Konzept

Version 1.0 | 21.06.2023

Schwammland

Naturbasierte Lösungen für Klimaschutz, Klimaanpassung, Wasserressourcenmanagement und Biodiversitätsförderung in der Landschaft

Emch+Berger AG Bern
bern@emchberger.ch | www.emchberger.ch

Gesamtlösungen sind unser Plus.

Impressum

Auftragsnummer	ZD.RES.11.1.
Auftraggeber	Ressort Nachhaltigkeit der Emch+Berger Gruppe
Datum	21.06.2023
Version	1.0
Vorversionen	-
Autor(en)	Niels Werdenberg (niels.werdenberg@emchberger.ch), Andreas Widmer (andreas.widmer@emchberger.ch), Patrick Honegger (patrick.honegger@emchberger.ch)
Titelbild	Auen an der Maltsch bei Leopoldschlag, Österreich. Foto von Alexander Schneider
Freigabe	Andreas Widmer (andreas.widmer@emchberger.ch)
Verteiler	Homepage Emch+Berger AG Bern/Downloads
Datei	https://emchberger.sharepoint.com/sites/FachgruppeNachhaltigkeit/Freigegebene Dokumente/General/4_PLAN/Schwammland/230621_Schwammland-Konzept.docx
Seitenanzahl	40
Copyright	© Emch+Berger AG Bern

Inhalt

1 Zusammenfassung 2
1.1 Management summary 2
1.2 Kurzfassung 2

2 Gegenwärtige und künftige Herausforderungen 4
2.1 Prognostizierte Zunahme von Wetterextremen 4
2.2 Prognostizierte Abnahme Niederschlag, Wandel Niederschlagsregime 5
2.3 Biodiversitätsverluste und Reduktion Ökosystemleistungen 5
2.3.1 Biodiversitätsverluste und Abnahme Resilienz 5
2.3.2 Überlebenswichtige Ökosystemleistungen 6
2.4 Wirtschaftliche Risiken von Klima-/Wetterextremen 6
2.4.1 Unwetterschäden an Schweizer Siedlungen und Infrastruktur 7
2.4.2 Ernteausfälle und Bodenerosion in der Schweizer Landwirtschaft 7
2.4.3 Schäden im Schweizer Wald 7
2.5 Akzentuierung Flut-Dürre Zyklus und Abnahme Wasserspeicherung 8
2.6 Wegfall Pufferung Wasserhaushalt durch Eis/Schnee 9
2.7 Wasserversorgung unter Druck 9

3 Schwammland – Klimaschutz, Resilienz und Biodiversität für die Landschaft 10
3.1 Grosse Bedeutung Landschaft für Klimaschutz, Klimaanpassung und Biodiversität 10
3.2 Win-Win-Win: gegen Dürre und Hochwasser, für Artenvielfalt 10
3.3 Massnahmenfächer Schwammland 15
3.3.1 Aktuell mögliche Finanzierung Schwammland-Massnahmen 17
3.3.2 Gliederung Schwammland-Massnahmen 17
3.3.3 Beispiele von Schwammland-Massnahmen 17

4 Synergien Schwammland mit laufenden Programmen 23
4.1 Warum braucht es ein Bottom-Up Vorgehen? 23
4.2 Grobe Auslegeordnung der Strategie Klimaanpassung des Bundes 24
4.3 Privatwirtschaftliche Programme im Sektor Landwirtschaft 25

5 Schweizer Schwammland-Pilotprojekte 27
5.1 Pilotprojekte im Sektor Landwirtschaft 27
5.2 Pilotprojekte im Sektor Gewässer 28
5.3 Pilotprojekte im Sektor Wald 30

6 Ausblick 31
6.1 Ausblick Sektor Landwirtschaft 31
6.2 Ausblick Sektoren Gewässer und Wald 31
6.3 Ausblick Wasserversorgung 32
6.4 Mögliches Vorgehen einer strategischen Schwammland-Planung 32
6.5 Potenzial einer Zertifizierung von Schwammland-Massnahmen 33

7 Fazit 33

8 Literaturverzeichnis 35

1 Zusammenfassung

1.1 Management summary

Der Klimawandel stellt insbesondere das Wasserressourcenmanagement in der Schweiz vor immer grössere Herausforderungen. Einerseits schwinden die natürlichen Speicher und Puffer in Form von Schnee und Eis, andererseits erschwert der zunehmende Trend aus Trockenphasen und Starkniederschlägen die regelmässige, gemässigte Bewässerung der Landschaft und bedroht dabei sowohl Natur wie auch Gesellschaft durch Dürren, Ernteausfälle, Flutkatastrophen und Waldbrände.

Künftig müssen wir Niederschläge möglichst in der Landschaft halten, Abflüsse stark verzögern und das Wasser möglichst vor Ort (insbesondere im Boden) speichern. Dadurch gelingt es Trockenphasen optimal zu überdauern, Starkniederschläge zu puffern, die wertvolle Ressource Boden zu schonen und über vegetationsbasierte Rückkopplungen das lokale und regionale Klima positiv zu beeinflussen. Die notwendigen Flächen finden wir v.a. in Agrar-, Wald- und Gewässerökosystemen.

Als dringend notwendiges Gegenstück zur Schwammstadt zeigt das Schwammland-Konzept auf, wie die Landschaft mit naturbasierten Massnahmen auf kommende Extremereignisse vorbereitet, der Wasserhaushalt gepuffert, das Klima gekühlt und zeitgleich die Biodiversität gestärkt werden kann. Die dazu erforderlichen Ökosystemleistungen sind effizient und kostengünstig.

Das Herzstück des Konzepts bildet der Massnahmenfächer Schwammland, welcher derzeit rund 80 mögliche Einzelmassnahmen für Wald, Kulturland und Gewässernetz umfasst. Der Massnahmenfächer kann insbesondere Gemeinden und lokalen Akteuren wie Landwirt:innen und Waldbesitzer:innen dienen, die ihre Situation auf ihren Flächen verbessern wollen. Auf Basis des Fächers kann eine gemeinsame Evaluation vor Ort aufzeigen, wo die Potenziale und Handlungsoptionen für naturbasierte Lösungen mit kurz- mittel- und langfristigen Zeithorizonten liegen, und wie sich diese anhand der örtlichen Rahmenbedingungen konkretisieren lassen (Analyse von Bedarf, Akteuren und Finanzierungsmöglichkeiten). So erhalten Grundeigentümer und Entscheidungsträger umsetzbare Strategien und Massnahmen für einzelne Flächen oder auch für grössere Gebiete. Der Massnahmen-Fächer steht auf Anfrage für konkrete Planungen zur Verfügung.

Jede einzelne Schwammland-Massnahmen hilft, besser gegen die erwarteten Veränderungen durch den Klimawandel gerüstet zu sein und den Rückgang der Artenvielfalt zu bremsen. Die beste Wirkung wird aber durch eine Integration von mehreren komplementären Massnahmen erreicht – am besten auf der Ebene von (Teil-)Einzugsgebieten.

Eine Investition in Schwammland-Lösungen bedeutet somit, die Zukunftsfähigkeit der Landschaft samt der in ihr liegenden Siedlungsgebiete zu stärken und die Lebensgrundlagen langfristig bestmöglich zu erhalten. Schwammland-Projekte sind bereits heute möglich und zahlen sich aus – je früher umso besser, und je länger desto mehr.

1.2 Kurzfassung

Klimawandel und Biodiversitätskrise wirken sich auch in der Schweiz auf Umwelt, Wirtschaft und Gesellschaft aus. Massnahmen zur Dämpfung dieser lebensfeindlichen Trends sowie zur Anpassung an deren Auswirkungen sind bereits heute nötig und werden in Zukunft immer wichtiger. Wie sich in den letzten Jahren abgezeichnet hat, führen insb. extreme Trockenheit und Starkniederschläge zu anhaltenden, flächendeckenden Problemen [1] [2]. Beide Szenarien drohen mit dem Fortschreiten des Klimawandels häufiger zu werden [3] [4] und verstärken sich zudem gegenseitig [5] [6] [7] [8] [9]. Wie in **Kap. 2** dargelegt, gefährdet dieser Teufelskreis unsere überlebens-

notwendigen, hauptsächlich in der Landschaft angesiedelten Ressourcen wie Böden, Trink- und Brauchwasser, Ökosystemleistungen und einen Grossteil der heimischen Biodiversität [10].

Die Biodiversität der Schweiz ist in einem schlechten Zustand und nimmt weiter ab, bereits ein Drittel aller Arten und die Hälfte der Lebensraumtypen der Schweiz sind gefährdet [11]. Als Lebensraum für die heimische Tier- und Pflanzenwelt ist die Landschaft von herausragender Bedeutung [12]. Klima- und Biodiversitätskrise hängen zusammen, verstärken sich ebenfalls gegenseitig und müssen darum auch gemeinsam angegangen werden [10].

Daher ist es von grosser strategischer Bedeutung, das Potenzial der Landschaft für natürlichen Klimaschutz (Kohlenstoffspeicherung, Pufferung lokales Klima) zu nutzen und ländliche Gebiete möglichst rasch auf die neuen Bedingungen vorzubereiten, da die dort ablaufenden Schlüsselprozesse einerseits die negativen Folgen des Klimawandels und des Artensterbens für ganze Regionen inklusive Ballungszentren massgebend bestimmen, und andererseits das grösste Potenzial für natürlichen Klimaschutz, Klimaanpassung und den Erhalt der Biodiversität und der Lebensgrundlagen aufweisen: durch Pufferung von Wasser- und Nährstoffhaushalt sowie Wärme- und Kohlenstoffbilanz, durch Sicherung der ökologischen Infrastruktur und durch Förderung der Widerstandsfähigkeit von Agrar-, Wald- und Gewässerökosystemen.

Das in **Kap. 3** erläuterte **Schwammland-Konzept** zeigt auf, wie die Landschaft auf die kommenden Extremereignisse vorbereitet, der lokale Wasserhaushalt mit ökosystembasierten Massnahmen gepuffert und zeitgleich die Biodiversität gestärkt werden kann. Die dazu erforderlichen Ökosystemleistungen sind immanent nachhaltig, effizient und kostengünstig. Sie müssen aber dringend strategisch in Wert gesetzt bzw. gefördert und in die Landnutzung integriert werden.

Das Herzstück des Konzepts bildet der **Massnahmenfächer Schwammland**, welcher mit rund 80 Einzelmassnahmen eine breite Palette möglicher Massnahmen für die Sektoren Wald, Kulturland und Gewässer enthält. Er steht auf Anfrage für konkrete Planungen zur Verfügung. In **Kap. 3.3.3** werden einige Massnahmenbeispiele aufgezeigt. Der Fächer dient insbesondere lokalen Akteuren, Betrieben und Gemeinden, die die Situation auf ihren Flächen verbessern wollen. Auf Basis des Fächers kann eine gemeinsame Evaluation vor Ort aufzeigen, wo die Potenziale und Handlungsoptionen für naturbasierte Lösungen mit kurz- mittel- und langfristigen Zeithorizonten liegen, und wie sich diese anhand der örtlichen Rahmenbedingungen konkretisieren lassen (Analyse von Bedarf, Akteuren und Finanzierungsmöglichkeiten). Je nach Bedingungen und Bereitschaft der Akteure können rasch realisierbare Massnahmen oder auch grössere, langfristige Anpassungen verfolgt werden.

In einem topographisch vielfältigen Land wie der Schweiz ist es selbstverständlich, dass es nicht *die eine Lösung* gibt, umso wichtiger ist eine breite Palette an umsetzbaren Massnahmen, die zielgerichtet auf die lokalen Verhältnisse angepasst werden können. Der Massnahmenfächer erlaubt die Selektion hinsichtlich spezifischer Bedingungen (Einzugsgebiets-Typen Mittelland, Jura und Voralpen). So erhalten Grundeigentümer und Entscheidungsträger möglichst passende Strategien und Massnahmen für einzelne Flächen oder auch für grössere Gebiete.

Bei allen Schwammland-Massnahmen bestehen starke Synergien mit laufenden Strategien und Programmen von Bund und Kantonen zur Klimaanpassung, Biodiversitätsförderung und zur Ressourcenschonung in der Landwirtschaft (**Kap. 4**). Schweizer Pilotprojekte zeigen auf, was bereits möglich ist (**Kap. 5)** und wohin die Reise demnächst gehen könnte (**Kap. 6**). Wesentlich ist, dass mit dem vorgestellten «Bottom-Up» Ansatz schon heute örtliche Schwammland-Potenziale erkannt und zeitnah realisiert werden können – diese Zeitersparnis schont die Substanz (Schlüsselressourcen Boden, Wasser, Artenvielfalt) und wird daher entscheidend sein für eine erfolgreiche Anpassung an die zunehmenden Klima-/Wetterextreme und die dringend nötige Abfederung von Biodiversitätsverlusten (**Kap. 0**).

2 Gegenwärtige und künftige Herausforderungen

2.1 Prognostizierte Zunahme von Wetterextremen

Viele Gebiete in der Schweiz sind bereits heute infolge des Klimawandels den zunehmenden Wetterextremen ausgesetzt, wobei sowohl Siedlungsgebiete wie auch ländliche Bereiche betroffen sind. Dabei zeigt sich, dass der Klimawandel nicht einfach auf einen neuen, leicht wärmeren Klimazustand zusteuert, sondern sich in erster Linie als unvorhersehbare Abfolge von Extremereignissen auswirkt, auf die wir nur ungenügend vorbereitet sind.

Abbildung 1: Zerstörtes Dorf nach dem Extremhochwasser 2021 im Deutschen Ahrtal. Bildquelle: Bund.

Abbildung 2: Der ausgetrocknete Sihlsee im Euthal im Mai 2011. Bildquelle: Luzerner Zeitung.

Diese Entwicklungen beinhalten **Sturm, Flut, Hagel, Starkregen, Dürre, Hitze, Frost**, **extreme Lawinensituationen und Waldbrände** [1] [2] [3] [4] sowie räumliche oder zeitliche **Kombinationen daraus (*compound extremes*), durch die sich die Schäden noch verstärken** [5] [6] [7] [8] [9]. Starkregenereignisse können zu grossen Flutschäden ausserhalb von Flutzonen führen; Dürre-, Niederschlags- und Frostextreme können zu empfindlichen Ernteausfällen beitragen und extreme Trockenheit für Ernten und Trinkwasserreserven überaus kritisch werden. Die Gletscherschmelze bedeutet langfristig den kompletten Wegfall regionaler Wasserreservoire. Zudem wird auch die Gefahr von Murgängen und Steinschlag mit dem schwächer werdenden Permafrost zunehmen. Das Gleiche gilt für Lawinengebiete, wenn Lawinenwälder unter dem Klimawandel leiden. Es ist zweifelhaft, ob und wie zuverlässig herkömmliche Schutzmassnahmen ausreichen, um Infrastrukturen vor solchen Extremereignissen zu schützen. Nach 2018, 2019 und 2020 war 2022 bereits das vierte europaweit extreme Trockenjahr in den letzten fünf Jahren. Es liegt eine starke Evidenz vor, dass die Dürren in Europa in den vergangenen Jahren aufgrund des Klimawandels wahrscheinlicher wurden [13].

2.2 Prognostizierte Abnahme Niederschlag, Wandel Niederschlagsregime

Von grosser, sektorübergreifender Bedeutung sind Veränderungen bei den Niederschlägen und im Wasserhaushalt. Die klimatischen [3] und hydrologischen [4] Szenarien für die Schweiz zeigen einschneidende Änderungen für die Aspekte Trockenheit, Starkniederschlag und Wasserressourcen:

«Mit fortschreitendem Klimawandel nimmt die Tendenz zur **Trockenheit** weiter zu. Die mittlere Niederschlagsmenge in den Sommermonaten wird langfristig abnehmen. Gemäss den Klimaszenarien CH-2018 ist im Sommer bis Mitte Jahrhundert mit einer Abnahme um 11% (Bandbreite der Niederschlagsszenarien –25 bis +9 %) gegenüber der Normperiode und bis Ende Jahrhundert mit einer Abnahme um 21 Prozent (–39 bis +2 %) zu rechnen. Gleichzeitig nimmt die Anzahl Regentage ab, während die Dauer der längsten niederschlagsfreien Periode zunimmt. Zusammen mit den steigenden Temperaturen und der stärkeren Verdunstung werden damit die Böden trockener.» [3]

«**Starkniederschläge** dürften in Zukunft häufiger und intensiver auftreten als heute. Dies betrifft alle Jahreszeiten, aber besonders den Winter. Im Sommer werden trotz abnehmender Regenmenge einzelne Niederschlagsereignisse stärker. Auch sehr seltene Niederschlagsereignisse, wie sie heute etwa einmal in 100 Jahren eintreten, verstärken sich: Bis Mitte Jahrhundert ist mit einer Zunahme der Intensität des hundertjährlichen Niederschlags um 10% bis 20%zu rechnen.» [3]

«Mit dem Klimawandel verändert sich der gesamte **Wasserhaushalt**, besonders aber die jahreszeitliche Verteilung der Wasserressourcen in Oberflächengewässern und im Grundwasser. Niedrigwasser wird häufiger und die Gewässer werden wärmer. Dies hat grosse Auswirkungen auf die Gewässerökologie, den Hochwasserschutz und die Wassernutzung (Bewässerung, Trinkwasser).» [4]

Hierbei ist anzumerken, dass **Klimaszenarien mit enormen Auswirkungen und geringer Wahrscheinlichkeit** bisher erst «gefährlich wenig» erforscht wurden: Während gängige Klimamodelle die wahrscheinlichsten Szenarien bzw. die Mittelwerte abbilden, können z.B. zeitliche Häufungen von sehr extremen Jahren in dichter Folge – weniger wahrscheinlich, aber durchaus beobachtbar [7] – oder erreichte Kipppunkte bei Ökosystemleistungen [14] in sehr kurzer Zeit zu sehr grossen Katastrophen führen, welche gemäss gängigen Modellen nicht oder erst viel später zu erwarten wären [15].

2.3 Biodiversitätsverluste und Reduktion Ökosystemleistungen

2.3.1 Biodiversitätsverluste und Abnahme Resilienz

Extreme Wetterereignisse und Trockenheit bedrohen auch den Fortbestand von Tier- und Pflanzenarten, zusätzlich zum bereits hohen Druck durch Habitatsverluste, und-fragmentierung und

Verschmutzung. Da Biodiversität eine wesentliche Grundlage der Funktionstüchtigkeit von Ökosystemen ist, können bereits Verluste einzelner Arten oder Artgruppen die **Widerstandsfähigkeit von Lebensräumen** gegen Störungen stark herabsetzen oder diese gar kollabieren lassen. Aus ökosystemarer Sicht schafft Biodiversität eine funktionelle Redundanz, eine Art Sicherheitsnetz für Selbstregulation nach Extremereignissen, was die Verwundbarkeit des Systems reduziert [16] [17].

Aktuellen Zahlen zufolge sind in der Schweiz 60% der Insektenarten gefährdet [18], 40% der Brutvögel in Gefahr [19] und mehr als 90% der Feuchtgebiete sind seit 1900 verschwunden [20]. Über ein Fünftel der vom Aussterben bedrohten oder in der Schweiz ausgestorbenen Arten sind an Gewässer gebunden, ein weiteres Fünftel an Ufer und Feuchtgebiete. 60% der Wasserpflanzen gelten als bedroht – das ist mit Abstand der höchste Wert aller ökologischen Pflanzengruppen. Und nur rund ein Viertel der Fische und Rundmäuler gelten als «nicht gefährdet», neun Arten sind ausgestorben, fünf Arten haben den Status «vom Aussterben bedroht» [11].

