

Fokus Wasser – Folgen des Klimawandels und Maßnahmen zur Anpassung

Beispiele und Lösungsansätze für Wechselwirkungen zwischen Wasserwirtschaft, Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Aquakultur und Binnenfischerei

Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) & Bund-Länder-Arbeitsgruppe Klimaschutz und Klimaanpassung in Land- und Forstwirtschaft sowie Fischerei und Aquakultur (BLAG ALFFA)

Impressum

Herausgeber:

Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA)

unter dem Vorsitz der Senatsverwaltung für Mobilität, Verkehr, Klimaschutz und Umwelt von Berlin
Am Köllnischen Park 3

10179 Berlin

Tel.: +49 30 9025-2359

E-Mail: lawa@senumvk.berlin.de

Homepage: www.lawa.de

und

Bund-Länder-Arbeitsgruppe Klimaschutz und Klimaanpassung in Land- und Forstwirtschaft sowie
Fischerei und Aquakultur (BLAG ALFFA)

Bearbeitung und Redaktion:

AG KliWa21+

Vorsitz:

- Nataliya Stupak (Johann Heinrich von Thünen-Institut)
- Mithra-Christin Hajati (Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie und Klimaschutz)

Mitglieder und weitere Mitwirkende:

- Maria Berglund (Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen)
- Sabine Braun (Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten Bayern)
- Franz August Emde (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz)
- Til Feike (Julius Kühn-Institut)
- Ulfert Focken (Johann Heinrich von Thünen-Institut)
- Ulrike Gossen (Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie und Mobilität Rheinland-Pfalz)
- Mithra-Christin Hajati (Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie und Klimaschutz)
- Anja Haltenhof (Ministerium für Landwirtschaft, ländliche Entwicklung, Europa und Verbraucherschutz des Landes Schleswig-Holstein)
- Lena Hübsch (Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie und Klimaschutz)
- Sandra Kruse (Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz)
- Holger Lengsfeld (Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz des Landes Brandenburg)
- Andreas Lindenmaier (Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz)
- Sören Ohm (Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg)
- Torben Ott (Regierungspräsidium Freiburg)
- Tobias Pahl (Ministerium für Wirtschaft, Verkehr, Landwirtschaft und Weinbau Rheinland-Pfalz)

- Matthias Petgen (Ministerium für Wirtschaft, Verkehr, Landwirtschaft und Weinbau Rheinland-Pfalz)
- Rainer Petzold (Staatsbetrieb Sachsenforst, Kompetenzzentrum Wald und Forstwirtschaft)
- Arne Poyda (Ministerium für Energiewende, Klimaschutz, Umwelt und Natur des Landes Schleswig-Holstein)
- Heike Puhmann (Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg)
- Thorsten Reinsch (Ministerium für Landwirtschaft, ländliche Entwicklung, Europa und Verbraucherschutz des Landes Schleswig-Holstein)
- Kerstin Röske (Sächsisches Staatsministerium für Energie, Klimaschutz, Umwelt und Landwirtschaft)
- Martine Schraml (Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg)
- Laura Schubert (Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz des Landes Brandenburg)
- Kai Schwärzel (Johann Heinrich von Thünen-Institut)
- Nataliya Stupak (Johann Heinrich von Thünen-Institut)
- Expertinnen und Experten des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft

Redaktion und Koordination:

- Magnus Hackenberg (Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung)
- Andreas Lindenmaier (Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz)
- Wiebke Nieberg (Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung)

Stand:

August 2023

Das Papier wurde durch die 166. LAWA-Vollversammlung am 26./27. September 2023 in Berlin beschlossen.

Das Papier wurde durch die BLAG ALFFA-Sitzung am in beschlossen.

Die UMK/AMK hat der Veröffentlichung des Papieres im Umlaufbeschluss ... zugestimmt.

