenn die Bäume höher sind, kann der technische Sonnenschutz entfallen	69
Abbildung 37 Naturnahe Fließgewässer sind „interessante“ Spielplätze.....	70
Abbildung 38 Große Kanada-Goldrute (links). Drüsen- Springkraut (rechts)	72
Abbildung 39 Abtrag Staudenknöterich aus Böschung und fachgerechte Entsorgung (links). Entfernung Götterbaum im Rahmen Errichtung FWH Greifenstein (rechts)	74
Abbildung 40 Negativbeispiel für Neophytenmanagement und Pflegekonzept – keine Beschattung, Monokultur an Jap. Staudenknöterich.....	76
Abbildung 41 Kriebssperre	77
Abbildung 42 Direktsaat in die Begrünung	83
Abbildung 43 Anzahl der Tage in W und NÖ mit der Anzahl an Tagen n größer 30 °C im Vergleich aktuelles und zukünftiges Klima	85
Abbildung 44 Schwammstadtprinzip Stadtbäume © Energie- und Umweltagentur des Landes NÖ (links), Erste Parkanlage mit Schwammstadtprinzip – Wien 18., Parkanlage Johann-Nepomuk-Vogl-Platz (rechts).....	88
Abbildung 45 Extensiv gepflegte Retentionsmulde in Mistelbach	89
Abbildung 46 Versickerungsmulde und Naherholung – Naturspielplatz.....	89
Abbildung 47 Versickerungsmulde und Stillgewässer – Biotop.....	90

Literaturverzeichnis

APCC (2014). Österreichischer Sachstandsbericht Klimawandel 2014 (AAR14). Austrian Panel on Climate Change (APCC), Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Wien, Österreich, 1096 Seiten. ISBN 978-3-7001-7699-2

AQUAPLUS (2021). Fischschutz Hochrhein – Massnahmen bei Hitzeereignissen. Fachbericht zum best-practice Handbuch. Pilotprojekt F.13 im Rahmen des Pilotprogrammes zur Anpassung an den Klimawandel. 56 S. und Anhang A–E.

Bach M. et al. (1994): Kartierung der potentiellen Filterfunktion von Uferstreifen, 2. Teil: Kartierung eines Flusseinzugsgebietes im Mittelgebirgsraum, Zeitschrift für Kulturtechnik und Landentwicklung 35, 148-154.

BAFU (2020). Revitalisierung von Gewässern – Grundlagen und Vollzugshilfe. Bundesamt für Umwelt, Bern.

Bundesamt für Wasserwirtschaft Institut für Gewässerökologie und Fischereiwirtschaft (2018): Auswirkungen der Klimaveränderung auf die Fischzönosen oberösterreichischer Fließgewässer Studie im Auftrag Amt der Oö. Landesregierung Direktion Umwelt und Wasserwirtschaft Abteilung Wasserwirtschaft / Wasserwirtschaftliche Planung.

Blaschke, A. P., & Zessner, M. (2019). Water quality impacts of climate extremes in Central Europe. *Hydrobiologia*, 829(1), 15–32.

Blöschl et al. (2017). Klimawandel in der Wasserwirtschaft. Follow up zur ZAMG/TU-Wien Studie (2011) Anpassungsstrategien an den Klimawandel für Österreichs Wasserwirtschaft im Auftrag von Bund und Ländern. Hrsg: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. Wien.

Blöschl, G., Hall, J., Viglione, A. et al. (2019). Changing climate both increases and decreases European river floods. *Nature* 573, 108–111. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1495-6>

Blöschl, G., Bertola, M., Lun, D., Viglione, A., Kiss, A., & Komma, J. (2023). Langfristige Änderungen der Hochwasserwahrscheinlichkeiten in Europa. *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung*, 67(5), 289–300. https://doi.org/10.5675/HyWa_2023.5_6

Borgwardt F., Pintar K., Popp S. (2023). Das thermale Regime der Pielach: Sommerliche Wassertemperaturen, Fischökologie und der Einfluss anthropogener Eingriffe. Wien.

Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus (BMRLT) (Herausgeber) (2020). Gewässerpflegekonzepte – Leitfaden.

Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus (BMLRT) (2022). Klimafitte Wasserwirtschaft – Anpassungsstrategien zur Erhaltung der Wasserqualität. Wien.

Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus (BMLRT) (2022). Klimafitte Wasserwirtschaft – Anpassungsstrategien zur Reduktion von Nährstoff- und Schadstoffeinträgen. Wien.

Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus (BMNT) (2019). Leitfaden zur Erhebung der biologischen Qualitätselemente, Teil A1 – Fische. Wien.

Coutant, C. C. (1999). Perspectives on temperature in the Pacific Northwest's fresh waters (ORNL/TM-1999/44). Oak Ridge National Laboratory. <https://doi.org/10.2172/9042>

EAWAG (2020). Oxygen dynamics and self-purification in European rivers under climate stress. Dübendorf.

Eberstaller, J., Köck, J., Haunschmid, R., Jagsch, A., Ratschan, C., Zauner, G. (2009). Leitfaden zur Bewertung erheblich veränderter Gewässer – Biologische Definition des guten ökologischen Potentials.

EEA (2020). Climate change, water and chemical pollution in Europe. European Environment Agency, Copenhagen.

Frede H.-G. et al. (1994): Nährstoff- und Sedimentretention in Uferstreifen des Mittelgebirgsraumes, Zeitschrift für Kulturtechnik und Landentwicklung 35, 165-173.

Fry, F. E. J. (1967). Responses of vertebrate poikilotherms to temperature. In W. S. Hoar & D. J. Randall (Eds.), Fish physiology (Vol. VI, pp. 1-38). Academic Press.

Gaudard A., Weber C., Alexander T. J., Hunziker S., Schmid M. (2018). Impacts of using lakes and rivers for extraction and disposal of heat. <https://doi.org/10.1002/wat2.1295>

Amt der NÖ Landesregierung. (2010). Naturnahe Oberflächenentwässerung für Siedlungsgebiete -Leitfaden für die Planung.

IPCC (2014). Klimaänderung 2014: Synthesebericht. Beitrag der Arbeitsgruppen I, II und III zum Fünften Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (IPCC) [Hauptautoren, R.K. Pachauri und L.A. Meyer (Hrsg.)]. IPCC, Genf, Schweiz. Deutsche Übersetzung durch Deutsche IPCC-Koordinierungsstelle, Bonn, 2016.

IPCC. (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896>

IPCC (2022). Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>

Immerzeel, W. W., Lutz, A. F., & Shea, J. M. (2020). Importance and vulnerability of the world's water towers. Nature, 577(7790), 364–369. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1822-y>

Jane, S. F. et al. (2021). Widespread deoxygenation of temperate lakes. Nature, 594, 66–70.

Jeppesen, E., Meerhoff, M., Holmgren, K. et al. (2010). Impacts of climate warming on lake fish community structure and potential effects on ecosystem function. Hydrobiologia 646, 73–90. <https://doi.org/10.1007/s10750-010-0171-5>

Jungwirth, M. & B. Pelikan (1989). Zur Problematik von Fischaufstiegshilfen. Österreichische Wasserwirtschaft 41(3/4), 80–89.

Kalny G., Laaha G., Melcher A., Trimmel H., Weihs P. und H. P. Rauch (2017). The influence of riparian vegetation shading on water temperature during low flow conditions in a medium sized river; Knowl. Manag. Aquat. Ecosyst. Number 418. <https://doi.org/10.1051/kmae/2016037>

Klik A. (2003): Einfluss unterschiedlicher Bodenbearbeitung auf Oberflächenabfluss, Bodenabtrag sowie auf Nährstoff- und Pestizidausträge, Österr. Wasser- und Abfallwirtschaft Mai/Juni 2003.