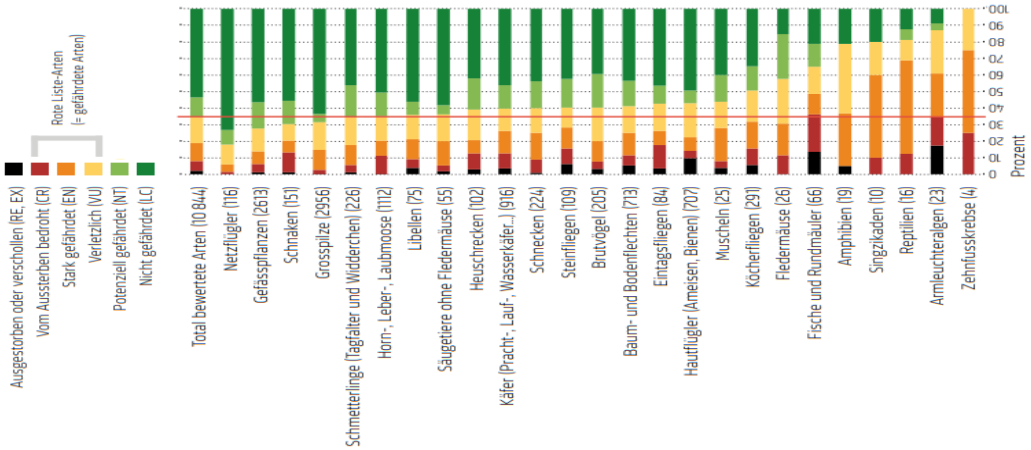

Abbildung 3: Anteil der gefährdeten und der ausgestorbenen Arten in verschiedenen Organismengruppen, Stand 2022. Von den 10844 bewerteten Arten gelten 35% als gefährdet oder ausgestorben (Rote Linie: Durchschnitt über alle Arten). In Klammern: Anzahl bewertete Arten. Bildquelle: [21].

2.3.2 Überlebenswichtige Ökosystemleistungen

Agrar-, Wald- und Gewässerökosysteme versorgen uns mit sauberer Atemluft, Wasser, Nahrungsmitteln, Rohstoffen und Energie, weshalb deren Funktionstüchtigkeit unverzichtbar für unser eigenes Überleben ist. Teils betrifft dies sogar einzelne Arten wie z.B. Bestäuberinsekten unserer Kulturpflanzen. Umgekehrt haben **funktionstüchtige Ökosysteme** wie naturnahe Wälder, Feuchtgebiete oder auch regenerativ bewirtschaftete Agrarflächen eine stark ausgleichende Wirkung auf Wasserhaushalt, Strahlungs- und Kohlenstoffbilanz von Gebieten [22] [23] [24] [25] [26] [27]. Insbesondere auch die Wiedervernässung von Feuchtgebieten und Mooren ist enorm effektiver natürlicher Klimaschutz [28] [29] [30] [31], weltweit lassen sich dadurch rund 100 Milliarden Tonnen CO_2-Emissionen verhindern [32]. Widerstandsfähige Wälder sind nicht nur für Wasserfilterung und -speicherung unverzichtbar, sondern auch zur regionalen Kühlung, Wolken- und Niederschlagsbildung [22] [24] [25] [26] [27] [33] [34] [35] und als Schutz vor Stürmen, Lawinen und Murgängen [36]. Im europäischen Vergleich weisen die Schweizer Waldböden pro Flächeneinheit die grössten Vorräte an organischer Bodensubstanz auf und sind damit ebenfalls wesentliche CO_2-Speicher [37]. Die genannten wie auch weitere Ökosystemleistungen (Aufzählung nicht abschliessend) sind daher unverzichtbar für Klimaschutz und die Anpassung an den Klimawandel [22] [24] [27] [30] [35] [38].

2.4 Wirtschaftliche Risiken von Klima-/Wetterextremen

Gemäss der European Environment Agency (EEA) haben Extremwetterereignisse europaweit innerhalb der letzten 40 Jahre (1980-2020) Schäden von mindestens 450 Milliarden Euro verursacht und sind für den Tod von 85'000 bis 145'000 Menschen verantwortlich. Dazu zählen Stürme, Überschwemmungen, Waldbrände, Hitze- und Kältewellen sowie Starkregen und Dürren. Erdbeben und

Vulkanausbrüche fallen nicht darunter. **Pro Einwohner waren die Schäden in der Schweiz am höchsten** [39]. Die derzeit aktuellste Auswertung der EEA beziffert allein die Schäden des Katastrophenjahrs 2021 auf 56.6 Milliarden Euro [40].

2.4.1 Unwetterschäden an Schweizer Siedlungen und Infrastruktur

Die Schadenskosten der drei teuersten Unwetterereignisse der Schweiz seit der Jahrtausendwende (2005, 2007 und 2021) belaufen sich total auf rund 3.1 Milliarden CHF [41] [42]. Für die grossen Schadenskosten dieser Ereignisse waren die Prozesse Hochwasser und Überflutungen / Oberflächenabfluss zusammen mit der starken Betroffenheit von Siedlungsgebieten und Infrastrukturen (Strassen, Bahnlinien, Schutzbauten o.ä.) ausschlaggebend. Folgende Risiken dürften zunehmen:

- Schäden durch Hochwasser
- Schäden durch Oberflächenabfluss
- Schäden durch Hangrutschung, Murgang und Steinschlag
- Schäden durch Hagel
- Schäden durch Sturm
- Schäden durch Waldbrand

2.4.2 Ernteausfälle und Bodenerosion in der Schweizer Landwirtschaft

Aufgrund von Hitze, Trockenheit und Extremwetterereignissen kommt es zunehmend zu grösseren Verlusten bei der pflanzlichen Produktion: So führten in der Schweiz wetter- bzw. klimabedingte Ernteausfälle (Trockenheit, Hagel, Frost, übermässige Nässe) im Unwetter-Jahr 2021 zu einer Rekord-Schadenssumme von über 100 Mio. CHF bei versicherten Kulturen, und im darauffolgenden, sehr trockenen Jahr 2022 zu rund 40 Mio. CHF bei versicherten Kulturen [43].
Weitere prognostizierte Klima-Risiken für den Schweizer Landwirtschaftssektor sind [44] [45]:

- Der Bedarf an künstlicher Bewässerung sowie deren Kosten werden ansteigen
- Eine Zunahme der Starkniederschläge schädigt Kulturen und führt zu verstärkter Bodenerosion und Verschlämmung (Abnahme Bodenfurchtbarkeit und Wasserspeicherung)
- Temperaturbedingte Auswirkungen auf Ausbreitung und Entwicklung von Schadorganismen
- Zunehmender Hitzestress in der Tierhaltung

Die Schäden an landwirtschaftlichen Böden in der Schweiz durch Bodenerosion belaufen sich gemäss Agroscope auf 840'000 Tonnen pro Jahr oder rund [46], dieser Wert wird insbesondere aufgrund der Zunahme von Starkregen, Stürmen und Dürren noch stark zunehmen: gemäss Modellrechnungen erhöht sich durch den Klimawandel die Bodenerosion bis 2070 europaweit um zwei Drittel, bzw. um 28 Mia. Tonnen pro Jahr [47]. Dies wirkt sich sowohl als Verlust an Bodenfruchtbarkeit wie auch an Wasserspeicherfähigkeit aus. Hinzu kommt, dass weitere problematische Prozesse zur Bodenvernichtung beitragen (Erosion, Verdichtung und Verschlämmung durch nicht nachhaltige Bewirtschaftung, landesweite Abnahme der landw. Nutzfläche durch Bebauung).

2.4.3 Schäden im Schweizer Wald

Im Wald führten seit der Jahrtausendwende v.a. heftige Stürme und Schädlingsbefall zu Flächenschäden [48] [49]. Am anfälligsten für Störungen sind die vielerorts dominanten, aber sehr oft standortfremden Fichte [50]. Trockenheitsstress führte im Schweizer Wald insbesondere im Jahr 2018 zu verbreiteten Dürreschäden [37].
Weitere Klima-Risiken sind [48] [37]:

- Verstärkte Anfälligkeit für Sturmschäden, Insektenbefall und Waldbrände bei Trockenstress
- Verschlechterung Speicherkapazität Waldböden für Wasser, Nährstoffe und Kohlenstoff aufgrund Humusverlust
- Verstärkter Humusverlust in Bergwäldern nach Ereignissen (langsamere Bestandsverjüngung)
- Schädigung von Boden, Baumwachstum und -bestand aufgrund von Bodenversauerung (atmosphärische Stickstoffeinträge)
- Schädigung der Bodenfunktionen durch Befahren mit schweren Erntefahrzeugen

2.5 Akzentuierung Flut-Dürre Zyklus und Abnahme Wasserspeicherung

Spezifische Risiken für Wetterextreme bestehen gerade auch in der Landschaft. Dies kann gut am Beispiel des Wasserhaushalts und dem Flut-Dürre Zyklus verdeutlicht werden. Die für den Wasserhaushalt kritischen Schlüsselprozesse Oberflächenabfluss und Bodenerosion betreffen sowohl Waldgebiete, Kulturland wie auch das Gewässernetz eines Einzugsgebiets und können die Folgeschäden von Wetterextremen für ganze Regionen inkl. der Siedlungsgebiete mitbestimmen. Boden ist aufgrund der äusserst langsamen Bodenneubildung als eine nicht nachwachsende Ressource zu sehen. Bodenerosion ist somit ein schwerwiegendes Problem mit weitreichenden Auswirkungen. Im aktuellen Zustand droht den meisten Einzugsgebieten eine **Selbstverstärkung von Flutereignissen, Dürren und Bodenerosion** und in der Folge auch ein grosses Waldbrandrisiko [5] [6] [51]:

- Hitzewellen und Dürreperioden entziehen Böden vermehrt Feuchtigkeit. Die resultierende höhere Luftfeuchtigkeit kann wiederum zu Gewittern und Starkniederschlägen führen.
- Zunehmende Starkniederschläge führen zu vermehrtem Oberflächenabfluss und erhöhen generell das Risiko von Bodenerosion.
- Intensiv genutzte Böden, geschädigte Böden und vegetationslose Böden fördern Oberflächenabfluss und Bodenerosion: verdichtete Böden, flachgründige Böden (v.a. auch bewirtschaftungsbedingt durch Pflügen/Pflugsohle [45]), ausgetrocknete, erhitze sowie vegetationslose Böden weisen eine stark verringerte Versickerungsleistung und Wasserspeicherkapazität auf. Einerseits gelangt damit weniger Niederschlag ins Grundwasser, andererseits wird der Oberflächenabfluss verstärkt, wodurch diese Böden mobilisiert und erodiert werden können. Vegetationslose Böden (betrifft kahle Ackerböden wie auch Waldböden nach flächigem Holzschlag, Sturm oder Waldbrand) haben aufgrund mangelnder Bedeckung und Durchwurzelung ein besonders hohes Erosionsrisiko.
- Die erodierte Bodensubstanz gelangt bei starken Regenfällen über Oberflächenabflüsse und Entwässerungssysteme ins Gewässernetz und wird von dort komplett aus der Landschaft verfrachtet. Dieses Abschwemmen der Böden im Gewässernetz wird dabei deutlich verstärkt durch künstliche Drainagesysteme, fehlende natürliche Infrastukturen in den Gewässern und generell durch unnatürlich eingetiefte Gerinnesysteme [52] [53]. Die wiederkehrenden Starkregenereignisse führen so zu einem steten Verlust von Bodenfruchtbarkeit und Wasserspeicherkapazität.
- Aus der Verringerung der Wasserspeicherkapazität resultieren zunehmende Oberflächenabflüsse, wodurch es bei Starkregen zu ausgeprägten Hochwasserspitzen, zu weiterer Bodenerosion und zu höheren Gefahren für unterliegende Gebiete und Siedlungen kommt. Gleichzeitig erhöht sich die Anfälligkeit der Region für Dürren da immer weniger Wasser zurückgehalten und versickert wird. Die stete Austrocknung erhöht auch das Risiko für Waldbrände.

Ohne Gegenmassnahmen kann dies zu dauerhafter Schädigung / Degradierung der Landschaft (Versteppung bis Wüstenbildung möglich), zu verheerenden Waldbränden und zum Verlust von Arten, Ökosystemen und letztlich der Wirtschafts- und Lebensgrundlagen führen [54] [51].

Abbildung 4: Beispielbilder für den Flut-Dürre-Zyklus. Intensive Nutzung des Kulturlands erhöht den Oberflächenabfluss während Starkniederschlägen, fördert damit den Bodenverlust durch Erosion und setzt die Wasserspeicherfähigkeit der Landschaft laufend herab (links). In niederschlagsarmen Phasen erhöht sich dadurch die Anfälligkeit des Kulturlands für Austrocknung und Ernteverluste bzw. Bewässerungsbedarf (rechts). Bildquellen: Bauernzeitung.

2.6 Wegfall Pufferung Wasserhaushalt durch Eis/Schnee

Noch gilt die Schweiz als Wasserschloss Europas, dies verdankt sie insbesondere auch den gefrorenen Wasserspeichern in Form von Gletschern und Schnee. Eis und Schnee wirken abflussverzögernd, bescheren den Einzugsgebieten dadurch zuverlässig ganzjährige Abflüsse und puffern auf diesem Weg auch das Grundwasser [4]. Durch eine verstärkte Schnee- und Gletscherschmelze in Hitzeperioden konnten bisher auch längere Phasen ohne Sommerniederschlag abgefedert werden. Dies dürfte sich aber drastisch ändern, wenn die Gletscher in absehbarer Zeit verschwinden und sich im Winterhalbjahr auch keine relevanten Schneereserven mehr bilden [4].

Der Wegfall des gefrorenen Speichers bedeutet in den betroffenen Gewässersystemen und Landschaften eine noch stärkere Abhängigkeit des Wasserhaushalts von (konstanten) Niederschlägen.

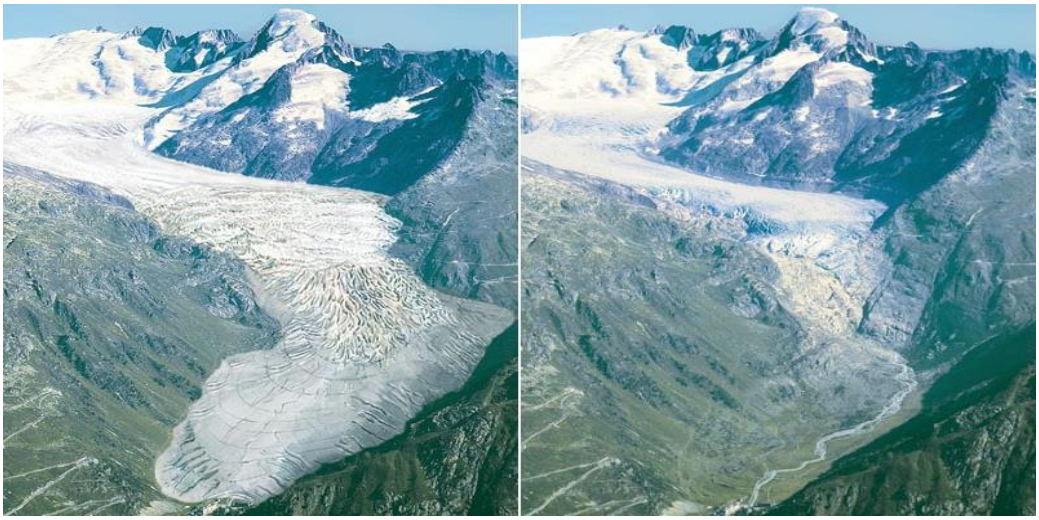

Abbildung 5: Visualisierung Rückgang des Rhonegletschers von 1850 bis 2010. Bildquelle: VAW-ETHZ.

Weil die gefrorenen Speicher schrumpfen und gleichzeitig das Niederschlagsmuster extremer bzw. saisonaler wird, braucht die Schweiz künftig andere **natürliche Puffersysteme in der Landschaft, welche Niederschläge dezentral auffangen, deren Abfluss verzögern und dadurch die Versickerung und Grundwasserbildung steigern**. Dazu braucht es natürliche Böden, angepasste Wald- und Agrarsysteme und wiederhergestellte Feuchtgebiete, Auen und Fliessgewässer. Als Ergänzung zu solchen naturbasierten Lösungen können auch technische Lösungen wie multifunktionale Speicherseen und ähnliche Massnahmen wertvoll sein.

2.7 Wasserversorgung unter Druck

Je nach Aquifer- und Fassungstyp sind die Schweizer Wasserversorgungen unterschiedlich anfällig auf Trockenheit bzw. Grundwasserknappheit. Als stark anfällig gelten z.B. jene in Karst- und Kluftgebieten (flächenmässig ein relativ grosses Gebiet: Jura, Voralpen, Teile des Mittellands) sowie generell kleinere Quellfassungen. Die bisherigen Trockenextreme machen sich in solchen Gebieten periodisch als lokale bzw. regionale Engpässe bemerkbar, welche zu Aufrufen zum Wassersparen führen. Die grossen Grundwasserleiter im Mittelland (Lockergestein) werden derzeit als gut gepuffert und eher unkritisch bewertet, wobei aber der Rückgang von Eis- und Schneepuffern die Anfälligkeit deutlich erhöhen dürfte (Kap. 2.6). Wesentlich ist ausserdem, dass nicht nur die prognostizierte Abnahme von (Sommer-)Niederschlägen [4], sondern auch der gleichzeitig zunehmende Verbrauch für Bewässerung landwirtschaftlicher Kulturen [55] und die Verunreinigung von Wasserreserven [56] zu betrachten ist. Entsprechend ist auch im Mitteland von periodischer Wasserknappheit auszugehen [55] [57]. Ebenfalls wäre eine in den Modellen nicht berücksichtigte, aber durchaus beobachtbare zeitliche Häufung von extremen Trockenjahren in Folge verheerend [7] [9].

3 Schwammland – Klimaschutz, Resilienz und Biodiversität für die Landschaft

3.1 Grosse Bedeutung Landschaft für Klimaschutz, Klimaanpassung und Biodiversität

Wie eine systemische Betrachtung aufzeigt, kommt den ländlichen Bereichen bzw. den Waldgebieten, Landwirtschaftszonen und dem Gewässernetz eines Einzugsgebiets in Bezug auf die Klima- und Biodiversitätskrise eine Schlüsselrolle zu:

- Viele aktuell in der Landschaft praktizierten Nutzungsformen und -methoden können durch die sich verändernden Wetter-/Klimabedingungen zunehmend erschwert und verteuert werden: Z.B. dürfte der Bewässerungsbedarf der Schweizer Landwirtschaft bis Ende Jahrhundert stark ansteigen (um 40% im Szenario ohne Klimaschutz, und um 7% im Szenario mit Klimaschutz). Ein zusätzlicher Grundwasserbezug für Bewässerung kann abhängig von lokalen Bedingungen und der Intensität der Landnutzung zur Übernutzung der Grundwasserressourcen führen [55].
- Nichtnachhaltige Nutzungen in den Sektoren Land-, Forst- und Wasserwirtschaft verschärfen die kurz- und langfristigen Folgen der Wetterextreme.
- Durch die flächenmässig grössere Ausdehnung und durch die Position im Einzugsgebiet (aus hydrologischer Sicht meist oberhalb der grossen Siedlungsgebiete mit hohem Schadenpotenzial) bestimmen die in der Landschaft ablaufenden Prozesse auch die Auswirkungen in den Siedlungsgebieten massgebend.
- Im Weiteren können sich aus der Landschaft bzw. der Art der Landnutzung Rückkopplungen auf das lokale bzw. regionale Klima ergeben, sowohl in positiver (Pufferung von Wasserhaushalt, Strahlungs- und Kohlenstoffbilanz [22] [24] [58] [24] [31] [34] [27] [59]) wie auch negativer Richtung (Aufheizung Landschaft, Vegetationsreaktionen wie Baumsterben, Waldbrände und Rückgänge der Niederschläge [25] [58] [31] [34] [60] [27]).
- Die Wälder und Gewässer wie auch Teile des Kulturlands sind von herausragender Bedeutung als Lebensräume für die Vielfalt der heimischen Tier- und Pflanzenwelt [12] [21].