Bildnachweise Deckblatt:

1. Reihe (von links nach rechts): „Ferkel“ © Claus Deblitz/Thünen-Institut, „Luftbild vom herbstlichen Mischwald“ © Katja Clemens/Thünen-Institut, „Angler“ © Beate Büttner/Thünen-Institut

2. Reihe (von links nach rechts): „Karpfenteiche“ © Heinrich Becker/Thünen-Institut, „Hochwasserspeicher Drachensee, Furth im Wald“ © Wolfgang Ahlmer/Regierung der Oberpfalz, „Bewässerung von Kartoffeln“ © Vanessa Schulz/Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg

3. Reihe (von links nach rechts): „Mähdrescher“ © Katja Clemens/Thünen-Institut, „Anbausystem Stangenbohne“ © Jochen Kreiselmaier/Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum Rheinpfalz, „Entwässerungsdurchlass Göttinger Stadtwald“ @ Gabriele Ertl/Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, Hannover

4. Reihe (von links nach rechts): „Waldnutzung“ © Beate Büttner/Thünen-Institut, „Milchkühe am Futtertisch“ © Ingo Offergeld/Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz des Landes Brandenburg, „Wassergraben“ © Tania Runge/Thünen-Institut

Lizenzierung:

Der Text dieses Werkes wird, wenn nicht anders vermerkt unter, der Lizenz Creative Commons Namensnennung 4.0 International zur Verfügung gestellt.

CC BY 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>)

Quellenangaben siehe jeweilige Abbildung, Abbildungen von der AG KliWa21+ haben keine Angaben

Zitiervorschlag:

LAWA und BLAG ALFFA (2023): Fokus Wasser – Folgen des Klimawandels und Maßnahmen zur Anpassung. Beispiele und Lösungsansätze für Wechselwirkungen zwischen Wasserwirtschaft, Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Aquakultur und Binnenfischerei.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	iv
Tabellenverzeichnis.....	v
Hintergrund und Anlass.....	1
1 Wasserbezogene Klimafolgen in der Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Aquakultur und Binnenfischerei sowie Wasserwirtschaft.....	3
2 Wechselwirkungen zwischen Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Aquakultur und Binnenfischerei sowie Wasserwirtschaft.....	6
2.1 Wechselwirkungen in Bezug auf Klimafolgen	6
2.2 Anpassungsmaßnahmen und mögliche Wechselwirkungen zwischen den Sektoren	7
2.3 Empfehlungen für die Priorisierung von Anpassungsmaßnahmen bei der Erarbeitung regionaler Wassermanagementkonzepte.....	9
3 Erarbeitung von Lösungsvorschlägen – Beispiele für sektorübergreifende regionale Wassermanagementkonzepte	13
3.1 Bewässerungsteichwirtschaft.....	13
3.1.1 Hintergrund/Anlass/Problemdarstellung	13
3.1.2 Beschreibung.....	14
3.1.3 Erwartete Ergebnisse	15
3.1.4 Ausblick	15
3.1.5 Weitere Informationen	15
3.2 Grundwasseranreicherung mit Dränwasser von landwirtschaftlichen Nutzflächen in Kettelstorf (Gemeinde Himbergen, Landkreis Uelzen).....	16
3.2.1 Hintergrund/Anlass/Problemdarstellung	16
3.2.2 Beschreibung.....	16
3.2.3 Ergebnisse.....	17
3.2.4 Erkenntnisse (Bewertung aus Perspektive der Umsetzbarkeit)	17
3.2.5 Ausblick	18
3.3 Grundwasseranreicherung durch Waldumbau im östlichen Landkreis Uelzen	19
3.3.1 Hintergrund/Anlass/Problemdarstellung	19
3.3.2 Beschreibung.....	19
3.3.3 Ergebnisse.....	20
3.3.4 Erkenntnisse (Bewertung aus Perspektive der Umsetzbarkeit)	22
3.3.5 Ausblick	23
3.3.6 Weitere Informationen	23