Kundzewicz, Z. W., Mata, L. J., Arnell, N. W., et al. (2008). The implications of projected climate change for freshwater resources and their management. *Hydrological Sciences Journal*, 53(1), 3–10.

Lehtoranta, J., Ekholm, P., & Rankinen, K. (2021). Nutrient dynamics under changing hydrological regimes: climate effects on water quality. *Science of the Total Environment*, 755, 142584.

Lessard, J. L. & Hayes, D. B. (2003). Effects of elevated water temperature on fish and macroinvertebrate communities below small dams. *River Research and Applications*, 19(7), 721–732. DOI: 10.1002/rra.713

Marcos-Lopez M., P. Gale, B. C. Oidtmann and E. J. Peeler (2010). Assessing the Impact of Climate Change on Disease Emergence in Freshwater Fish in the United Kingdom. Doi: 10.1111/j.1865-1682.2010.01150.x

Moosmann, L., Schmid, M. & Wüest, A. (2005). Einfluss der Beschattung auf das Temperaturregime der Orbe. Eawag, Kastanienbaum, 27 S.

Niederösterreichische Landesregierung (November 2003): Grundwasserschutz und Ackerbau – Ergebnisse von 10 Jahren Sickerwasseruntersuchung im Tullnerfeld.

Niedrist, G.H. (2023). Substantial warming of Central European mountain rivers under climate change. *Reg Environ Change* 23, 43. <https://doi.org/10.1007/s10113-023-02037-y>

O'Reilly, C. M. et al. (2015). Rapid and highly variable warming of lake surface waters around the globe. *Nature*, 535, 375–380.

Paerl, H. W. & Paul, V. J. (2012). Climate change: Links to global expansion of harmful cyanobacteria. *Science of the Total Environment*, 470–471, 123–132.

Peter, A. et al. (2017). Hydromorphologische Maßnahmen zur Stabilisierung des ökologischen Zustands von Fließgewässern. Eawag, Dübendorf

Pletterbauer, F., Pinter, K., Unfer, G. (2015). Fischökologische Studie zur Pielach unter besonderer Berücksichtigung der Wassertemperatur. Projektbericht. Wien.

Rindler R., Kammerlander J., Holzapfel P., Moser M., Hauer C. und H. Habersack (2016). Ökologisch verträgliche Sedimentbewirtschaftung am Strobler Weißenbach. Wildbach- und Lawinenverbau. Feststofftransport und Sedimentmanagement. ISBN: 978-3-9504159-1-9 80. Jahrgang, Heft Nr. 177.

Umweltbundesamt (2021). Klimawandel und Wasserqualität – Auswirkungen auf die stoffliche Belastung österreichischer Fließgewässer. Wien.

van Vliet, M. T. H., Wiberg, D., Leduc, S., & Riahi, K. (2013). Power-generation system vulnerability and adaptation to changes in climate and water resources. *Nature Climate Change*, 6(4), 375–380. <https://doi.org/10.1038/nclimate2903>

van Vliet, M. T. H., Wiberg, D., Leduc, S. & Riahi, K. (2016). Power-generation system vulnerability and adaptation to changes in climate and water resources. *Nature Climate Change*, 6, 375-380. DOI: 10.1038/nclimate2903.

Wild R., Nagel C. & J. Geist (2023). Climate change effects on hatching success and embryonic development of fish: Assessing multiple stressor responses in a large-scale mesocosm study. *Science of The Total Environment*, Volume 893, ISSN 0048-9697, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164834>.

Woolway, R. I. et al. (2020). Warming of lakes and rivers in response to climate change. *Nature Climate Change*, 10, 111–117.

Zhi, W., Klingler, C., Liu, J. et al. (2023). Widespread deoxygenation in warming rivers. *Nat. Clim. Chang.* 13, 1105–1113. <https://doi.org/10.1038/s41558-023-01793-3>