Es ist daher von grosser strategischer Bedeutung, die Prozesse in ländlichen Gebieten zu analysieren, deren **Potenzial für natürlichen Klimaschutz** (Kohlenstoffspeicherung, Pufferung lokales Klima durch Stärkung kleiner Wasserkreisläufe) zu nutzen und die Landschaft mit naturbasierten Lösungen möglichst rasch auf die sich verändernden Bedingungen «vorzubereiten», damit die **Schäden von Wetterextremen für Landschaft und Siedlungen** verringert (Klimaanpassung), die **Widerstandsfähigkeit von Umwelt, Wirtschaft und Gesellschaft** bzw. deren «Erholung» nach Extremereignissen (Resilienz) gewährleistet und gleichzeitig die **Artenvielfalt gefördert** werden kann [51] [61] [62].

3.2 Win-Win-Win: gegen Dürre und Hochwasser, für Artenvielfalt

Das Schwammland-Prinzip ist grundsätzlich als notwendiges Gegenstück zur bereits etablierten Schwammstadt im urbanen Gebiet zu sehen und beabsichtigt die Steigerung der Klimaresilienz und Biodiversität einer Landschaft [63].

Zum Schwammland-Prinzip gehören **effiziente, naturbasierte und kostengünstige Ansätze, welche die ausgleichende, schwammähnliche Wirkung** von Wald-, Agrar- und Gewässerökosystemen fördern und damit nachhaltige, klimaresiliente Landschaften mit hohem Nutzen für Mensch und Natur schaffen. Das Konzept integriert zu diesem Zweck eine Vielzahl von erprobten Methoden, Forschungsergebnissen und Publikationen insbesondere aus den Bereichen Wasserretention, Bodenschutz, natürlicher Klimaschutz, Klimaanpassung, Ökologie, Hydrologie und Ingenieurökologie und entwirft daraus ein nachhaltiges, multifunktionales Landschaftsdesign. Als Synonym für «Schwammlandschaft» wird z.T. der Begriff «**Klimalandschaft**» / **«Climate Landscape»** verwendet [51] [62]. Das Thema ist aktuell Gegenstand diverser Forschungsprojekte (z.B. [54] [61] [64] [65]).

Abbildung 6: Visualisierung von Schwammland-Massnahmen in den Sektoren Gewässer und Kulturland aus dem Projekt «Slow Water» des Forschungszentrums Ebenrain, Kanton Baselland. [66]: Dezentrale Wasserretention, Feuchtmulden, Teiche, Wiedervernässung ufernaher Flächen entlang von Bächen; Bodenbedeckung, Untersaat; hangparallele Strukturen wie Blühstreifen, Keyline Design und Agroforst. Bildquelle: [66].

Landschaften mit ausgeprägter Schwammfunktion entsprechen vielerorts dem natürlichen, historisch belegten Referenzzustand mit einer Pufferung durch Feuchtgebiete, Moore und Auen [20].

- Diese Systeme beherbergen eine sehr hohe Artenvielfalt (Biodiversitäts-Hot-Spots), sie verzögern die Abflüsse, erhöhen die Infiltration ins Grundwasser, halten Sedimente und Nährstoffe zurück, und sind aufgrund des Schwammeffekts widerstandsfähiger gegen natürliche Extreme wie Trockenheit, Hochwasser und Waldbrände [52] [51] [67].
- Auenbereiche und raumwirksame Fliessgewässerrevitalisierungen (Mäander statt Begradigung) verzögern Abflüsse und bringen Wasser in die Fläche, wodurch sie Hochwasserabflussspitzen um rund 15% reduzieren können [59]. Natürliche abflussverzögernde Infrastrukturen an Fliessgewässern wie z.B. Biberdämme können Hochwasserabflussspitzen sogar um bis zu 30% reduzieren [68] [69] und das Auftreten von Hochwasserspitzen um bis zu 24 Stunden verzögern [70].
- Natürliche Schwammlandflächen wie Wälder, Feuchtgebiete und naturnahes Grasland ermöglichen ausgleichende Rückkopplungen auf das lokale Klima durch Verdunstungskühlung, Wolken- und Niederschlagsbildung [22] [24] [27] [31] [34] [35] [58] [60] [71]. Auen und Feuchtgebiete kühlen in Hitzeperioden angrenzendes Kulturland [31] und stellen wichtige CO2-Senken dar [30] [51].

Wir brauchen wieder mehr Schwammland!

Während die natürlichen Relikte unserer Auen, Moore, Feuchtwiesen, Moorwälder, Stillgewässer usw. geschützt und gestärkt werden müssen, gilt es die wesentlichen Prozesse, Merkmale und Vorteile dieser **«blau-grünen Infrastruktur»** zu erkennen und in unserer Landnutzung (Agrar- und Waldwirtschaft) sowie im Umgang mit unseren Gewässern zu integrieren [72] [61].

Im Sinne der Nachhaltigkeit muss das lokale Handeln in der Landschaft dringend auf die positive, regenerative Steuerung der Wasserkreisläufe und der Energie- und Stoffströme mittels Boden und Vegetation auf der Fläche fokussieren [26] [51] [73]. Die bekannte Handlungsmaxime «*slow it, spread it, sink it, store it*» verdeutlicht diesen Umgang mit Wasser auf einfache Weise und wird mittlerweile in vielen Projekten weltweit mit Erfolg realisiert [51] [67] [61] [64] [65]. Für die lokale

Ebene lassen sich damit weit schneller positive Effekte erzielen (Temperatursenkung, Pufferung Wasserhaushalt, Pufferung Extremereignisse, usw.) als durch eine von der Landnutzung losgelöste Einsparung von Treibhausgasen [26] [51] [67] – wobei langfristig selbstverständlich beides verfolgt werden muss [74] [51].

Indem die Schwammfunktion der Landschaft gefördert wird, werden auch wertvolle Lebensräume und Strukturen in der Landschaft (wieder-)hergestellt, und über die Summe der Massnahmen kann deren Vernetzung verbessert werden - von beidem profitiert die heimische **Artenvielfalt** [61], die wiederum die Funktionalität dieser Ökosysteme stärkt und gegen Extremereignisse puffern kann.

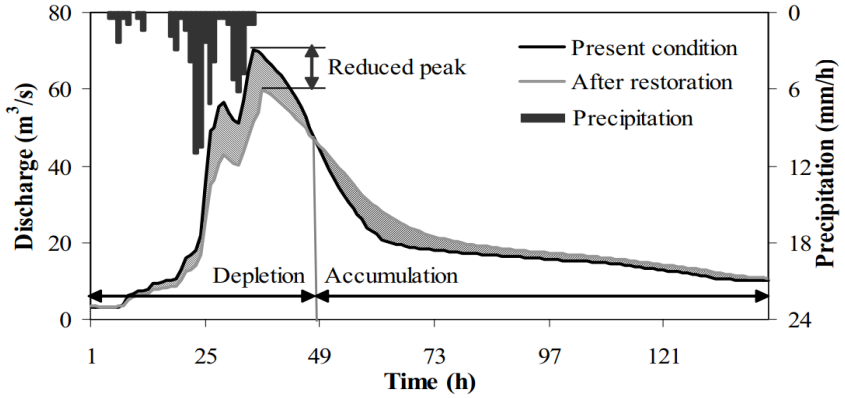

Abbildung 7: Beispiel Schwammlandmassnahmen im Gewässernetz: Reduktion Hochwasserabflussspitze durch Revitalisierung: Modellergebnis einer Fliessgewässerrevitalisierung (Mäander statt Begradigung). Die Revitalisierung ermöglicht durch Extensivierung gerinnenaher Flächen den Abfluss von Niederschlägen in das Gerinne zu verzögern, durch die Mäanderform den Abfluss im Gerinne zu verzögern und durch naturnahe Überflutungsdynamik Hochwasserretentionsflächen zu aktivieren (Ausufern in bachnahe Flächen), wodurch die Hochwasserabflussspitzen insgesamt um rund 15% reduziert werden. Die Abflussverzögerung und Ausuferung fördert Versickerung und Grundwasserneubildung und verhindert Bodenerosion. Bildquelle: [59].

Kaum eine Art kann so effizient altes Schwammland regenerieren und neues schaffen wie der Biber: Biodiversität und Klimaresilienz profitieren in hohem Masse von der **Wiederbesiedlung der Gewässer durch den Biber** [75] [76] [77] [78]**.** Die Aktivität dieser natürlichen «Ökosystem-Ingenieure» stellt eine unverzichtbare und «kostenlose» Unterstützung für die Anpassung der Landschaft an Extremereignisse und für die Abfederung der Biodiversitätskrise dar[1]. Zur Prävention und Behebung von Konflikten können flankierende Massnahmen notwendig werden: hierbei sind sowohl technische Lösungen (Errichtung von Drainage-Sammelleitungen) wie auch Nutzungsentflechtungen und Entschädigungen bzw. Raumgewinnung für Revitalisierungen zielführend [79]. Und an Gewässern, wo Biber noch nicht aktiv sind, oder wo aufgrund anthropogener Veränderungen keine Besiedlung mehr stattfindet, sind künstliche Biberdämme empfehlenswert [52] [80].

Doch bei Schwammland geht es nicht nur um klassische (Wieder-)Vernässung gewässernaher Flächen: Im **Kulturland** sind angepasste Bewirtschaftungsformen unverzichtbar für Erosionsschutz, und Wasserspeicherung, idealerweise in Kombination mit Baumpflanzungen zur Förderung von Bodenfeuchte und Transpiration. Im **Wald** muss eine naturnahe Entwicklung der Bestände gefördert werden, damit dessen essentielle Ökosystemleistungen trotz Klimawandel erhalten und gestärkt werden können (Vorrang vor Holznutzung: bedingt Austarieren der Nutzungsinteressen [25]).

[1] Durch Biberdämme werden Bäche eingestaut, Abflüsse natürlich gedämpft (Pufferung Trockenheit und Starkniederschläge) und Wasserqualität und Wasserhausalt stark positiv beeinflusst (Filtration Bachwasser, hydrostatischer Druck und Überstauung nicht kolmatierter Uferbereiche fördern Versickerung und Infiltration). Biodiversität und Ökomorphologie werden ebenfalls deutlich gefördert [52].

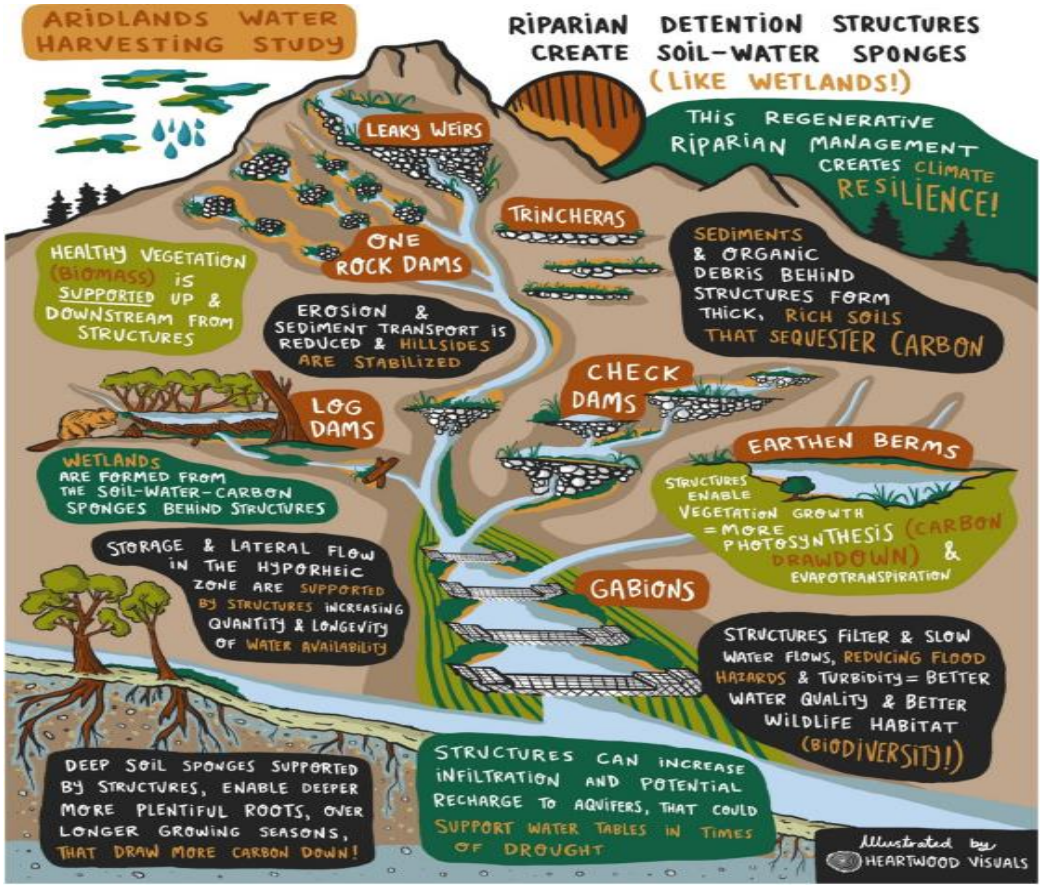

Abbildung 8: Beispiel Schwammlandmassnahmen im Gewässernetz: Schema mit diversen «leaky dams» Strukturen für Abflussverzögerung, Nährstoffrückhalt, Erhöhung der Versickerungsleistung und Wiederherstellung ganzjähriger Wasserabflüsse in trockenfallenden Gerinnen. Die seriell einzubauenden Massnahmen ermöglichen Anpassung an und Schutz vor klimabedingten Störungen und Stressfaktoren wie Dürre, Wasserknappheit, Überschwemmungen, Hitzewellen, Staubstürme, Waldbrände, Verlust der biologischen Vielfalt und Ernteausfälle. Bildquelle: [54].

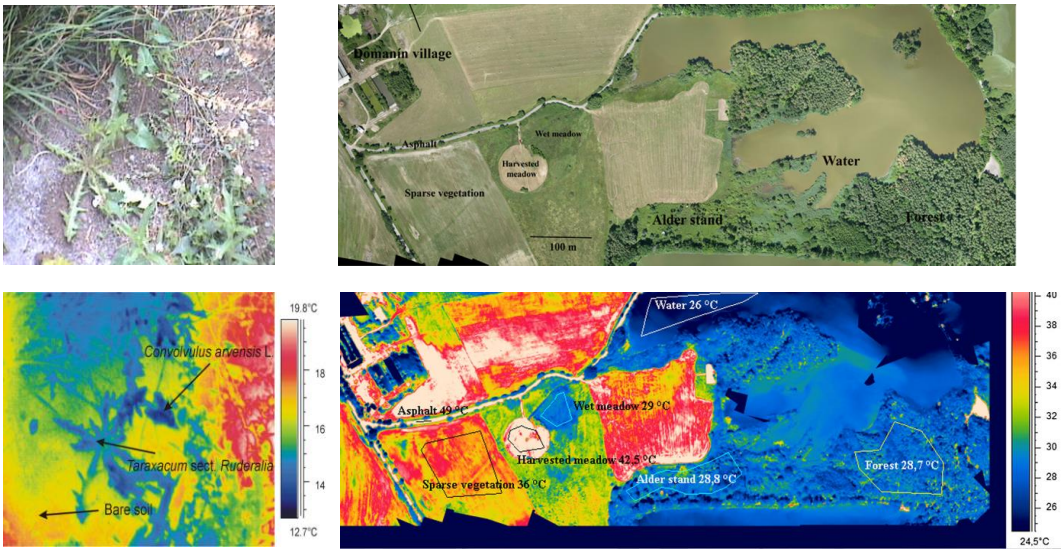

Abbildung 9: Wasserspeichernde, evapotranspirierende Systeme als effektive Landschaftskühlung. Linke Seite, kleinräumiger Vergleich: bis zu 4.5 °C Unterschied zwischen vegetationslosem Boden und Krautvegetation (Kühlung durch Transpiration). Rechte Seite, grossräumiger Vergleich: Bis zu 15 °C Unterschied zwischen drainiertem Grünland und wassergesättigten Vegetationssystemen (Feuchtwiese, Wald; Kühlung durch Transpiration). Obere Bildreihe: Ansicht, untere Bildreihe Oberflächentemperaturen im Infrarotbild. Bildquellen: [81] [58].

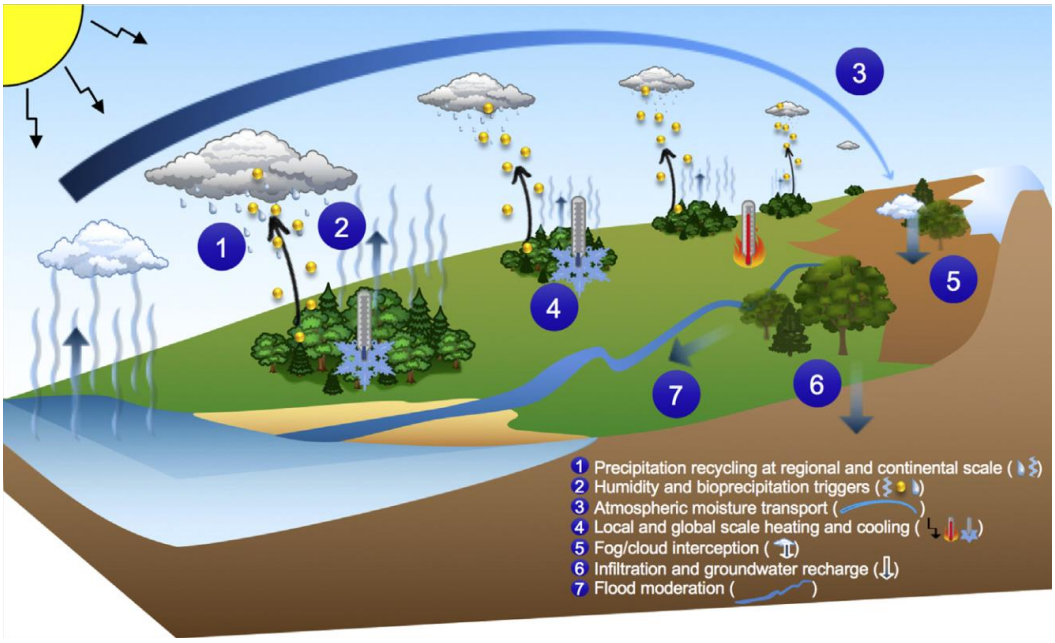

Abbildung 10: Schema positiver Rückkopplungseffekte von naturnaher Vegetation auf regionales Klima, Wasser- und Kohlenstoffhaushalt: Natürliche und naturnahe Vegetation – insb. Wald und waldähnliche Gehölzstrukturen - bremsen das Auftreffen und Abfliessen von Niederschlägen (verringern Spitzenabflüsse Hochwasser), fördern die Versickerung und Grundwasserneubildung, verhindern Bodenerosion und erhöhen die Wasser- und Kohlenstoffspeicherkapazität eines Gebiets. Sie fangen atmosphärische Feuchtigkeit ein (Nebel, Wolken, Tau) und schaffen durch die vegetationsbasierte Verdunstung (Transpiration durch Blattwerk) starke Kühleffekte, wodurch die übrige Verdunstung (Evaporation bzw. «unproduktiver» Wasserverlust) im betreffenden Gebiet minimiert wird. Durch die stetige Emission von Kondensationskeimen führt die Transpiration schliesslich zu einer ausgeglichenen Bildung von Wolken (Verringerung direkter Sonneneinstrahlung) und von Niederschlägen. Bildquelle [24].