3.4	Hessisches Ried	24
3.4.1	Hintergrund/Anlass/Problemdarstellung	24
3.4.2	Beschreibung	25
3.4.3	(Erwartete) Ergebnisse	26
3.4.4	Erkenntnisse (Bewertung aus Perspektive der Umsetzbarkeit)	26
3.4.5	Ausblick	26
3.4.6	Weitere Informationen	26
3.5	Gnarrenburger Moor	27
3.5.1	Hintergrund/Anlass/Problemdarstellung	27
3.5.2	Beschreibung	27
3.5.3	Ergebnisse	28
3.5.4	Erkenntnisse (Bewertung aus Perspektive der Umsetzbarkeit)	29
3.5.5	Ausblick	30
3.5.6	Weitere Informationen	30
3.6	Sömmerung von Karpfenteichen	31
3.6.1	Hintergrund/Anlass/Problemdarstellung	31
3.6.2	Beschreibung	31
3.6.3	Ergebnisse	32
3.6.4	Erkenntnisse (Bewertung aus Perspektive der Umsetzbarkeit)	33
3.6.5	Ausblick	33
3.6.6	Weitere Informationen	34
4	Grundlagen und Handlungsempfehlungen für die Entwicklung eines integrierten Wassermanagementkonzepts	35
4.1	Ist-Zustand bei der Umsetzung von Maßnahmen	35
4.2	Beispiele für sektorübergreifende Gremien-Arbeiten	36
4.3	Ablaufempfehlung für die Erstellung und Umsetzung eines integrierten Wassermanagementkonzepts	38
4.3.1	Einrichtung einer koordinierenden Wassermanagementstelle	38
4.3.2	Einrichten des Gremiums: Problem- und Stakeholderanalyse	39
4.3.3	Entwicklung nötiger Anpassungsmaßnahmen	40
4.3.4	Umsetzung des Wassermanagementkonzeptes	41
4.4	Voraussetzungen für die Erarbeitung und Umsetzung eines integrierten Wassermanagementkonzepts	41
4.4.1	Datenverfügbarkeit	41
4.4.2	Berücksichtigung lokaler bzw. regionaler Gegebenheiten	44
4.4.3	Flächenverfügbarkeit	44

4.4.4	Sensibilisierung weiterer Akteure.....	44
4.4.5	Anreize	45
4.4.6	Monitoring & Kontrolle	45
5	Zusammenfassung.....	46
	Literaturverzeichnis.....	48
	Abkürzungsverzeichnis	52
	Anlagen	54
	Anlage 1: Beschreibung von sektoralen Anpassungsmaßnahmen.....	54
1)	Wasserwirtschaftliche Maßnahmen	54
2)	Maßnahmen Pflanzenbau.....	63
3)	Maßnahmen Tierhaltung.....	73
4)	Maßnahmen Forstwirtschaft	77
5)	Maßnahmen Aquakultur und Fischerei in Binnengewässern	85
	Anlage 2: Beschreibung der Gremien-Beispiele	90
1	Landesniedrigwasserkonzept (Brandenburg)	90
2	Pilotprojekt „Netzwerke Wasser“ (Niedersachsen)	91
3	Allianz für den Gewässerschutz (Schleswig-Holstein)	92
4	Koordinierungsstelle „Zukunftsstrategie Wasserwirtschaft Nordbayern“	92
5	Informationsnetzwerk „Bewässerungsforum Bayern“	93
6	Arbeitsgruppe „EG-WRRL und Landwirtschaft“ (Rheinland-Pfalz).....	93
7	Kooperationen zum Gewässerschutz in der Landwirtschaft (Rheinland-Pfalz).....	94
8	Dialog im Rahmen der „Strategie zum Umgang mit Wassermangel“ (Baden-Württemberg)	94

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Wechselwirkungen zwischen den Sektoren in Bezug auf Klimafolgen	6
Abbildung 2:	Eiche, Sickerwassermehrertrag, RCP 8.5, Erste Dekade.	21
Abbildung 3:	Ampelkarte zur Grundwasserneubildung durch Waldumbau	22
Abbildung 4:	Skizze für ein Maßnahmenkonzept auf einem für das Gnarrenburger Moor typischen Hochmoortransekt, mit der Hofstelle links (niedriger Wasserstand), einem Bereich mit nasser Grünlandbewirtschaftung in der Mitte (Wasserstand ca. 10-30 cm unter GOK) und einem Bereich mit Vollvernässung (horizontal planiert mit Verwallungen und Überstaumöglichkeiten zur Speicherung der Winterniederschläge.	29
Abbildung 5:	Transformationspfade zur Umwandlung der bestehenden Bewirtschaftungsformen zu den zukünftigen Nutzungsformen.....	30