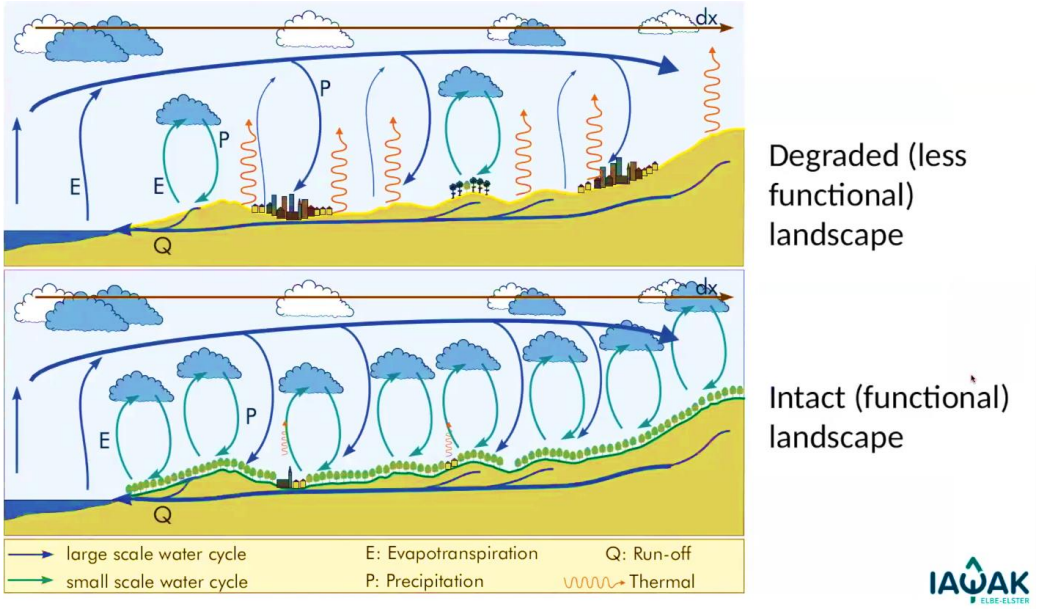

Abbildung 11: Bedeutung der kleinen Wasserkreisläufe für natürlichen Klimaschutz: Während eine naturnahe, mehrschichtige Vegetationsdecke (z.B. Wälder, Schemabild unten) ein relativ kleinräumiges Verdunstungs- und Niederschlagsgeschehen hervorruft (kleine Wasserkreisläufe, Niederschlagsrecycling, natürliche Pufferwirkung des regionalen Klimas), ist das Aufheizen und Austrocknen einer «ausgeräumten» Landschaft (Schemabild oben) eine direkte Folge der Landnutzungsänderungen. Relevante Auslöser sind insbesondere der Verlust an transpirierender Blattoberfläche (durch Siedlungsbau, flächige Entwaldung, Bodenversieglung, vegetationslose Zwischenphasen auf grossen Agrarflächen) sowie die künstliche Entwässerung der Landschaft (unnatürlich ausgebautes Gewässernetz, landwirtschaftliche Drainagen). Bildquelle: [82].

3.3 Massnahmenfächer Schwammland

Das Ressort Nachhaltigkeit der Emch+Berger Gruppe hat zusätzlich zum Schwammland-Konzept auch einen Massnahmenfächer für konkrete Schwammland-Planungen erarbeiten lassen. Die darin zusammengestellten Schwammland-Massnahmen umfassen derzeit **mehr als 80 mögliche Einzelmassnahmen** für natürlichen Klimaschutz und die Stärkung von Wasserressourcen, Klimaresilienz und Biodiversität in Landschaften und Einzugsgebieten, bzw. deren Teilflächen und sektorielle Ausprägungen als Wald, Kulturland und Gewässernetz. Er dient als Basis für die Erarbeitung konkreter Lösungen für ganze Einzugsgebiete wie auch für spezifische Teilflächen.

Der Massnahmenfächer kann insbesondere **Gemeinden und lokalen Akteuren wie Landwirt:innen und Waldbesitzer:innen** dienen, die ihre Situation auf ihren Flächen verbessern wollen. Auf Basis des Fächers kann eine gemeinsame Evaluation vor Ort aufzeigen, wo die Potenziale und Handlungsoptionen für naturbasierte Lösungen liegen, und wie sich diese anhand der örtlichen Rahmenbedingungen konkretisieren lassen (Analyse von Bedarf, Akteuren und Finanzierungsmöglichkeiten). So erhalten Grundeigentümer und Entscheidungsträger letztlich umsetzbare Massnahmen für einzelne Flächen oder auch für grössere Gebiete. Der Schwammland-Massnahmenfächer **steht auf Anfrage für konkrete Planungen zur Verfügung:**

- Infos / Auskunft: siehe Kontaktadressen in Kap.7

Die im Fächer enthaltenen Massnahmen zielen generell darauf ab, a) den lokalen Wasserhaushalt zu puffern, b) die Widerstandsfähigkeit der Landschaft gegenüber Wetterextremen zu erhöhen und c) die Biodiversität zu stärken. Sie setzen dafür auf die effizienten und kostengünstigen Leistungen natürlicher Ökosysteme bzw. ahmen diese Prozesse nach:

- Im **Wald und Kulturland** werden die Ziele erreicht, indem Niederschläge gedämpft (Aufprall/Interzeption durch Vegetation, Abflussverzögerung und Verteilung in Fläche durch geeignete Strukturen und Bewirtschaftungsmethoden), möglichst lange in der Fläche gehalten und in den Böden gespeichert werden (Paradigmenwechsel bei Drainierung), von wo aus sie das Grundwasser anreichern [51]. Zusammen mit Massnahmen zur Erosionsprävention und Förderung naturnaher Böden durch angepasste Bewirtschaftung können Bodenfruchtbarkeit und Wasserspeicherkapazität eines (Teil-) Einzugsgebiets erhalten und gefördert werden [51]. Durch Vegetation (naturnaher Wald, Agroforst, Dauergrünland) wird das Gebiet aktiv gekühlt [61].

- Im **Gewässernetz** setzen Massnahmen zur Abflussverzögerung, Wasser- und Nährstoffspeicherung und Vernässung gerinnenaher Flächen, zur Steigerung der Grundwasserneubildung und zur Biodiversitätsförderung an: u.a. Revitalisierung, Auenreaktivierung, Förderung von Feuchtwiesen oder Wiedervernässung von Mooren. Viele kleine Massnahmen schaffen ein grosses Puffervolumen (Summeneffekt) [51]. Wie aktuelle Metastudien zeigen, kann der Teufelskreis aus Flut und Dürre durch den seriellen Einbau naturnaher Infrastrukturen («leaky dams, BDAs, rock weirs») in Bachgerinne gestoppt und sogar in völlig ausgetrockneten Gebieten wieder umgekehrt werden [52] [54].

- Die ineinandergreifenden Massnahmen erhöhen die Widerstandsfähigkeit der Landschaft gegenüber Wetterextremen und bieten starke Synergien mit der Förderung naturnaher Strukturen (Böden, Gewässer, Vegetation), insbesondere auch von Feuchtlebensräumen und deren wertvollen **Ökosystemleistungen**, sowie naturnahen, nachhaltigen bzw. regenerativen Nutzungen im Land- und Forstwirtschaftsbereich [61]. Davon profitiert auch die **Biodiversität** [12] [21] [61].

- Kann eine Förderung naturnaher Vegetation (Wälder, waldähnliche Strukturen) und regenerativer Bewirtschaftungsformen (Agroforst u.ä.) auf grösseren Flächen realisiert werden, stärkt dies die **kleinen Wasserkreisläufe**, wodurch sich weitere stark positive Rückkopplungseffekte

auf das regionale Klima ergeben können (stete Kühlung / Abtransport Wärme, Förderung Wolken- und Niederschlagsbildung [22] [24] [25] [26] [27] [33] [34] [35] [60] [61] [71] [82]).

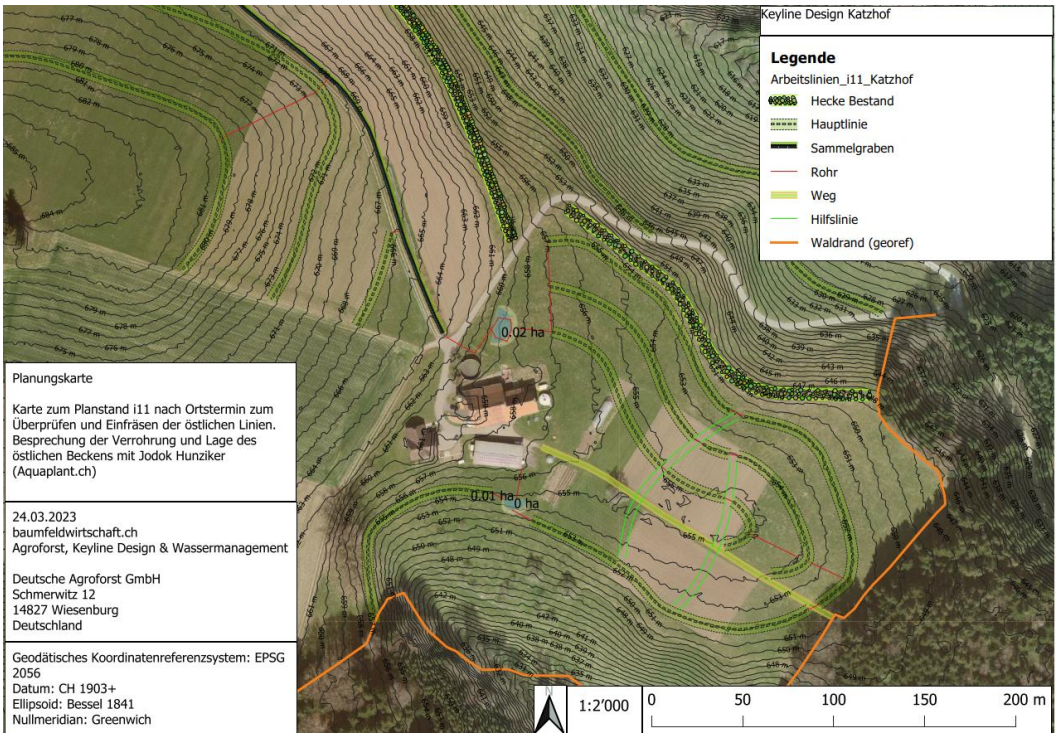

Abbildung 12: Praxisbeispiel Keyline-Design des Katzhofs, in Reiden (LU). Die höhenlinienbasierte Anlage von Versickerungsgräben und Baumreihen dient dazu, Niederschlags- und Trockenheitsextreme zu puffern. Auch die Wasserversorgung des Hofs (Grundwasser aus eigener Quelle) profitiert von einer erhöhten Versickerung und Grundwasserbildung. Bildquelle: © Katzhof.

Abbildung 13: Praxisbeispiel Schwammland am Schlossbach, Rümligen (BE). Die Emch+Berger AG Bern hat eine Reihe «Beaver Dam Analogs» (BDAs) im eingetieften Bachgerinne erstellt, um ähnlich eines natürlichen Biberreviers ufernahe Bereich wieder zu vernässen, Niederschlags- und Trockenheitsextreme zu puffern und die feuchtgebietstypische Flora und Fauna zu fördern. Auch die Wasserversorgung des Grundeigentümers (Grundwasser aus eigener Quelle) profitiert von einer erhöhten Versickerung und Grundwasserneubildung. Im Unterschied zu natürlichen Biberdämmen kommen BDAs auch dort zum Einsatz, wo der Biber nicht hingelangt und sie können so geplant und erstellt werden, dass sie mit angrenzenden Nutzungen und Infrastrukturen kompatibel sind. Bildquelle: Emch+Berger.

3.3.1 Aktuell mögliche Finanzierung Schwammland-Massnahmen

Für die Finanzierung von Schwammland-Massnahmen stehen heute je nach betroffenem Sektor (Wald, Landwirtschaft, öffentliche Gewässer) unterschiedliche gesetzliche Grundlagen, Möglichkeiten und Anreize (etablierte Förderprogramme o.ä.) bereit, zudem sind weitere in Planung (s. Kap. 6). Im Rahmen einer Schwammland-Planung sind die Finanzierungsmöglichkeiten fallspezifisch zu konkretisieren. Folgende Aufzählung gibt einen groben Überblick (nicht abschliessend):

- **Waldwirtschaft:** nationale Fonds/Programme wie z.B. Biodiversität im Wald, Naturschutzorganisationen, private Stiftungen
- **Landwirtschaft:** Förderprogramme für ökologische Infrastruktur, diverse private Stiftungen (s. z.B. Kap.5.1). In der aktuell sistierten AP 22+ ist eine Förderung von Agroforst vorgeschlagen. Agroforst kann von Versorgungssicherheits- und Kulturlandschaftsbeiträgen profitieren. Traditionelle Systeme (Waldweiden oder Kastanienselven) können von Biodiversitäts- und/oder projektbezogene Landschaftsqualitätsbeiträge profitieren. Künftig könnten auch Entschädigung für Mehraufwände bei Agroforst, Untersaat etc. möglich werden [66].
- **Gewässer:** Gesetzesauftrag zur Revitalisierung der Gewässer (GSchG) mit Bundes- und Kantonssubventionen (Programmvereinbarungen im Umweltbereich) sowie zahlreichen Ökofonds von Wasserkraftnutzern, Renaturierungs- und Gewässerfonds
- **Fallspezifisch** bestehen mögliche Anknüpfungspunkte auch zu Finanzhilfen für die Regionalentwicklung. Infos hier: Regionalentwicklung.
- **Infos zu künftigen Finanzierungsmöglichkeiten** siehe Kap.6.

3.3.2 Gliederung Schwammland-Massnahmen

Die Einzelmassnahmen des Massnahmenfächers sind gegliedert nach

Sektoren	Umsetzungstempo / Aufwand für Implementierung	Eignung für EZG	Erwartete Wirksamkeit[2]
– Wald – Kulturland – Gewässer	– Kurzfristig: kaum Anpassung an bisheriger Praxis, rasch umsetzbar («low-hanging fruits») – Mittelfristig: teilweise Anpassung an bisheriger Praxis notwendig – Langfristig: Umstellung bisheriger Praxis notwendig, Zeitbedarf mehrere Jahre	– Jurabogen – Mittelland – Voralpen – unspezifisch	– Steigerung Klimaresilienz: *gering / mittel / hoch* – Biodiversitätsförderung: *gering / mittel / hoch* – Natürlicher Kilmaschutz: *gering / mittel / hoch*

3.3.3 Beispiele von Schwammland-Massnahmen

Der Massnahmenfächer enthält eine breite Palette möglicher Massnahmen pro Einzugsgebietstyp und Sektor. Insgesamt **umfasst er rund 80 mögliche Einzelmassnahmen.** Die detaillierte, konkrete Massnahmenplanung sollte jeweils durch erfahrene Fachleute fallspezifisch auf Basis des Fächers, der lokalen Rahmenbedingungen und Nutzungsinteressen evaluiert und erarbeitet werden.

Der Schwammland-Massnahmenfächer umfasst naturbasierte Lösungen für die synergetisch miteinander verknüpften Aspekte Wasserhaushalt, Bodenschutz/-aufbau, Pufferung des lokalen/regionalen Klimas und Biodiversitätsförderung. Die Massnahmen lassen sich grob folgenden Stossrichtungen zuordnen: Massnahmen zur dezentralen Speicherung von Niederschlägen, zur Verzögerung von Abflüssen, zur Verhinderung von Bodenerosion, zur Reduktion «unproduktiver» Verdunstung (Evaporation aus vegetationslosen Böden), zur Erhöhung von Bodenqualität und

[2] Die Wirksamkeit einzelner Schwammland-Massnahmen wurde im Massnahmenfächer grob abgeschätzt. Sie ist stets auch von standortspezifischen Faktoren abhängig. Während sich bei einigen Massnahmen die Effekte relativ gut abschätzen, und z.T. quantifizieren lassen [61], besteht bei anderen noch Forschungsbedarf. Angesichts der dringend notwendigen Anpassung der Landschaft an die Klima- und Biodiversitätskrise wird die rasche Umsetzung von Pilotprojekten für Erfahrungsgewinn aber als unerlässlich erachtet. Ebenfalls sollte in konkreten Schwammland-Projekten, wo immer möglich die synergetischen Effekte mehrerer ineinandergreifender Massnahmen anvisiert werden. Aus diesen Gründen ist bei der Erarbeitung von Schwammland-Massnahmen die Einschätzung von Experten unverzichtbar, darunter fallen neben Fachspezialisten insb. auch Kenner der lokalen Verhältnisse wie Landwirte und Waldbesitzer.

Speicherfähigkeit für Wasser und Kohlenstoff, zur Stärkung pflanzenbasierter Effekte (Erosionsschutz, Transpirationskühlung, Erhöhen Bodenfeuchte usw.) und zur Förderung wertvoller Lebensräume bzw. seltener Arten.

Dabei wirken mehrere Massnahmen ergänzend/aufbauend, jedoch sind alle Massnahmen auch für sich umsetzbar und wirksam. Das volle Potential entfalten sie aber stets in Kombination mit anderen Massnahmen bzw. mit Massnahmen aus einer komplementären Stossrichtung.

- Z.B. Ziel Versickerung: Heisser, ausgetrockneter Boden an der prallen Sonne nimmt Wasser immer schlecht auf, selbst wenn Sickerbereiche vorhanden sind. Zwar wird nach einem Niederschlagsereignis dennoch stets mehr Wasser aufgenommen, als wenn Sickerbereiche nicht vorhanden sind und alles Wasser direkt abfliesst, aber die Sickerbereiche sind wesentlich effizienter, wenn der Boden noch Restfeuchte hat und/oder von einer Vegetationsdecke gekühlt wird.

Abbildung 14: Beispiel Hochwasserschutz, Steigerung Dürreresistenz und Biodiversitätsförderung mit multifunktionaler Auenreaktivierung bei Rotenburg (D). Bildquelle: G. Lamberty / Planungsbüro Zumbroich

Abbildung 15: Beispiel Steigerung Versickerung, Dürreresistenz und Biodiversitätsförderung mit Agroforstwirtschaft. Bildquelle: N. Bertrand / INRAE

Die nachfolgend aufgeführten Beispiele geben einen groben Überblick der im Massnahmenfächer enthaltenen Lösungsansätze für den Aspekt *Wasserhaushalt*. Aus Platzgründen werden die synergetischen Effekte auf Boden, Klima und Biodiversität nur am Rande erwähnt.

Massnahmen zur Abflussverzögerung und Erhöhung der Versickerung (I)

1. **Bsp. Auenreaktivierung, Förderung/Schaffung von Feuchtgebieten, Wiedervernässung von Mooren**

a. Auen, Moore und andere Feuchtgebiete entstehen durch die Abflussverzögerung von Wasser und zeitlich begrenztem Überschwemmen fluss-/bachnaher Flächen. Die Gebiete zeichnen sich durch eine hohe Bodenfeuchtigkeit und Wasseraufnahmekapazität aus und halten beträchtliche Mengen Wasser in der Landschaft zurück, binden sie für trockenere Phasen. Die Vegetation ist den feuchten Gebietsverhältnissen angepasst. Durch die lange hohe Bodenfeuchtigkeit vermögen die Flächen in trockenen Phasen Wasser an umliegende Gebiete abzugeben, resp. dort die Bodenfeuchtigkeit und Wasserverfügbarkeit für Pflanzen länger zu konservieren. Weiter sind sie wichtige Speiser von Grundwasserströmen.

2. **Bsp. Ausscheidung von Überflutungsgebieten (z.B. Mehrfachnutzung als extensive Weide oder als Naturförderungsfläche)**

a. Die Flächen dienen dazu, bei grossen Niederschlagsereignissen Wasser zurückzubehalten.

b. Sich sowieso immer wieder vernässende Flächen in Senken können gezielt als Überflutungsgebiet genutzt (und entsprechend bewirtschaftet) werden

c. Im Zusammenhang mit Hochwasserschutzmassnahmen können Rückhaltebecken als Überflutungsgebiete geplant werden. In Jahren, in welchen sie nicht als Rückhaltebecken genutzt werden, können sie mehr oder weniger normal genutzt werden, bei starken Ereignissen werden sie geflutet und füllen die Wasserspeicher im Boden wieder auf

d. Angepasste, feuchtigkeitsliebende Pflanzen können in diesen Flächen kultiviert werden (z.B. Reis, Paludikultur o.ä.)

3. **Bsp. Natürliche Infrastrukturen zur Abflussverzögerung, Biberdämme, Totholz bzw. ähnliche Infrastrukturen einplanen und fördern** [52]

a. In kleineren Fliessgewässern (< 10 m Sohlenbreite): Natürliche und künstliche Biberdämme sowie natürliche und künstliche Totholzstrukturen bilden naturnahe Infrastrukturen zu Abflussverzögerung, Wasser- und Nährstoffretention, Sohlenerhöhung sowie zur gezielten Wiedervernässung ufernaher Zonen (Verstärkung der Versickerung). Angesichts sinkender Grundwasserspiegel und wiederkehrendem Trockenfallen von Oberflächengewässern sind diese vielfach erprobten und kostengünstigen Massnahmen gerade in Kleinstgewässern möglichst flächendeckend und unverzüglich umzusetzen, um das Wasserdargebot ganzjährig zu puffern. Diese Strukturen erhöhen das Totholzangebot im Flussraum, führen zur Entwicklung naturnaher Gerinnemorphologie und erhöhen die gewässertypische Artenvielfalt deutlich.

b. In grossen Fliessgewässern (> 10 m Sohlenbreite): Natürliche und künstliche Totholzstrukturen in grösserer Dimension [83], Effekte Abflussverzögerung, Wasser- und Nährstoffretention, Sohlenerhöhung und Wiedervernässung ufernaher Zonen (Verstärkung der Versickerung, Speisung Grundwasser, Pufferung Wasserdargebot). Weitere Effekte: Erhöhung Totholzangebot im Flussraum, dadurch Entwicklung naturnaher Flussmorphologie und Förderung der gewässertypischen Artenvielfalt.

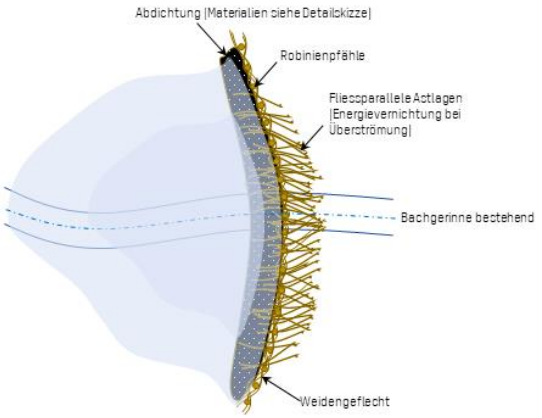

Abbildung 16: Normalie «Beaver Dam Analog», Bildquelle: Emch+Berger.

Massnahmen zur Abflussverzögerung und Erhöhung der Versickerung (II)

4. **Bsp. Strukturierung des Geländes in Hanglagen (Keyline Design)** [84]

a. Entlang der Höhenlinien angelegte Fliesshindernisse oder Kulturen (Schlüssellinienkultur) für Wasser verlängern den Abflussweg von Oberflächenwasser. Dadurch nimmt die Fliessgeschwindigkeit ab und die verfügbare Zeit für die Versickerung zu. Durch geringere Fliessgeschwindigkeiten wird auch das Erosionspotenzial eingeschränkt, weniger Material wird ausgeschwemmt.

b. Entsprechend angelegte Baumstreifen, Hecken und Trockensteinmauern gestalten die Landschaft mit, sind hervorragende Biotope und Vernetzungselemente, und dienen weiter als Windbrecher (siehe auch «Bäume» und «Massnahmen gegen die die Verdunstung von Bodenwasser»), s.a. Baumfeldwirtschaft.

c. Wege nach Möglichkeit hangparallel anlegen. Wasser, welches entlang der Wege fliesst, soll optimal versickern können. Wasser, welches die Wege überfliesst, soll möglichst breit den Feldflächen abgegeben werden, um Grabenbildung zu vermeiden.

d. Wege, die nicht hangparallel geführt werden können, auf Rücken bauen.

5. **Bsp. Naturnahe Wälder stärken**

a. Allein der Bestand des Waldes hat eine grosse Pufferwirkung, da Starkniederschläge nicht direkt auf den Boden einwirken, sondern zum Teil in den Blättern und Ästen hängen bleibt oder erst zeitlich verzögert den Boden erreicht. Insgesamt bleibt dem Boden so mehr Zeit, das Wasser aufzunehmen. Bodenerosion wird effektiv verhindert.

b. Mehrschichtige (Laub-)Wälder vergrössern den Effekt durch ihren hohen Blattflächenindex (bis zu 12 m^2 Blattfläche pro m^2 Boden), d.h. ein Regentropfen trifft im Schnitt 12 mal ein Blatt, bevor er auf den Boden gelangen kann. Ein hoher Blattflächenindex macht auch die Transpirationskühlung enorm effektiv.

c. Künstliche Entwässerung von Waldarealen stoppen, Entwässerungsgräben rückbauen.

d. Standortgerechte Waldpflanzen fördern. Die Fichte ist insb. in tiefen Lagen standortfremd und verstärktem Stress ausgesetzt. Standorttypische Mischwälder gelten als resistenter gegenüber Krankheiten und Veränderungen und fördern die Biodiversität. Möglichst passiver «Waldumbau» (Naturverjüngung standorttypischer Arten; keine Kahlschläge/Räumungen). Totholz (Wasserspeicher, Lebensraum) belassen/fördern.

e. Naturreservate fördern/ausbauen: Wälder sind als Wasser-/Kohlenstoffspeicher, Klimaanlage (Verdunstungskühlung) und für die Regenbildung gesamtgesellschaftlich längerfristig wertvoller denn als Baustoff- und Energielieferant. Ausloten von freiwilligen Nutzungsverzichten /-moratorien, Anreize schaffen mit Entschädigungen o.ä. [25]

6. **Bsp. Sickerbereiche erstellen**

a. Mulden und Rigolen fangen Oberflächenabfluss auf und speichern ihn über eine gewisse Zeit in beschränkter Menge. Durch die längere Aufenthaltsdauer kann mehr Wasser versickern und den Bodenwasserspeicher auffüllen.

b. In Sickerbereichen können speziell angepasste Pflanzen kultiviert werden, oder als ökologische Ausgleichsflächen dienen, die nur eingeschränkt bewirtschaftet werden. Dadurch kann die Biodiversität lokal gezielt gefördert werden, was auch den umliegenden Flächen dient (z.B. durch Förderung von Bestäubern und Nützlingen).

c. Eine Vielzahl an kleineren Sickerflächen dient der Vernetzung von extensiv genutzten Flächen. Die Abstände zwischen den einzelnen Flächen werden in intensiv bewirtschafteten Gebieten kleiner.

d. Linsenförmig in Bewirtschaftungsrichtung angelegte Sickerbereiche hindern die Bewirtschaftung der Flächen auch mit grösseren Erntefahrzeugen nur mässig, da nicht gewendet werden muss

7. **Bsp. Permeable Wegkoffer**

a. Der Wasserfluss im Untergrund kann durch Wegkoffer eingeschränkt werden. Bei permeablen Koffern ist die Vernetzung des Porenwassers zwischen unterschiedlichen Parzellen gewährleistet.

b. Insbesondere im lockeren Waldboden sind Wegkoffer relevant und wirken bei undurchlässigen Koffern oder starker Bodenverdichtung wie unterirdische Dämme.

c. Die Permeabilität kann situativ analysiert und angepasst werden, so kann das Bodenwasser gezielt geführt oder zurückbehalten werden.

Abbildung 17: Planung Key Lines, Bildquelle: Katzhof

Massnahmen, um den Eintrag aus Gewässern zu erhöhen

1. **Bsp. Revitalisierung, Entfernen harter Verbauungen**

a. Wiederherstellen naturnaher Gerinneformen durch Rückgabe eines Gewässerentwicklungsraums. Schaffung bzw. Entwicklung möglichst unverbauter, naturnaher Gerinneformen (Fliesswegverlängerung durch Mäandrierung, verzweigte Gerinne usw.) mit relativ hohen mittleren Sohlenlagen (Erhöhung Grundwasserniveau) sowie natürlichen Infrastrukturen (Grobwiderstände, Totholz, biberdammähnliche Strukturen) und verzögertem Abflussgeschehen (Rückhalt Wasser, Wiedervernässung ufernaher Bereiche und Hochwasserentlastung in Überflutungsflächen, verstärkte Versickerung und Grundwasserbildung). Gewässerbeschattung/Kühlung durch standorttyp. Gehölzgürtel fördern.

b. Entfernen harter Ufer-/Sohlenverbau, wo nicht zwingend nötig. Dieser verhindert, dass ein Teil des Bach-/Flusswassers in Sohle u. Uferbereiche eindringen kann. Ingenieurbiologischer Uferverbau [83] oder auch Uferschutz mit Instream River Training [85] lassen einen Austausch zwischen Gewässer und Boden stattfinden und ermöglichen Gewässerbeschattung und Kühlung durch den etablierten Gehölzgürtel.

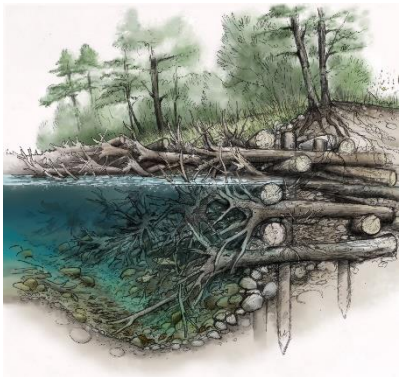

Abbildung 19: Beispiel naturnahe Flussufersicherung, Bildquelle: Emch+Berger

Massnahmen gegen die «unproduktive» Verdunstung von Bodenwasser

1. **Bsp. Bäume; entlang von Wegen, Parzellen, Gewässern, wie auch in den Feldern selbst, wo dies trotz der Kulturen möglich ist.**

a. Die Bäume dienen als Windbecher. Wind sorgt in grossem Ausmass für Verdunstung von Bodenwasser

b. Die Bäume dienen als Schattenspender. Im Schatten ist die Temperatur geringer, als Folge die Luftfeuchtigkeit höher und die Verdunstung des Bodenwassers nimmt ab

c. Im Schatten ist die Bodenfeuchtigkeit höher, wodurch bei Niederschlag schneller und mehr (Niederschlags-)Wasser aufgenommen werden kann.

d. Transpiration. Bäume verdunsten wesentlich mehr Wasser als Feldpflanzen und entziehen so der Luft Energie (effiziente Kühlung). Dabei stammt das Wasser, welches die Bäume transpirieren aus tieferen Schichten; sie entlasten damit die oberflächennahen Bodenhorizonte.

e. Bäume machen Porenwasser aus tieferen Horizonten auch für flachwurzelnde Pflanzen verfügbar, indem sie für eine grössere durchwurzelte Schicht sorgen und so die Konnektivität der Poren über eine grössere Tiefe gewährleisten.

f. Bäume sorgen für grössere Biomasse pro Fläche und «düngen» die umliegende Fläche mit dem Laub.

g. Bäume helfen den Niederschlag in den Boden zu bringen und beugen Bodenerosion vor: Die Niederschlagsspitzen auf den Boden werden durch Äste und Blattoberflächen gedämpft. Der Niederschlag kann so über einen längeren Zeitraum vom Boden aufgenommen werden, ohne dass es zu Oberflächenabfluss kommt.

2. **Bsp. Intelligente Bewässerung**

a. Bewässerung nachts, in den frühen Morgenstunden o. bei hoher Luftfeuchtigkeit. Die Bewässerung soll möglichst in den Zeiten stattfinden, in denen die direkte Verdunstung verhältnismässig gering ist, d.h. bei kühlen Temperaturen bzw. einer höheren Luftfeuchtigkeit. Dadurch hat das Wasser mehr Zeit zu versickern, Wassernutzung wird effizienter.

b. Gezielte Bewässerung direkt vor Niederschlägen, da feuchter Boden den Niederschlag besser und schneller aufnehmen kann.

c. Tröpfchen statt Sprinkler. Je länger der Weg durch die Luft ist, desto mehr Wasser verdunstet, bevor es überhaupt den Boden berührt.

3. **Bsp. Zwischenfrüchte und Untersaat**

a. Brach liegender Boden ist weit anfälliger auf Auswaschung durch Niederschläge. Durch Aussaat von Zwischenfrüchten o. Untersaaten liegt die Fläche weniger lange brach bzw. wird der Boden auch zwischen den Kulturreihen bedeckt. Der zusätzliche Bewuchs verhindert auch direkte Sonneneinstrahlung und Windeinfluss auf den Boden.

b. Einsatz schnellwachsender Zwischenfrüchte mit bodenaufbauender Wirkung.

Abbildung 18: Beispiel Agroforst, Bildquelle: S. Schwarzer

Massnahmen, welche die Aufnahmefähigkeit und Speicherung von Wasser im Boden verbessern

1. **Bsp. Belastung durch Druck verringern**

a. Anzahl Fahrten reduzieren. Wo möglich ist die Anzahl der Fahrten in einem Gelände zu verringern, da jede Fahrt dazu beiträgt, den Boden weiter zu verdichten. (→ siehe auch «minimalinvasive Bestellung»)

b. Zusätzliche Bereifung. Bei schweren Geräten bietet es sich an zusätzliche Bereifung zu montieren. Einerseits nimmt dadurch der Druck auf den Boden ab (durch die grössere Fläche, auf welche das Gewicht verteilt wird), andererseits werden Spurrinnen weniger tief.

c. Leichtere Bewirtschaftungsgeräte. Bei schweren Geräten sind Achslast bzw. resultierender Druck auf den Boden sehr gross. Die Verdichtung des Bodens hat einen grossen Einfluss auf dessen Porosität. Verdichteter Boden kann wesentlich weniger (schnell) grössere Mengen an Wasser aufnehmen. Insbesondere sind Spurrinnen ein Problem bei Oberflächenabfluss, da diese das Wasser zum tiefsten Punkt ableiten, welches ansonsten über eine grössere Fläche versickern könnte.

2. **Bsp. Boden schonen und aufbauen**

a. Ackerbau: Erhalten und Aufbauen der Bodenstruktur zur Erhöhung der Wasser-, Kohlenstoff und Nährstoffspeicherkapazität des Bodens mittels Verzicht auf invasive, substanz-/strukturschädigende Bodenbearbeitung bietet sehr grosses Potenzial. Erfordert Umstellung auf regenerativen Ackerbau (z.B. Direktsaat, konservierende Landwirtschaft, optional auch im Verbund mit Tierhaltung).

b. Weidewirtschaft: Erhalt und Aufbau der Bodenstruktur zur Erhöhung der Wasser-, Kohlenstoff und Nährstoffspeicherkapazität des Bodens mittels naturnahem Weidemanagement. Erfordert Umstellung auf regenerative Weidewirtschaft, z.B. Rotationsbeweidung, wo eine Simulation der Bewegungsmuster ursprünglicher Grossherbivoren zu deutlicher Bodenregeneration führt [86].

c. Diverse weitere regenerative Ansätze und Methoden im ökologischen Landbau und der Permakultur wie z.B. Einsatz von Terra Preta Kohle zur Erhöhung der Wasser-, Kohlenstoff und Nährstoffspeicherkapazität [87], optional auch im Verbund mit einer Optimierung der Mikroorganismenaktivität.

3. **Massnahmen gegen Entwässerung und Austrocknung des Bodens**

a. Rückbau von land- und forstwirtschaftlichen Entwässerungssystemen / Drainagen bzw. deren Umbau zu intelligenten Systemen (steuerbare Abflüsse), wo gezielter Rückstau eine nachhaltige Rehydrierung der Flächen ermöglicht. Wasser aus Niederschlägen bleibt so länger verfügbar, und die erhöhte Bodenfeuchte steigert wiederum die Versickerungsleitung des Bodens bei Niederschlägen.

b. Beschattung, Kühlung und Anreicherung des Bodens mit Feuchtigkeit: Effiziente Massnahmen zur Vermeidung vegetationsfreier Flächen bzw. Phasen durch Unter-/Zwischensaat sowie durch Pflanzung von Bäumen (Agroforst) erhöhen zudem die Versickerungsleistung des Bodens für Niederschläge stark.

c. Verzicht auf invasive Bodenbearbeitung (insb. Pflügen): die mit dem Aufbruch des Bodens einhergehende Austrocknung wird reduziert, und der Erhalt der gewachsenen Bodenstruktur steigert Versickerungsleistung und Speicherkapazität.

d. Anlage von Sickerflächen, Überflutungszonen: diverse bereits erwähnte Massnahmen.

Abbildung 21: Beispiel Rotationsbeweidung, Bildquelle: FIBL

Abbildung 20: Beispiel Untersaat, Bildquelle: S. Schwarzer

4 Synergien Schwammland mit laufenden Programmen

Diverse Akteure haben die Notwendigkeit für natürlichen Klimaschutz und Klimaanpassung in der Landschaft erkannt, und es gibt es bereits entsprechende Forschung sowie politische und privatwirtschaftliche Vorstösse und Projekte in der Schweiz, die in diese Richtung abzielen. Manche dieser Vorstösse sind erfolgreicher als andere, alle haben aber gemeinsam, dass man an ihnen anknüpfen, von ihnen lernen und Synergien nutzen kann. Für eine Schwammland-Planung bietet es sich daher an, die unterschiedlichen Anknüpfungspunkte gezielt zu nutzen und auf die entsprechende Fachkompetenz in allen Sektoren abzustützen, um für Auftraggeber, Akteure und Allgemeinheit einen möglichst grossen Mehrwert zu schaffen.

4.1 Warum braucht es ein Bottom-Up Vorgehen?

Wie eine grobe Analyse zeigt, geht eine Reihe von bestehenden Programmen des Bundes und der Kantone (u.a. Strategien und Programme für Klimaanpassung, Nachhaltigkeit, Biodiversitätsförderung, ökologische Infrastruktur, Landwirtschaft, usw.) in eine ähnliche Stossrichtung wie das Schwammland-Konzept. Diese weitreichenden «Top-Down»-Programme von Bund und Kantonen geben wichtige Zielsetzungen und Rahmenbedingungen für eine erfolgreiche Klimaanpassung und Biodiversitätsförderung in der Landschaft vor, kommen teils jedoch eher schleppend voran, zudem sind Massnahmen oft noch wenig konkretisiert. Vielfach fehlen auch aktuelle Erkenntnisse.

Ein Beispiel: Die Strategie des Bundes zur Klimaanpassung [88] [89] [90] läuft bereits seit 2012 und koordiniert eine Vielzahl sektorübergreifender Instrumente und Rahmenbedingungen – doch die Umsetzung kommt in der Landschaft bislang weniger zum Tragen, als angesichts der drängenden Entwicklung zu erwarten wäre. Ausserdem fehlen zentrale Erkenntnisse zu essenziellen regulatorischen Ökosystemleistungen (v.a. Rückkopplungen von Wasser/Vegetation auf das Klima) und zur Bedrohung durch katastrophale Kombinationen von Extremereignissen (compound extremes).

Wie nachfolgend aufgezeigt, scheint der «Bottom-Up» Ansatz unverzichtbar, um effizienten und kostengünstigen natürlichen Klimaschutz, Klimaanpassung und Biodiversitätsförderung durch naturbasierte Lösungen innert nützlicher Frist in die Landschaft zu bringen.

Das Schwammland-Konzept setzt daher in erster Linie auf Gemeinden, lokale Akteure und Vereine, die nicht zuwarten, sondern etwas bewegen wollen.