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Sektorale Klimaanpassungsmaßnahmen und ihre wasserbezogenen Wechselwirkungen mit anderen in diesem Bericht berücksichtigten Sektoren.....	8
Tabelle 2:	Übersicht der Anpassungsmaßnahmen nach den Umsetzungskriterien Aufwand, Kosten und Zeithorizont	11
Tabelle 3:	Versickerungstabelle: Mehrertrag durch Waldumbau, Heutiges Klima	20
Tabelle 4:	Rahmenbedingungen für ein Waldumbauprojekt	22
Tabelle 5:	Beispiele für sektorübergreifende Gremien-Arbeiten.....	37
Tabelle 6:	Schritte bei der Entwicklung und Umsetzung eines lokalen bzw. regionalen Klimaanpassungskonzeptes	38
Tabelle 7:	Grundlegende Informationen für die Erstellung eines regionalen integrierten Wassermanagementkonzeptes. Die Zuordnung zu den einzelnen Sektoren dient der Übersicht und bildet nicht die Zuständigkeiten ab.....	42

Hintergrund und Anlass

Die Verfügbarkeit, die regionale, saisonale und zwischenjährliche Verteilung sowie die Qualität der Ressource Wasser werden zunehmend durch den Klimawandel und seine Folgen beeinflusst. Dazu zählen unter anderem Extremwetterereignisse wie Starkregen, Hochwasser, Trockenheit und Dürre. Vor allem Wassermangel infolge des Klimawandels ist bereits in einzelnen Regionen und zu bestimmten Zeitpunkten ein limitierender Faktor für die Sektoren Wasserwirtschaft, Landwirtschaft, Forstwirtschaft sowie Aquakultur und Binnenfischerei, der sich dadurch zu einem Auslöser intersektoraler Interessenkonflikte entwickeln kann. Es braucht daher geeignete sektorübergreifende Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel und Wassermanagementkonzepte, um ein nachhaltiges Wasserressourcenmanagement zu gewährleisten.

Aus diesem Grund haben sich die Bund-Länder-Arbeitsgruppe Klimaschutz und Klimaanpassung in Land- und Forstwirtschaft sowie Fischerei und Aquakultur (BLAG ALFFA) und der ständige Ausschuss Klimawandel der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA-AK) auf eine Zusammenarbeit zum Thema „Anpassung an den Klimawandel“ verständigt. Die AG KliWa21+ wurde als ad hoc Arbeitsgruppe mit der Aufgabe betraut, aufbauend auf den bisherigen Aktivitäten der BLAG ALFFA und des LAWA-AK Wechselwirkungen bei Klimafolgen und der Umsetzung von Klimaanpassungsmaßnahmen zwischen Wasserwirtschaft, Landwirtschaft, Forstwirtschaft sowie Aquakultur und Binnenfischerei zu identifizieren sowie Lösungsvorschläge und Möglichkeiten zur Umsetzung dieser zu skizzieren.

Ziel dieses Berichts ist es, die Entscheidungsträger*innen – vor allem auf den lokalen und regionalen Ebenen – bei der Entwicklung von sektorübergreifenden bzw. integrierten Wassermanagementkonzepten zu unterstützen. Insbesondere werden in diesem Bericht

- 1) die Wechselwirkungen zwischen den vier Sektoren bei Klimawandelfolgen und bei der Umsetzung von Klimaanpassungsmaßnahmen identifiziert,
- 2) die Synergiemöglichkeiten bei der Entwicklung und Umsetzung regionaler standortspezifischer Anpassungskonzepte zur nachhaltigen Wasserressourcennutzung exemplarisch aufgezeigt und
- 3) die Möglichkeiten und Grundlagen zur Erarbeitung und Implementierung der Lösungsansätze und eines integrierten Wassermanagementkonzeptes in der Praxis skizziert.

Entsprechend dieser Ziele beschreibt Kapitel 1 dieses Berichts die wasserbezogenen Folgen des Klimawandels für die Sektoren Wasserwirtschaft, Landwirtschaft, Forstwirtschaft sowie Aquakultur und Binnenfischerei. Kapitel 2 stellt die Wechselwirkungen zwischen diesen Sektoren dar und fasst die sektoralen Anpassungsmaßnahmen und die Wechselwirkungen mit anderen Sektoren zusammen. Dabei werden Aufwand, Kosten und Zeithorizont mit bewertet. Kapitel 3 schildert Beispiele für regionale Klimaanpassungsansätze, die wasserbezogene Synergien zwischen den Sektoren und positive Auswirkungen auf das Wassermengenmanagement oder die Wasserqualität erzielen. Auf der Grundlage der

Erkenntnisse aus diesen Beispielen wurden im Kapitel 4 die Handlungsempfehlungen und die Grundlagen für die Entwicklung eines sektorübergreifenden integrierten Wassermanagementkonzepts erarbeitet.

1 Wasserbezogene Klimafolgen in der Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Aquakultur und Binnenfischerei sowie Wasserwirtschaft

Die Folgen des Klimawandels haben umfangreiche wasserbezogene Effekte auf die hier betrachteten Sektoren Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Aquakultur und Binnenfischerei sowie Wasserwirtschaft, die im Folgenden für die einzelnen Sektoren diskutiert werden.

Wasserwirtschaft

Die klimawandelbedingten Veränderungen im Wasserkreislauf – insbesondere die räumliche wie zeitliche Verteilung des Niederschlags und die Erhöhung der Verdunstung – haben Auswirkungen auf die vorhandene Menge (Quantität) und die Qualität des Grund- und Oberflächenwassers und damit auf das Wasserdargebot. Eine Reduzierung des Wasserdargebots kann neben den steigenden Nutzungskonflikten auch zu negativen Ökosystemfolgen führen.

Die Grundwasserneubildung wird durch ein in Folge des Klimawandels verändertes Niederschlagsregime, höhere Lufttemperaturen und eine Zunahme der Häufigkeit und Intensität von Extremwetterereignissen beeinflusst. Bei steigenden Temperaturen erhöht sich die Verdunstung, wodurch in der Bilanz weniger Wasser für die Grundwasserneubildung zur Verfügung steht. Aber auch die Bodentrockenheit verstärkt sich, was wiederum das Infiltrationsvermögen des Bodens für Sickerwasser verringert. Durch den Klimawandel werden Trockenzeiten länger anhalten, was zu einer Verknappung des Wasserdargebots, zur Entstehung von Niedrigwasser in Oberflächengewässern und zum Absinken der Grundwasserstände führt. Gleichzeitig führen zunehmend auftretende Starkregenereignisse das Wasser schnell aus der Fläche in die Oberflächengewässer ab, wodurch diese Niederschlagswassermengen für die Grundwasserneubildung ebenfalls weniger zur Verfügung stehen und wodurch es zu erhöhter Bodenerosion kommt. Ferner sind zurückgehende Schneedecken infolge wärmer werdender Winter ein weiterer limitierender Faktor für die Grundwasserneubildung.

Ein Anstieg der Lufttemperatur führt auch zu einem Anstieg der Temperatur von Oberflächen- und Grundwasser. Lokal wirken sich Niedrigwassersituationen und direkte Sonneneinstrahlung, z. B. aufgrund fehlender Beschattung verstärkend aus. Bei ausreichender Verfügbarkeit von Nährstoffen kommt es zu einem verstärkten Wachstum von Wasserpflanzen und Plankton sowie (toxischer) Blaualgen und in der Folge zu hohen Sauerstoffkonzentrationen am Tag. Durch den Abbau des organischen Materials und dem damit verbundenen erhöhten Sauerstoffbedarf, kann es für Fische und Kleinlebewesen zu schädigenden Sauerstoffmangelzuständen kommen. Verstärkt wird dies durch die mit den höheren Temperaturen einhergehenden beschleunigten Stoffwechselprozesse. Diese Veränderungen und komplexen Wechselwirkungen beeinflussen die Gewässerökologie, d.h. die Lebensbedingungen aller aquatischen Organismen sowie der Organismen wasserabhängiger Landökosysteme. Weiterhin kann die Nutzbarkeit des Wassers beeinträchtigt werden.

Landwirtschaft

Zunehmende Verdunstung infolge der steigenden Temperaturen hat vor allem im Sommer negative Auswirkung auf die klimatische Wasserbilanz und somit auf die Wasserverfügbarkeit für die Pflanzen. Regionale, jahreszeitliche und zwischenjährliche Änderungen des Niederschlagsmusters sowie solche Extremwetterlagen wie Hitze und Trockenheit können zu einer weiteren Abnahme der Wasserverfügbarkeit und in der Konsequenz zu einer Verschiebung der Anbauregionen führen.