Abbildung 22: Praxisbeispiel Schilf-Retentionsanlage, Geuensee (LU). Das bereits 2002 von der Firma seecon gmbh erstellte Projekt zeigt gut auf, wie kommunale Regenwasserrückhalte nachhaltig gestaltet werden können und wie durch «Bottom Up»-Ansatz wegweisende Lösungen schon heute in die Landschaft kommen. Die naturnahe Anlage dämpft Abflussspitzen bei Hochwasser, reichert Grundwasser an und dient als wertvolle Biotopfläche für die heimische Artenvielfalt. Durch die einfache Bauweise und den minimalen Unterhalt sind Schilf-Retentionsanlagen eine kostengünstige Alternative zu herkömmlichen Lösungen. Bildquelle: seecon gmbh.

4.2 Grobe Auslegeordnung der Strategie Klimaanpassung des Bundes

In Bezug auf die Landschaft liefert eine grobe Betrachtung der **«nationalen Strategie zur Klimaanapassung»** [88] [89] [90] folgendes Bild (Stand Frühjahr 2023):

Sektor Landwirtschaft:

- Der Aktionsplan Klimaanpassung des Bundes 2022-2025 [90] verweist insbesondere auf die 2020 ausgearbeitete Agrarpolitik (AP 22+), welche die Klimastrategie Landwirtschaft umfasst. Das Geschäft AP 22+ wurde jedoch aus politischen Gründen sistiert. Selbst wenn die AP 22+ doch noch verabschiedet würde, sind kaum griffige Massnahmen im Hinblick auf Ressourcenschonung (Boden, Wasser) oder Biodiversitätsförderung zu erwarten. Dasselbe dürfte für ökologische Ziele oder für konkrete Massnahmen zur Förderung der Biodiversität in der Landwirtschaft gelten.
- Bezüglich Landwirtschaft weist der Aktionsplan des Bundes [90] folgende Stossrichtungen auf: Einsatz angepasster Nutzpflanzen und Tierrassen, schonende Wasser-/Bodennutzung (inkl. Verbesserung Infiltration und Speicherkapazität, Erosionsprävention, Effizienzsteigerung Bewässerung, nachhaltiges Humusmanagement sowie eine Prüfung von Fördermöglichkeiten z.B für wasserschonende, nachhaltige Produktionssysteme), standortangepasste Produktion, Ausbau Monitoring und Frühwarnung, Unterstützung von Risikomanagement (Versicherungsprämien für Ernteausfälle). Es ist vorgesehen, dass Kantone und die landwirtschaftliche Forschung und Beratung für diese wichtigen Themen Grundlagen erarbeiten.
- Der Bodenschutz wird im Aktionsplan des Bundes [90] ausdrücklich als klimarelevant ausgewiesen (Kohlenstoff-/Wasserspeicher, vegetationsbasierte Verdunstungskühlung). Doch Massnahmenempfehlungen sollen erst nach einer nationalen Bodenkartierung erfolgen (frühestens in 10 bis 15 Jahren).
- Offenbar keinen Anpassungsbedarf sieht der Aktionsplan bei der künstlichen Entwässerung (unterirdische Drainage, Drainagekanäle), obschon die Widerstandsfähigkeit einer Landschaft gegen Dürren durch stete, rasche Ableitung von Niederschlägen stark geschwächt wird, dies bereits heute insbesondere trockenheitsanfällige Gebiete betrifft und ein Paradigmenwechsel bereits vielerorts gefordert wird [51] [91] [92]. Wo Drainagen für landwirtschaftliche Produktion auch künftig unverzichtbar sind, wäre ein Umbau zu steuerbaren Systemen sinnvoll.
- Vielen LandwirtInnen fehlt somit aktuell eine konsolidierte Strategie bzw. konkrete Massnahmenempfehlungen, sie sind für die Klimaanpassung weitgehend auf sich selbst gestellt.

Sektor Wald:

- Bezüglich Wald weist der Aktionsplan des Bundes [90] u.a. folgende Stossrichtungen auf: Minimierung der Massenvermehrung von Schadorganismen (Borkenkäfer u.a.), Evaluation Standorteignung für Nadelholzanbau, Grundlagen zu Waldentwicklung (u.a. Forschungsprogramm WSL), Waldbrandwarnung / Frühwarnung, Verminderung Waldbrandrisiko, Revision Handbuch Sturmschaden, Anpassung Schutzwaldpflege, Forschung und Sicherung der Ökosystemleistungen von Wäldern und urbanen Bäumen.
- Das Forschungsprogramm der WSL zu Wald und Klimawandel [37] [93] [94] liefert u.a. folgende Handlungsempfehlungen: Generell soll die Erhaltung der Naturverjüngung und eines breiten Baumartenspektrums angestrebt werden (d.h. Risikoverteilung angesichts unsicherer Prognosen). Auch eine Reduktion der unnatürlich hohen Fichtenanteile (hohe Störungsanfälligkeit) wird empfohlen. Das Forschungsprogramm hat zudem versucht, anhand von Klimamodellen eine möglichst geeignete Baumartwahl für unterschiedliche Waldstandorte zu prognostizieren[3],

[3] Dieses Vorgehen ist nicht unüblich, liefert aber aufgrund der verwendeten Klimamodelle nur bedingt geeignete Prognosen und ist in Expertenkreisen daher umstritten: Die Untersuchung langfristiger Tendenzen bzw. einer möglichen Klimazukunft kann für die Baumartwahl irreführend sein. So dürften die sich häufenden und teils einschneidenden Extremereignisse wie z.B. Waldbrände oder schwere Stürme vermutlich massgebender sein für die Entwicklung, Anpassung und Resilienz des Waldes [25].

die dann im Hinblick auf den Umgang mit Problemflächen oder Ereignisfällen vorgeschlagen werden. Weitere Empfehlungen und Umsetzungstools sind in Erarbeitung.
- Erwähnt wird die grosse Bedeutung der Waldböden u.a. als Wasserfilter/-speicher, Nährstoff- und Kohlenstoffspeicher und die zentrale Rolle der Böden für ein klimaangepasstes Waldmanagement [37]. Empfehlungen zum Erhalt dieser nicht erneuerbaren Ressource umfassen u.a. bodenschonende Bewirtschaftung und Erschliessung, Förderung Verjüngung/permanente Bestockung mit angepassten Baumarten, das Belassen der Ernterückstände im Bestand und die Kalkung übersäuerter Waldböden. Nicht berücksichtigt werden synergetische Massnahmen für Erhalt und Förderung der natürlichen Bodenfunktionen und der Waldbiodiversität wie z.B. gezielte Wiedervernässung, Rückbau der Entwässerungen in Waldböden, Bewirtschaftungsverzichte oder -moratorien zur Stärkung reifer und naturnaher Wälder [25]. Als klimarelevante Ökosystemleistung wird v.a. die Kohlenstoffspeicherung erwähnt [37], nicht aber die Bedeutung der kleinen Wasserkreisläufe insbesondere Waldgebieten mit den damit verbundenen Effekten (vegetationsbasierte Verdunstungskühlung, Steigerung von Wolkenbildung und Niederschlägen, etc.) und dem daraus folgenden grossen Potenzial für natürlichen Klimaschutz und Klimaanpassung [22] [24] [25] [26] [27] [33] [34] [35] [60] [71] [73] [82].

Sektor Gewässer / Wasserhaushalt / Wasserkreisläufe:
- Der Aktionsplan Klimaanpassung des Bundes 2022-2025 [90] fokussiert v.a. auf den Umgang mit künftiger Wasserknappheit und die Überprüfung von Gewässerschutzmassnahmen und setzt dort im Wesentlichen auf Wissensmanagement/-transfer.
- Wasserretention wird nur im Zusammenhang mit grösseren Speichern (Seen, Stauseen) betrachtet. Nicht erwähnt werden Massnahmen zur Regenbewirtschaftung und ökosystembasierte, dezentrale Massnahmen zur Abflussverzögerung, Wasserspeicherung, Steigerung der Grundwasserneubildung und Biodiversitätsförderung, wie z.B. Auenreaktivierung, Förderung von Feuchtgebieten oder Wiedervernässung von Mooren.
- Die kleinen Wasserkreisläufe und damit verbundene Rückkopplungspotenziale auf das Klima sowie weitere relevante vegetationsbasierende Effekte (z.B. Verdunstungskühlung, Steigerung Wolkenbildung und Niederschläge, lokale Erhöhung der Bodenfeuchte durch Baumwurzeln, etc. [22] [24] [25] [26] [27] [33] [34] [35] [60] [71] [73] [82]) werden nicht betrachtet.

Biodiversitätsmanagement:
- Der Aktionsplan Klimaanpassung des Bundes 2022-2025 [90] weist folgende Stossrichtungen auf: Auf- und Ausbau ökologische Infrastruktur, Schutz und Regeneration von Torf- und organischen Böden, Risikoabschätzung für Besonders betroffene Populationen, Arten, Lebensräume, Früherkennung invasiver gebietsfremder Arten, Beschattung kleinerer und mittlerer Fliessgewässer durch Bestockung.
- Die genannten Stossrichtungen werden z.T. auch im Rahmen des Aktionsplans Strategie Biodiversität des Bundes (AP SBS) [95] verfolgt bzw. ergänzen diese.

4.3 Privatwirtschaftliche Programme im Sektor Landwirtschaft

Ergänzend zur nationalen Strategie aus der Politik greifen in der Kulturlandschaft **diverse Produkte- und Produktionslabels** Massnahmen zu einer nachhaltigeren Landwirtschaft auf, die auch mit Schwammland-Massnahmen kompatibel sind bzw. in die gleiche Stossrichtung gehen. Viele dieser Labels stützen sich auf politische Entscheidungen und Fördermittel (z.B. ÖLN), gehen aber teils deutlich weiter. Dies zeigt, dass sich eine Anpassung nicht nur ökologisch sondern auch wirtschaftlich lohnt, und dass der «Bottom-Up» Ansatz schneller reif ist als die Top-down-Strategie.

BIO SUISSE:
- Jeder Betrieb muss mind. 12 Massnahmen zur Förderung der Biodiversität ergreifen. Beispiele: Pflege von Hecken, Waldrändern, Trockensteinmauern, Haltung von Bienen usw.

- Bodenfruchtbarkeit und Bodenpflege: Die Erhaltung und Steigerung der natürlichen Bodenfruchtbarkeit stehen im Zentrum aller Massnahmen. Ein vielseitiger Bewuchs und eine möglichst lückenlose Bodenbedeckung bieten dazu die besten Voraussetzungen.
- Humuswirtschaft: Die Zufuhr und der Aufbau organischer Substanz ersetzen langfristig mindestens die Abbauverluste. Der Anbau von Kunstwiesen, geeigneten Gründüngungspflanzen und die Begrenzung des Hackfruchtanteils in der Fruchtfolge sowie die Einarbeitung von organischem Material dienen diesem Ziel.
- Bodenbearbeitung: schonende und zurückhaltende Bearbeitung. Tiefes Pflügen ist ebenso zu unterlassen wie jede Bearbeitung des Bodens bei nassem Zustand.
- Fruchtfolge: Die Fruchtfolge ist so vielseitig und ausgewogen zu gestalten, dass sie auf lange Sicht die Bodenfruchtbarkeit erhält und gesunde Pflanzen gewährleistet. Die Fruchtfolge muss den Austrag von Nährstoffen ins Grundwasser und in die Oberflächengewässer minimieren.
- Arten- und Sortenwahl: Für den Anbau werden Sorten/Arten verwendet, die für die jeweiligen örtlichen/regionalen Bedingungen am besten geeignet, möglichst wenig krankheitsanfällig und von guter ernährungsphysiologischer Qualität sind.

Demeter:
- Beim Anbau stehen der Humusaufbau und die Gesundheit der Pflanzen im Mittelpunkt. Dies wird unterstützt durch die biologisch-dynamischen Präparate aus Heilkräutern, Kuhdung und Quarz.
- Bodenbearbeitung und Fruchtfolge sind bei der Begleitpflanzenregulierung von entscheidender Bedeutung. Mechanische Massnahmen sind gegenüber thermischen zu bevorzugen. Das Dämpfen ist nur für die Anzuchterde erlaubt.
- Die Begrünung soll standortgerecht aus vielerlei Pflanzenarten zusammengesetzt sein. Bei Bedarf können Baumstreifen bzw. der Bereich unter den Pflanzen mit mechanischen und thermischen Methoden freigehalten werden. Der Boden darf aber nicht ganzjährig ohne Bewuchs oder Bedeckung sein.

Pro Specie Rara:
- Das Gütesiegel schafft die Grundlage für die nachhaltige Absicherung und Förderung der Biodiversität im Bereich der Kulturpflanzen und Nutztiere. Es gibt Auskunft über Sorten- und Rassenechtheit und sichert die Qualität der geförderten Genetik durch ein internes und ein externes Kontrollsystem.

IP-Suisse:
- Zur Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit, Minimierung der Grundwasserbelastung und Verminderung der Erosion gilt: erfolgt der Pflugeinsatz vor dem 15. November, ist spätestens nach 5 Monaten eine Folgekultur anzupflanzen.
- Zwischen Weizen und Weizen auf der gleichen Parzelle ist eine Anbauphase von mindestens einem oder mehreren Jahren einzuschalten.

Hochstamm Suisse:
- Die Hochstammbäume weisen eine Stammhöhe von mind. 1.6 m auf (bei Steinobst: 1.2 m).
- Ernte und Verarbeitung der Rohstoffe von Hochstammbäumen erfolgen getrennt von anderen Produktionsformen.

Agrarökologische Bewegungen
Darüber hinaus bestehen ähnliche Bestrebungen in diversen agrarökologischen Bewegungen wie der **Permakultur** und der **Agroforstwirtschaft**, die sich generell nachhaltigen bzw. regenerativen Anbaumethoden verschreiben und zudem einen Fokus auf die Optimierung des Wasserhaushalts mit naturbasierten Lösungen setzen. Damit integrieren die agrarökologischen Bewegungen wesentliche Aspekte des Schwammland-Prinzips in der Regel bereits seit Längerem und sind wertvolle Partner für den Erfahrungsaustausch.

5 Schweizer Schwammland-Pilotprojekte

5.1 Pilotprojekte im Sektor Landwirtschaft

Ein wegweisendes Projekt stellt das 2023 vom Ebenrain-Zentrum für Landwirtschaft, Natur und Ernährung gestartete Forschungsprojekt **«Slow Water»** dar (s. Abbildung 6). Das Projekt ist ein vom Bundesamt für Landwirtschaft mitfinanziertes Ressourcenprojekt zur Klimaanpassung der Kulturlandschaft, wo Regenwasser durch eine Reihe von naturbasierten Retentionsmassnahmen gespeichert und versickert und Bodenerosion vermieden wird. Die Massnahmen des Projekts entsprechen dem Schwammlandprinzip in den Sektoren Kulturland und Gewässernetz. Das Projekt untersucht entsprechende Massnahmen in zwei Schweizer Pilotregionen in den nächsten 6 Jahren. Die praktischen Erkenntnisse aus diesem Projekt wie auch die im Rahmen des Projekts vorgesehenen neuen Finanzierungsmöglichkeiten für Landwirtschaftsbetriebe sind äusserst wertvoll.

- Weitere Infos hier: Projekt Slow Water

Auf dem **Katzhof in Reiden** (s.a. Abbildung 12) wird derzeit ein natürliches Wassermanagement auf der Basis des **Key Line Design** umgesetzt und ergänzend dazu ein Agroforstsystem geplant, das die positiven Effekte auf den Wasserhaushalt unterstützen und gleichzeitig eine grosse Vielfalt an Lebensmitteln hervorbringen soll. Gefördert wird das Projekt von der Stiftung Visio Permacultura.

- Weitere Infos hier: WasserKultur Katzhof

Abbildung 23: Neu angelegte Key-lines am Katzhof in Reiden: Die nur mit leichtem Gefälle entlang der Höhenlinien ausgehobenen Gräben verteilen Regenwasser kontrolliert auf dem ganzen Feld und ermöglichen eine effiziente Versickerung. Überschüssiges Wasser sammelt sich in Becken und Teichen, von wo es bei Bedarf wiederum zur Bewässerung eingesetzt werden kann. Planung & Bildquelle: P. Gehrhardt / baumfeldwirtschaft

Das **Agroforstprojekt in Wallenbuch**, Kanton Freiburg, hat Hunderte Hochstämmer, Spindeln und Beerenbüsche für ein Agroforstsystem gepflanzt, unterstützt u.a. vom Fonds Landschaft Schweiz, der Stiftung Visio Permacultura und Myclimate. Neben Produktdiversifizierung und Erhaltung alter Sorten wurde Lebensraum für Vögel und Insekten geschaffen und Wasserspeicherung und Bodenfruchtbarkeit erhöht. Spezielle Nisthilfen fördern die Ansiedlung von Säugetieren und Reptilien.

- Weitere Infos hier: Agroforst Wallenbuch

Abbildung 24: Neu gepflanztes Agroforstsystem in Wallenbuch: Im November 2021 wurden auf drei Hektaren 107 Hochstammbäume, 147 Spindeln und 114 Beerensträucher gepflanzt. Die Nord-Süd-ausgerichteten Reihen sind so angelegt, dass Früchte mit ähnlichen Erntezeitpunkten benachbart wachsen, damit durchs Jahr von hinten nach vorne durchgeerntet werden kann. Bildquelle: Visio Permacultura

5.2 Pilotprojekte im Sektor Gewässer

Wie erwähnt bestehen im Sektor Gewässer grosse Synergien mit der Schweizer Gewässerschutzgesetzgebung und den Revitalisierungsbestrebungen der öffentlichen Hand. Neben grosszügigen Bundes– und Kantonsbeiträgen sind sogar zusätzliche Beiträge von Stiftungen, Fonds (insbesondere «Ökofonds» der Wasserkraftbetreiber) oder NGOs möglich. Dank dieser Finanzierungen konnten bereits einige schwammlandspezifische Projekte zur Abflussverzögerung, Wiedervernässung und zur Steigerung von Klimaresilienz und Biodiversität der Landschaft umgesetzt werden.

Zum Beispiel wurden eine Reihe kostengünstiger Projekte zur gezielten Wiedervernässung entlang von Bachläufen mittels künstlicher Biberdämme («**Beaver Dam Analogs**» bzw. BDAs [52] [53]) auf Wunsch von Landwirten initialisiert, um Niederschlags- und Trockenextreme im Kulturland besser puffern zu können[4]. Diese BDA-Projekte wurden i.d.R. im niederschwelligen Verfahren als subventionsberechtigte Gewässerunterhaltsmassnahmen sowie dank grosszügigen Beiträgen aus Ökofonds ohne Restkosten für Grundeigentümer oder Gemeinde umgesetzt. Die Emch+Berger AG Bern hat diese Projekte von der Idee bis zu Umsetzung begleitet und auch ein erstes **BDA-Faktenblatt** für die Planung und Erstellung derartiger Strukturen veröffentlicht. Die Entwicklung der Pilotprojekte wird derzeit durch die Spezialisten von Umweltbildner mit einem ökologischen Monitoring untersucht. Weitere BDA-Projekte sind derzeit in Planung.

– Infos hier: Schwammland Schlossbach, Faktenblatt BDA

Abbildung 25: Obern: Erstellung von künstlichen Biberdämmen / BDAs zur Wiedervernässung von Uferbereichen und zur Schaffung multifunktionaler Schwammlandflächen im Gewässerraum. Unten: Ausschnitt einer fertiggestellten BDA-Kaskade mit der natürlichen Entwicklung des Gewässerraums zu einem Feuchtgebiet. Die BDAs können leicht von Hand bzw. mit Unterstützung einer tragbaren Pfahlramme oder, wo sinnvoll, auch mit Einsatz von Baumaschinen erstellt werden. In der dicht besiedelten Schweiz sind mögliche Anwendungen von BDAs stets standortspezifisch zu analysieren und deren Machbarkeit zu prüfen. Potenzielle Standorte liegen v. a. ausserhalb der Bauzonen: extensiv genutztem Kulturland, im Wald und in Naturschutzgebieten. Bildquellen: Emch+Berger; C. Angst / Biberfachstelle

[4] Meist in Gewässern ohne Biberbesiedlung bzw. mit baulichen oder betrieblichen Hindernissen, die eine Besiedlung verunmöglichen

Im Projekt **Biberaue Ferenbalm** hat die Emch+Berger AG Bern im Auftrag von Pro Natura Bern das an den Biberenbach angrenzende Wiesland (ehemaliges Auengebiet) für die Förderung der Biodiversität und der Klimaresilienz dauerhaft unter Wasser gesetzt und Amphibienteiche erstellt. Die Bewirtschaftung wurde entsprechend extensiviert und entschädigt. Vom Projekt beabsichtigt ist, dass der Biber die erstellten **Initialmassnahmen** übernehmen und durch seine Tätigkeit deren Wirkung vervielfältigen kann. Mittlerweile ist ein wertvolles Feuchtgebiet entstanden, welches als Retentionsfläche auch die Hochwasserereignisse des Biberenbachs dämpft. Insgesamt konnte im Einzugsgebiet ein wertvoller multifunktionaler Schwammlandbereich geschaffen werden.

- Weitere Infos hier: Biberaue Ferenbalm

Abbildung 26: Wiederherstellung eines Feuchtgebiets mit Schwammlandfunktion an der Biberaue Ferenbalm durch die gezielte, mittels Kanälen steuerbare Vernässung einer Extensivwiese: Links: Geländegestaltung zur Wasserführung. Rechts: Natürliche Entwicklung des Feuchtgebiets. Bildquellen: Emch+Berger; J. Ryser / Pro Natura.

Die **Schilf-Retentionsanlage in Geuensee**, Kanton Luzern (s. a. Abbildung 22) wurde von der Firma seecon gmbh geplant und umgesetzt und wird mit einem Praxisbeispiel einer stellt eine gute Schwammland-Lösung für kommunalen Wasserrückhalt und Grundwasseranreicherung mit integrierter Artenförderung dar. Dank definierter Einlauf-/Entlastungsbedingungen und -volumen ist diese naturnahe Lösung analog herkömmlicher Retentionsbauwerken problemlos als Hochwasserschutzmassnahme anrechenbar. Zudem kann das zurückbehaltene Wasser künftig genutzt werden, beispielsweise zur Bewässerung in der Landwirtschaft.

- Weitere Infos hier: Schilf-Retentionsanlage Geunesee

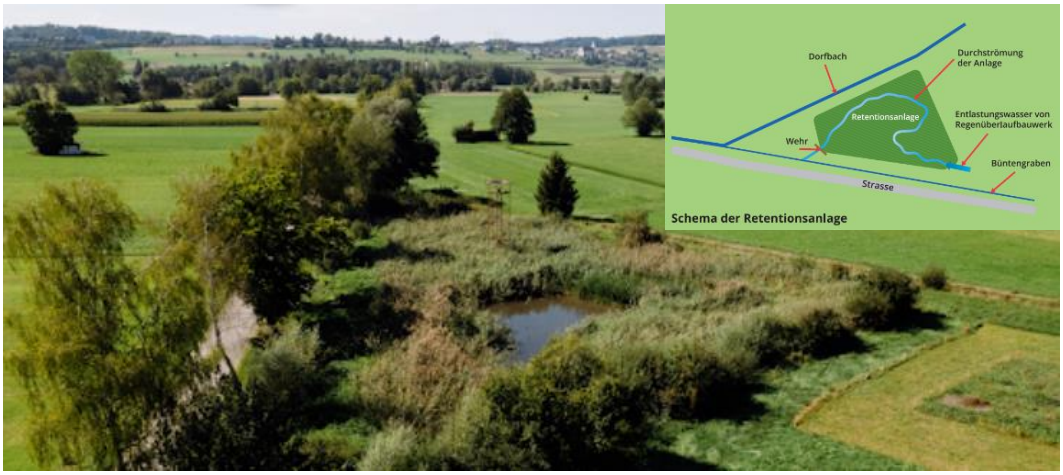

Abbildung 27: Schilf-Retentionsanlage in Geuensee (LU). Die multifunktionale, naturnahe Anlage dämpft Abflussspitzen bei Hochwasser, reichert Grundwasser an und dient als wertvolle Biotopfläche für die heimische Artenvielfalt. Durch die einfache Bauweise und den minimalen Unterhalt sind Schilf-Retentionsanlagen eine kostengünstige Alternative zu herkömmlichen Lösungen. Bildquelle: Gemeinde Geuensee; seecon gmbh

5.3 Pilotprojekte im Sektor Wald

Wegweisend für die Wiedervernässung von Waldstandorten, den Erhalt und die Förderung der biologischen Vielfalt im Schweizer Wald ist die Vollzugshilfe des Bundes «Biodiversität im Wald: Ziele und Massnahmen» [96]. Projekte, die den hohen Naturwert langfristig sichern, können über die laufende Programmvereinbarung zwischen Bund und Kanton [97] im Rahmen des Teilprogramms «Waldbiodiversität» mitfinanziert werden. Im Mittelland und in prioritären Gebieten werden die finanziellen Anreize des Bundes für Waldreservate verstärkt. Kantonale und regionale Ökofonds unterstützen zudem wegweisende Projekte.

Ein Beispiel ist das von der Impuls AG – Wald Landschaft Naturgefahren erstellte Projekt **Bodenwald in Amsoldingen.** Das Projekt zeigt, dass mittels geeigneter Massnahmen ein Wasserrückhalt gewährleistet und feuchte Waldstandorte wiederhergestellt werden können. Die angestrebten Seggen-Schwarzerlenbruch-, Seggen-Bacheschen- und Ahorn-Eschenwälder bieten als wertvolle und schützenswerte Waldstandorte Lebensraum für seltene Arten, die heute aufgrund von Entwässerungen nur noch reliktartig vorkommen. Die umgesetzten Massnahmen leisten einen wesentlichen Beitrag zur Erhaltung der Biodiversität, zur Reduktion von Hochwasserspitzen und zur Verhinderung von Trockenstress bei Flora und Fauna.

Abbildung 28: Durch den Wasserrückhalt neu entstandene Feuchtbiotope (überschwemmte Mulden und verlandete Gewässer), die von standorttypischer Flora und Fauna besiedelt werden. Bildquellen: Impuls AG.

Ein weiteres Projekt der Impuls AG sieht **im Smaragdgebiet Oberaargau** vor, Relikte national prioritärer, heute in der Schweiz seltenen Feuchtwälder mittels geeigneter Massanahmen wieder zu vernässen. Diese Waldgesellschaften bieten für zahlreiche Krautpflanzen, Insekten, Vögel, Moose, Pilze, Farne und Amphibien ein einzigartiges Habitat. Die Vernässung und die damit einhergehende Revitalisierung dieser Wälder trägt zur langfristigen Förderung der Artenvielfallt bei, dämpft Hochwasserabflüsse und Trockenextreme.

Abbildung 29: Zur Förderung standortgerechter Flora und Fauna und zur Etablierung prioritärer Waldstandorte sollen bestehende Drainagegräben eingestaut und das Grundwasser wieder auf das ursprüngliche Nivea angehoben werden. Bildquellen: Impuls AG.

Diese Schwammlandbeispiele im Wald dienen der Lebensraumaufwertung und der Pufferung des Wasseraushalts. Die Planung erfolgt Hand in Hand mit den tangierten Grundeigentümern. Bewirtschaftungsverträge, die in Zusammenarbeit mit dem Amt für Wald und Naturgefahren erstellt werden, sichern über einen Zeithorizont von Jahrzehnten eine nachhaltige Entwicklung zugunsten der Natur und gewährleisten im Sinne der Grundeigentümer eine standortgerechte Bewirtschaftung.

6 Ausblick

6.1 Ausblick Sektor Landwirtschaft

Abhängig von der sektorspezifischen Entwicklung – z.B. auch Forschungsprojekt «**Slow Water**» des Ebenrain – ist es möglich, Schwammlandmassnahmen im Kulturland, insb. angepasste Anbaumethoden, künftig durch **landwirtschaftliche Programme** zu fördern. Zeithorizont bis zur Förderung: voraussichtlich > 5 Jahre. Bereits heute sind Förderungen gewisser Schwammlandmassnahmen im Kulturland möglich, siehe dazu auch Kap. 3.3.1 und Kap. 5.1.

Der Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute (VSA) forderte Bund und Kantone unlängst auf, nur noch **Drainagen** zu subventionieren, für die nachgewiesen wurde, dass die landwirtschaftliche Produktion Vorrang vor Naturschutzinteressen geniesst, wodurch auf vernässten und wenig produktiven Böden künftig Feuchtgebiete wiederhergestellt [92], bzw. multifunktionale und gesamtgesellschaftlich wertvolle Schwammlandflächen realisiert werden könnten.
Da künstliche Entwässerungssysteme die natürliche Pufferung des Wasserhaushalts stören, bzw. im Zuge des Klimawandels die Anfälligkeit der Landschaft für Trockenheit sowie die Hochwasserspitzen für Unterlieger erhöhen dürften, ist aus Sicht Schwammland dringend empfohlen, Drainagen als **steuerbare Systeme** umzugestalten (intelligente Drainage, auch zur temporären Niederschlagsspeicherung bzw. Steigerung von Grundwasserstand und Bodenfeuchte einsetzbar [98]) wo nicht darauf verzichtet werden kann. Herkömmliche Drainagen können relativ leicht nachgerüstet werden, z.B. mit dem System der Firma Permarobotics (Stauschacht mit einer Steuerung basierend auf Pegelstandmesser, Regen- und Bodensensoren).

6.2 Ausblick Sektoren Gewässer und Wald

Basierend auf dem Projekt **Auenmodell für die Schweiz**, erstellt von der nationalen Biberfachstelle wird der Bund in der nächsten Jahren gezielt die Identifikation und Ausscheidung von Flächen oder Regionen fördern, die vom Biber durch den Bau von Dämmen vernässt oder überschwemmt werden können. Die Ausscheidung dieser Flächen in Waldgebieten bzw. dazu notwendige Massnahmen und Entschädigungen sollen künftig **über den nationalen Finanzausgleich gefördert** werden (ab Periode 2025-2028).
Mit dem erwähnten Auenmodell können einerseits Flächen ausfindig gemacht werden, auf denen zum Beispiel feuchte Wälder für Naturschutz und Klimaresilienz gefördert werden können. Andererseits können damit im Offenland aber auch Konfliktgebiete proaktiv erkannt und allfällige Massenahmen zur Lösung der Konflikte geplant werden, bevor sie erst entstehen. Das Auenmodell ist damit auch eine zentrale Grundlage und Schnittstelle für die **Erarbeitung von Schwammlandmassnahmen** entlang der Gewässer. Das Modell wird künftig als Datensatz im Katalog der nationalen Geodaten verfügbar gemacht (geo.admin.ch).

Abbildung 30: Links: Natürliches Biberdammrevier in Marthalen ZH (gestauter Bach im Waldgebiet). Rechts: Kartenausschnitt Auenmodell mit Potenzialgebieten für Vernässung durch natürliche Biberdämme. Bildquelle: Biberfachstelle.

6.3 Ausblick Wasserversorgung

Die Fachorganisation der Schweizer Trinkwasser-, Gas- und Fernwärmeversorger (SVWG) erarbeitet derzeit mit einer spezifischen Arbeitsgruppe einen **Masterplan Trockenheit**, worin explizit auch ökosystembasierte Schwammland-Lösungen für ein ganzheitliches Wassermanagement konkretisiert werden (dezentraler Rückhalt von Niederschlägen bzw. Abflüssen in der Landschaft, Wiedervernässung und Förderung der Versickerung und koordinierte, synergetische Revitalisierung von Fliessgewässern und Feuchtgebieten, [57])

Die **Grundwassermonitorings und -modellierungen** (CH-GNet/EAWAG, UNINE) werden laufend verfeinert, die Modelle sind bald in der Lage spezifische Prognosen liefern zu können, um künftig auch in der Schweiz Probleme wie Wasserstress frühzeitig zu erkennen [57] [99]. Das Monitoring von Trockenheit bzw. hydrologischen Dürren bietet auch eine Grundlage für strategische Schwammland-Planungen sowie für Modellierungen oder Monitorings von Schwammland-Massnahmen.

6.4 Mögliches Vorgehen einer strategischen Schwammland-Planung

Wie dargelegt wird aktuell in erster Linie ein «Bottom-Up» Ansatz verfolgt, der die Chancen gemeinsam mit lokalen Akteuren und Stakeholdern dort ergreift, wo sie sich lokal bieten. Als **komplementäres Vorgehen** könnte aber auch eine **strategische Schwammland-Planung** auf regionaler, kantonaler oder nationaler Ebene angestrebt werden. Hierzu wäre folgendes Vorgehen denkbar:

Fachleute / Experten im Bereich Ingenieurökologie, Wasserwirtschaft, Wasserbau, Landwirtschaft, Naturschutz und Raumplanung sollten eine umfassende Bewertung der versch. Regionen durchführen, um zu bestimmen, wo ein Schwammlandkonzept am dringlichsten oder am effektivsten umgesetzt werden könnte. Zu berücksichtigen sind insbesondere spezifische lokale Bedingungen und Anforderungen, damit die Umsetzung optimal auf lokale Gegebenheiten abgestimmt ist:

- Geografie, Hydrologie und Naturschutz: Eruieren von (ehem.) Feuchtgebieten und Gebieten mit Vernässungspotenzial bzw. wertvoller Schwammfunktion, die (wieder-)hergestellt werden können (u.a. Auenmodell, Feuchtackerflächen, blau-grüne Infrastruktur, Ökologische Infrastruktur)
- Landwirtschaftliche Bedeutung: Regionen mit einer hohen landwirtschaftlichen Produktion und starker Abhängigkeit von Bewässerung dürften von Schwammlandmassnahmen besonders profitieren, um die Verfügbarkeit von Wasserressourcen zu sichern.
- Wasserstress und Dürreanfälligkeit: In Regionen, die von Wasserknappheit und wiederkehrenden Dürren betroffen sind, sind Schwammlandmassnahmen dringend empfohlen.
- Regionale Prioritäten und Ressourcen: Die Umsetzung eines Schwammlandkonzepts erfordert Ressourcen wie Finanzmittel, technisches Know-how und Zusammenarbeit zwischen verschiedenen Interessengruppen. Regionen, in denen bereits ein Interesse und eine Unterstützung für solche Initiativen vorhanden sind, könnten eher bereit sein, ein solches Konzept umzusetzen.

Eine detaillierte Bewertung für die Umsetzung eines Schwammlandkonzepts in einer bestimmten Region sollte verschiedene Aspekte berücksichtigen. Nachfolgend einige **Schlüsselfaktoren**, die in die Bewertung einbezogen werden könnten:

- Hydrologische Analyse: Untersuchung der hydrologischen Bedingungen in der Region, einschliesslich der Analyse von Hochwasserrisiken, Überschwemmungsverhalten, Wasserstandsschwankungen und Wasserspeicherungspotenzial. Synergien mit Hochwasserschutz / Retentionsbedarf identifizieren und nutzen, (Wieder)-herstellen multifunktionaler Überflutungsflächen.
- Boden- und Geländeuntersuchung: Untersuchung von topografischen Merkmalen (Senken, Mulden usw. siehe auch Oberflächenabflusskarte), Bodentypen, Bodenfeuchte, Wasserinfiltrationsraten, um Standorte für die (Wieder-)herstellung von Schwammlandgebieten zu identifizieren / zu priorisieren (siehe z.B. Prioritäre Potenzialflächen für Feuchtgebiete, Kanton ZH).

- Land- und forstwirtschaftliche Bedürfnisse und Potenziale: Bewertung der land- und forstwirtschaftlichen Praktiken und Bedürfnisse in der Region, der relevanten Flächen, der Abhängigkeit von Bewässerung, der Anbaustruktur und der Wirtschaftlichkeit versch. land- und forstwirtschaftlicher Systeme sowie deren Kompatibilität mit Schwammlandmassnahmen. Bewertung potenzieller Nutzen Schwammland für land- und forstwirtschaftliche Produktion und Schaffung finanzieller Anreize für Schwammlandlösungen.
- Wasserressourcenmanagement: Analyse der Wasserverfügbarkeit, des Wasserbedarfs und des aktuellen Wasserressourcenmanagements in der Region, um zu verstehen, wie Schwammlandmassnahmen in das bestehende Wassermanagement eingebunden werden können und welchen Beitrag diese zur Sicherung der Wasserressourcen leisten können.
- Raumplanung, ökologische/ blau-grüne Infrastruktur: Bewertung der ökologischen, landschaftlichen und sozioökonomischen Bedeutung potenzieller Feuchtgebiete/Feuchtbiotope inkl. Abwägung Nutzungsmöglichkeiten, Zielkonflikte und Synergien (z.B. Erholung).
- Stakeholder-Beteiligung: Einbeziehung der lokalen Gemeinschaften, Landwirte, Wasserbehörden, Naturschutzorganisationen und anderen relevanten Interessengruppen, um ihre Perspektiven und Bedürfnisse zu verstehen und sicherzustellen, dass ihre Meinungen und Kenntnisse in den Entscheidungsprozess einfliessen.

6.5 Potenzial einer Zertifizierung von Schwammland-Massnahmen

Zusätzlich zu künftig möglichen sektorspezifischen Förderungen und Finanzierungswegen wäre ein grosser Meilenstein erreichbar, wenn analog den CO_2-Zertifikaten zur Dekarbonisierung auch ein Zertifizierungssystem für Schwammlandmassnahmen realisiert werden könnte, wodurch diese gezielt gefördert und finanziert werden könnten. Bspw. könnten die gespeicherte Wassermenge im Boden (Feuchtegrad), der Kühlungseffekt (Temperatur) und/oder die Grundwasserstände als Messgrössen für Zahlungen etabliert werden. Anders als bei den CO_2-Märkten würden hier Investitionen direkt in die Bioregionen fliessen, von denen die jeweiligen Unternehmen Ökosystemleistungen beziehen und von deren Gesundheit sie abhängen. Firmen eröffnet sich damit die Möglichkeit, direkt und lokal in natürlichen Klimaschutz, Klimaanpassung und Biodiversitätsförderung zu investieren, dies in Bilanz oder Sustainability Reporting abzubilden und im Sinne ihrer Aussenwirkung zu nutzen. Das in der Gründung befindliche Schweizer Startup «Redefine» erarbeitet derzeit eine Finanzierungsplattform in den Bereichen Slow Water/Schwammland und echtem Sustainability / Impact Reporting und ist an Engagements in der strategischen Weiterentwicklung, der Skalierung und Finanzierung interessiert. Kontakt und weitere Infos hier.

7 Fazit

Anhand der sehr grossen, sektorübergreifenden Herausforderungen (**Kap. 2**), der effizienten, naturbasierten Lösungen (**Kap. 3**) und der gemachten Auslegeordnung zu bestehenden Strategien, Programmen und Projekten (**Kap. 4, 5, 6**) wird deutlich,

1. dass ein starker Konsens besteht hinsichtlich der Notwendigkeit, Massnahmen für Klimaadaption zu treffen und dass die im Schwammlandkonzept empfohlenen Massnahmen die bereits laufenden Programme optimal flankieren und ergänzen können
2. dass im Zuge der sich häufenden und gegenseitig verstärkenden Klima- / Wetterextreme und des starken Rückgangs heimischer Arten die Zeit drängt, in den Sektoren Landwirtschaft, Wald und Gewässer Anpassungen vorzunehmen, da ein Zuwarten weiter kritische Substanz vernichtet (Wasser, Boden, Vegetation, Artenvielfalt), die dann bei einer späteren Umsetzung fehlt.
3. dass mit dem «Bottom-Up» Ansatz viel rascher konkrete und Ergebnisse für natürlichen Klimaschutz, Klimaanpassung, Wasserressourcenmanagement und Biodiversitätsförderung in der Landschaft erzielt werden, als dies mit einem «Top-Down» Vorgehen möglich scheint

4. dass bereits einzelne, kleine Massnahmen zur Verbesserung der Klimaadaption und Stärkung der Biodiversität führen können, die beste Wirkung aber in der Summe der Massnahmen auf Einzugsgebietsebene erzielt wird.

- **Angesichts der drohenden Gefahren und dem überdurchschnittlich hohen Schadenpotenzial ist es in der dicht besiedelten Schweiz mit ihrer stark genutzten Landschaft notwendiger als anderswo, jeden Quadratmeter als potenzielle Schwammland- oder Schwammstadtfläche zu betrachten und wo immer möglich natürlich puffernde Funktionen und Systeme zu erhalten, (wieder-)herzustellen oder zu etablieren.**

- **Eine Investition in Schwammland-Lösungen bedeutet somit, die Zukunftsfähigkeit der Landschaft samt der in ihr liegenden Siedlungsgebiete zu stärken und die Lebensgrundlagen langfristig bestmöglich zu sichern. Schwammland-Projekte sind bereits heute möglich und zahlen sich aus – je früher umso besser, und je länger desto mehr.**

Weitere Infos / Anfragen für Schwammland-Planungen:

Niels Werdenberg
Senior Fachexperte Flussbau
und Ingenieurökologie
Schlösslistrasse 23
3001 Bern
Tel. 058 451 65 77
niels.werdenberg@emchberger.ch

Andreas Widmer
Bereichsleiter Flussbau
und Naturgefahren
Schlösslistrasse 23
3001 Bern
Tel. 058 451 65 57
andreas.widmer@emchberger.ch

8 Literaturverzeichnis

[1] Prognos AG, *Schäden der Dürre- und Hitzeextreme 2018 und 2019. Projektbericht „Kosten durch Klimawandelfolgen",* Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz, 2020.

[2] Prognos AG, *Schäden der Sturzfluten und Überschwemmungen im Juli 2021 in Deutschland. Projektbericht „Kosten durch Klimawandelfolgen",* Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz, 2022.

[3] CH2018, *Climate Scenarios for Switzerland, Technical Report, National Centre for Climate Services,* 2018.

[4] Bundesamt für Umwelt BAFU (Hrsg.), *Effects of climate change on Swiss water bodies. Hydrology, water ecology and water management.,* Environmental Studies No. 2101., 2021.

[5] Swiss Re, *Floods and drought: Two sides of the same coin,* 2020.

[6] G. Browder, A. Nunez Sanchez, B. Jongman, N. Engle, E. van Beek, M. Castera Errea und S. Hodgson, *An EPIC Response: Innovative Governance for Flood and Drought Risk Management.,* World Bank, 2021.

[7] O. Rakovec, L. Samaniego, V. Hari, Y. Markonis, V. Moravec, S. Thober, M. Hanel und I. Kumar, *The 2018-2020 Multi-Year Drought Sets a New Benchmark in Europe,* Earth's Future, 2022.

[8] D. L. Schumacher, J. Keune, P. Dirmeyer und D. G. Miralles, *Drought self-propagation in drylands due to land-atmosphere feedbacks,* Nature Geoscience, 2022.

[9] M. Afroz, G. Chen und A. Anandhi, *Drought- and heatwave-associated compound extremes: A review of hotspots, variables, parameters, drivers, impacts and analysis frameworks,* Frontiers in Earth Science, 2023.

[10] S.A Ismail, J. Geschke, M. Kohli et al., *Klimawandel und Biodiversitätsverlust gemeinsam angehen,* Swiss Academies Factsheet 16, 2021.

[11] Bundesamt für Umwelt BAFU (Hrsg.), *Biodiversität in der Schweiz: Zustand und Entwicklung. Ergebnisse des Überwachungssystems im Bereich Biodiversität, Stand 2016.,* Umwelt-Zustand Nr. 1630, 2017.

[12] B. Baur et al., *Biodiversität in der Schweiz,* Forum Biodiversität Schweiz, Akademie der Naturwissenschaften, 2010.

[13] R. García-Herrera, J. M. Garrido-Perez et al., *The European 2016/17 Drought.,* Journal of Climate 32.11., 2019.

[14] H. Mooney, A. Larigauderie, M. Cesario, T. Elmquist, O. Hoegh-Guldberg, S. Lavorel, G. M. Mace, M. Palmer, R. Scholes und T. Yahara, *Biodiversity, climate change, and ecosystem services,* Environmental Sustainability, 2009.

[15] L. Kemp, C. Xu, J. Depledge, K. L. Ebi, G. Gibbins, T. A. Kohler, J. Rockström, M. Scheffer, H. Schellnhuber, W. Steffen und T. M. Lenton, *Climate Endgame: Exploring catastrophic climate change scenarios.,* Proceedings of the National Academy of Sciences, 2022.

[16] S. Yachi und M. Loreau, *Biodiversity and ecosystem productivity in a fluctuating environment: The insurance hypothesis,* Proc. Natl. Acad. Sci. USA, Vol. 96, 1999.

[17] P. J. Den Boer, *Spreading of risk and stabilization of animal numbers,* ActaBiotheoretica, 1968.

[18] I. Widmer, R. Mühlethaler et al., *Insektenvielfalt in der Schweiz: Bedeutung, Trends, Handlungsoptionen,* Swiss Academies Reports 16 (9), 2021.

[19] P. Knaus, S. Antoniazza et al., *Rote Liste der Brutvögel. Gefährdete Arten der Schweiz,* Bundesamt für Umwelt (BAFU); Schweizerische Vogelwarte. Umwelt-Vollzug Nr. 2124., 2021.

[20] U. Gimmi, T. Lachat und M. Bürgi, *Reconstructing the collapse of wetland networks in the Swiss lowlands 1850-2000,* Landscape Ecology, 2011.

[21] Bundesamt für Umwelt BAFU und InfoSpecies, *Gefährdete Arten und Lebensräume in der Schweiz,* 2023.

[22] United Nations Environment Programme UNEP, *Working with plants, soils and water to cool the climate and rehydrate Earth's landscapes. Science Division. Foresight Brief 025. Early Warning, Emerging Issues and Futures,* 2021.

[23] P. Friedlingstein, M. O'Sullivan et al., *Global Carbon Budget 2020,* EarthSyst. Sci. Data, 2022.

[24] D. Ellison, C. E. Morris et al., *Trees, forests and water: Cool insights for a hot world,* Global Environmental Change 43, 2017.

[25] P. L. Ibisch, *Ökologischer Zustand und Umbau der Wälder zur Förderung von Klimaresilienz und Biodiversität,* 2020.

[26] W. Ripl., *Einfluss der Landschaftsnutzung auf das klima und den Wasserhaushalt,* Berner Fachhochschule, Burgdorf / Bau und Wissen, Wildegg, 2011.

[27] A. M. Makarieva, A. V. Nefidov, A. D. Nobre, M. Baudena, U. Bardi, D. Sheil, S. Saleska, R. Molina und A. Rammig, *The role of ecosystem transpiration in creating alternate moisture regimes by influencing atmospheric moisture convergence,* Global Change Biology, 2023.

[28] L. Gubler, *Klimaschutz durch Hochmoorschutz- C02-Kompensation durch Hochmoorrenaturierung in der Schweiz,* 2020.

[29] T. Hiraishi et al., *Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands,* Intergovernmental Panel on Climate Change, 2013.

[30] J. Forster et al., *The Role of Wetlands in the Carbon Cycle,* Department of Sustainability, Environment, Water, Population and Communities, 2012.

[31] H. Huryna, J. Brom und J. Pokorny, *The importance of wetlands in the energy balance of an agricultural landscape,* Wetlands Ecological Management, 2013.

[32] J. Zou, A. D. Ziegler et al., *Rewetting global wetlands effectively reduces major greenhouse gas emissions,* Nature Geoscience, 2022.

[33] D. Sheil und A. Bargués-Tobella, *More trees for more water in drylands: myths and opportunities,* European Tropical Forest Research Network - ETFRN News, 2020.

[34] P. L. Ibisch, *Wälder und Feuchtgebiete: unterschätzte Wasserspeicher und Klimaanlage,* Berner Fachhochschule, Burgdorf , 2021.

[35] The Club of Rome, *Conserving old growth forests is key to stabilising the Earth's climate. Article by Ugo Bardi.,* 2023.

[36] L. Bose, *Forest under stress.,* WSL Magazine Diagonal, 2020.

[37] WSL (Hrsg.), *Waldböden – intakt und funktional,* WSL Berichte, Heft 126, 2022.

[38] S. Naumann, M. Davis et al., *Ökosystembasierte Ansätze zur Anpassung an den Klimawandel im deutschsprachigen Raum,* 2015.

[39] European Environment Agency EEA, *Report. Economic losses and fatalities from weather- and climate-related events in Europe. 1980-2020.,* 2022.

[40] European Environment Agency EEA, *Report. Economic losses from climate-related extremes in Europe (8th EAP).1980-2021.,* 2023.

[41] K Liechti, A. Badoux et al., *50 jahre Erfassung von Unwetterschäden in der Schweiz,* Wasser Energie Luft, 2022.

[42] K. Liechti, D. Matter et al., *Unwetterschäden in der Schweiz 2021,* Wasser Energie Luft, 2022.

[43] SRF News, *Trockene Monate wirken sich verheerend auf Schweizer Äcker aus,* 2022.

[44] C. Ritzel, A. Arbenz et al., *Ernährungssicherheit der Schweiz 2022. Aktuelle Ereignisse und Entwicklungen,* Agroscope / Bundesamt für wirtschaftliche Landesversorgung, 2022.

[45] AGRIDEA, *Umgang mit Risiken und Verbesserung der Resilienz auf Landwirtschaftsbetrieben. Unter besonderer Betrachtung des Klimawandels und dessen Auswirkung auf die Landwirtschaft,* 2021.

[46] Schweizerische Eidgenossenschaft, *Der Boden geht den Bach ab. Medienmitteilung des Bundesrates vom 23.01.2009,* 2009.

[47] Schweizer Bauer, *Klimawandel verstärkt Bodenerosion,* 2020.

[48] A. Schwyzer und M. Keller, *Schäden im Schweizer Wald - Ergebnisse des dritten Landesforstinventars LFI3,* Wald und Holz, 2011.

[49] C. Temperli und C. Blattert, *Waldleistungen und Störungsanfälligkeit: eine modellbasierte Multikriterienanalyse,* Schweiz Z Forstwes 172, 2021.

[50] U.-B. Brändli und L. Denzler, *Ergebnisse aus dem dritten LFI 2004-06.,* 2011.

[51] U. Scheub und S. Schwarzer, *Aufbäumen gegen die Dürre,* Oekom, 2023.

[52] S. Minnig, N. Werdenberg, T. Polli, N. Egloff, A. Widmer, P. Vonlanthen und C. Angst, *Revitalisieren mit "Beaver Dam Analogs" in der Schweiz - Der Natur abgeschaut - innovative und kostengünstige Methoden zur Stärkung unserer Fliessgewässer,* Aqua&Gas, 2022.

[53] N. Werdenberg und A. Widmer, *Beaver Dam Analogs - Klimaresilienz und Biodiversität für unsere Bäche. Facts & figures.,* 2022.

[54] M. L. Norman, R. Lal, E. Wohl, E. Fairfax, A. C. Gellis und M. M. Pollock, *Natural infrastructure in dryland streams (NIDS) can establish regenerative wetland sinks that reverse desertification and strengthen climate resilience.,* Scienec of The Total Envoronment, 2022.

[55] F. Cochand, P. Brunner, D. Hunkeler, O. Rössler und A. Holzkämper, *Cross-sphere modelling to evaluate impacts of climate and land management changes on groundwater resources,* Science of the Total Environment, 2021.

[56] C. Moeck und A. Musolff, *Grundwasser und Landwirtschaft – besser miteinander als gegeneinander,* Grundwasser - Zeitschrift der Fachsektion Hydrogeologie (2023) 28, 2023.

[57] SVGW, *SVGW-Workshop Trockenheit vom 24.04.2023 in Bern.,* 2023.

[58] P. Hesslerová, J. Pokorný, J. Brom und A. Rejšková–Procházková, *Daily dynamics of radiation surface temperature of different land cover types in a temperate cultural landscape: consequences for the local climate,* Ecological Engineering, 2013.

[59] Y. B. Liu, S. Gebremeskel, F. de Smedt, L. Hoffmann und L. Pfister, *Simulation of flood reduction by natural river rehabilitation using a distributed hydrological model,* Hydrology and Earth System Sciences, 2004.

[60] C. Smith, J. Baker und D. Spracklen, *Tropical deforestation causes large reductions in observed precipitation,* Nature, 2023.

[61] C. Hildmann, B. Zimmermann et al., *Measures for adaptation to climate change through water retention and cooling by transpiration. A catalogue of measures for a drought-prone area in eastern Germany.,* 2022.

[62] Schwarzer, S., *Climate landscapes. On the effect of landscape design on climate resilience and the meso-climate. Report on the Climate Landscape Conference Oct. 2022,* 2022.

[63] Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland - BUND, *Klimaanpassung: BUND fordert „Schwammlandschaften",* 2022.

[64] J. Sušnik et al., *Costs and benefits of landscape-based water retention measures as nature-based solutions to mitigating climate impacts in eastern Germany, Czech Republic, and Slovakia.,* Land Degradation & Development, 2022.

[65] S. Keesstra et al. , *The superior effect of nature based solutions in land management for enhancing ecosystem services.,* Science of the Total Environment, 2018.

[66] Ebenrain-Zentrum für Landwirtschaft, Natur und Ernährung, *"Slow water" für unsere Kulturlandschaft. Folien des Infoanlasses vom 23. Januar 2023,* 2023.

[67] E. Gies, *Water always wins. Thriving in an Age of Drought and Deluge.,* The University of Chicago Press, 2022.

[68] A. Puttock, H. Graham, A. Cunliffe, M. Elliot und R. E. Brazier, *Eurasian beaver activity increases water storage, attenuates flow and mitigates diffuse pollution from intensively-managed grasslands,* Science of The Total Environment, 2017.

[69] V. Zahner, *Einfluss des Bibers auf den Wasserhaushalt,* 2018.

[70] J. Nyssen et al., *Effect of beaver dams on the hydrology of small mountain streams: Example from the Chevral in the Ourthe Orientale basin, Ardennes, Belgium,* Journal of Hydrology, 2011.

[71] R. Xu, Y. Li et al., *Contrasting impacts of forests on cloud cover,* Nature, 2022.

[72] J. Hering, C. Hegg, F. Altermatt und C. Graham, *Blue-green Biodiversity (BGB): Overview and Outlook,* EAWAG, 2020.

[73] W. Ripl, *Wasser und Klima. Ansätze für ein regionales, nachhaltiges Ressourcenmanagement.,* Herausforderung Wasser - Kapfenberg, 2009.

[74] W. Ripl und H. Scheer, *Memorandum zum Klimawandel. Notwendige gesellschaftliche Reformen zur Stabilisierung des Klimas und zur Lösung der Energiefragen,* Systeminstitut Aqua Terra (SAT) e.V. , 2007.

[75] R. Sommer et al., *Der Einfluss des Bibers auf die Artenvielfalt,* Naturschutz und Landschaftsplanung 51(03), 2019.

[76] M. Pollock et al., *The Beaver Restoration Guidebook: Working with Beaver to Restore Streams, Wetlands, and Floodplains.,* United States Fish and Wildlife .

[77] B. Bird et al., *Beaver and Climate Change Adaption in North America. A simple, Cost-Effective Strategy.,* Wild Earth Guardians, Grand Canyon Trust, The Lands Council, 2021.

[78] B. Goldfarb und D. L. Flores, *Eager: The surprising, secret life of beavers and why they matter,* White River Junction, Vermont: Chelsea Green Publishing, 2018.

[79] C. Angst, *Biber als Partner bei Gewässerrevitalisierungen. Anleitungen für die Praxis.,* Umwelt-Wissen Nr. 1417. Bundesamt für Umwelt BAFU. .

[80] B. Goldfarb, *Beavers, Rebooted: Artificial beaver dams ar a hot restoration strategy, but the projects aren't always welcome,* Science 360(6393), 2018.

[81] M. Kravčík, J. Pokorný, J. Kohutiar, M. Kováč und E. Tóth, *Water for the recovery of the climate: a new water paradigm,* Environmental Science, 2008.

[82] C. Hildmann, *Landscape Cooling. From the need to cool the landscape to the location of specific measures in the Elbe-Elster district,* Climate Landscapes Conference, 2022.

[83] A. Widmer, N. Werdenberg und S. Haupt, *Planungshilfe Engineered Log Jam. Renaturierungsfonds der Kantons Bern (Hrsg.). Version 2.0 (2022),* 2019.

[84] J. A. Ryan et al., *Modelling the Potential of Integrated vegetation Bands (IVB) to Retain Stormwater Runoff on Steep Hillslopes of Southeast Queensland, Australia.,* Land. 4, 2015.

[85] N. Werdenberg, M. Mende und C. Sindelar, *Instream River Training: Fundamentals and practical example.,* River Flow Conference, 2014.

[86] Savory Institute, *Regenerative Grazing for Climate, Ecosystem and Human Health (COP27 Document),* 2022.

[87] Q. Zhang, R. Bol et al., *Water dispersible colloids and related nutrient availability in Amazonian Terra Preta soils,* Geoderma 397, 2021.

[88] Schweizerische Eidgenossenschaft, *Anpassung an den Klimawandel in der Schweiz: Erster Teil der Strategie des Bundesrates vom 2. März 2012,* 2012.

[89] Bundesamt für Umwelt BAFU, *Anpassung an den Klimawandel in der Schweiz - Aktionsplan 2014–2019,* 2014.

[90] Schweizerische Eidgenossenschaft, *Anpassung an den Klimawandel in der Schweiz: Aktionsplan 2020–2025,* 2020.

[91] Netzwerk WasserAgri, *Tagung 2023: Paradigmenwechsel zur Wasserrückhaltung. Wie können alte Entwässerungssysteme heute reguliert werden?,* 2023.

[92] VSA, *Drainagen: Sanieren oder Feuchtgebiete reaktivieren?,* Aqua & Gas, 2023.

[93] A. R. Pluess, S. Augustin et al., *Wald im Klimawandel. Grundlagen für Adaptationsstrategien,* Bundesamt für Umwelt BAFU; Eidg. Forschungsanstalt WSL; Haupt, 2016.

[94] M. Frehner, P. Brang et al., *Standortkundliche Grundlagen für Waldbewirtschaftung im Klimawandel,* WSL Berichte, Heft 66, 2018.

[95] Bundesamt für Umwelt BAFU, *Aktionsplan Strategie Biodiversität Schweiz,* 2017.

[96] N. Imesch, B. Stadler, M. Bolliger und O. Schneider, *Biodiversität im Wald: Ziele und Massnahmen. Vollzugshilfe zur Erhaltung und Förderung der biologischen Vielfalt im Schweizer Wald,* Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 1503, 2015.

[97] Bundesamt für Umwelt BAFU, *Handbuch Programmvereinbarungen im Umweltbereich 2020–2024,* 2018.

[98] Vytautas Magnus University Agriculture Academy, *General Recommendations for Introduction of Controlled Drainage Innovation,* 2020.

[99] P. Brunner, *Modellierungs- und Monitoring Ansätze zur Simulation hydrogeologischer Prozesse unter Trockenheitsbedingungen. EAWAG-Webinar vom 20.06.2023,* 2023.