Infolge dieser aus pflanzenbaulicher Perspektive negativen klimawandelbedingten Änderungen der Wasserverfügbarkeit nehmen die intra- und interannuelle Ertragsvariabilität zu. Die Verlängerung der Vegetationszeit, verbunden mit einem immer früheren Vegetationsbeginn im Frühjahr, erhöht die Gefahr von Schäden durch Spätfrost. Insbesondere für Kulturen im Obst- und Weinbau und andere Sonderkulturen steigt das Erfordernis der Frostschutzberechnung. Weiterhin kann der Klimawandel die Dynamik der Humusmineralisierung beeinflussen.

In der Tierhaltung steigt der Wasserbedarf durch den erhöhten Wasserverbrauch der Tiere und den ggf. notwendigen Einsatz von Wasser zur Thermoregulation der Tiere (Wassernebel in Milchviehställen, Tierduschen, Suhlen für Schweine).

Im Zusammenhang mit den Klimaveränderungen nehmen auch die Extremwetterereignisse in Häufigkeit und Intensität mit entsprechenden negativen Auswirkungen auf die landwirtschaftliche Produktion zu. Insbesondere die extremen Sommer- und Frühjahrstrockenheit oder -dürren sowie Hitzeereignisse können erhebliche Ertragsverluste verursachen (Söder et al. 2022). Weiterhin steigt auch das Erosionspotential – insbesondere bei den Starkregenereignissen – auf landwirtschaftlich genutzten Flächen mit Verlust von Bodenmaterial und Bodenfruchtbarkeit.

Die Hauptrisiken des Klimawandels für die landwirtschaftliche Produktion sind mit hohen Unsicherheiten in Bezug auf die zukünftige Niederschlagsentwicklung verbunden.

Forstwirtschaft/Wälder

Der Klimawandel beeinflusst durch das gehäufte Auftreten langanhaltender trockener und sehr warmer Witterungsverläufe mit geringem Niederschlag die Bodenwasserverfügbarkeit der Wälder unmittelbar. In solchen Perioden kann der Wasserbedarf der Wälder vielerorts nicht mehr ausreichend gedeckt werden.

Zudem werden sich künftig klimabedingte Störungen und Schadereignisse (Stürme, Hochwasser, Kalamitäten, Waldbrände, ggf. Nassschnee) verstärken. Dadurch werden die Wälder auch großflächig in Mitleidenschaft gezogen. Bei dem dann zunehmenden Anteil von Schadflächen sowie von außerordentlichen Holznutzungen nach großflächigen Schadereignissen kann der Bedarf an Nassholzlagern nicht befriedigt werden, da hierfür über das ganze Jahr hinweg nicht ausreichend Wasser zur Verfügung steht.

Klimabedingte Störungen und Schadereignisse beeinträchtigen nicht nur die Vitalität der Waldbestände, sondern auch das Lokalklima (fehlende Kühlwirkung bzw. Klimaregulierung als Folge eingeschränkter Verdunstung, stärkere Erwärmung am

Boden), die Grundwasserneubildung und die Grundwasserqualität (z. B. Gefahr von Stickstoffmobilisierung und folglich Nitrateinträgen ins Grundwasser aufgrund von Humusmineralisierung, verstärkte Bodenerosion als Folge von Kalamitäten). Zudem werden wichtige wasserbezogene Ökosystemleistungen der Wälder wie der natürliche Wasserrückhalt und die Grundwasserneubildung gemindert. Außerdem steigt in trockenen und heißen Witterungsphasen die Waldbrandgefährdung extrem an.

Aquakultur und Fischerei in Binnengewässern

Sowohl die Produktion von Fischen in Aquakulturanlagen als auch die Erwerbs- und Freizeitfischerei sind von der Wasserquantität und -qualität in Grundwasserreservoirien und Oberflächengewässern und/oder der Niederschlagsmenge abhängig.

In Teichen sowie Aquakulturanlagen mit Durchfluss-, Teilkreislauf- und Kreislaufsystemen wird Wasser aus Oberflächengewässern oder aus Grundwasser genutzt. Fischteiche ohne Zulauf („Himmelsteiche“) werden aus Niederschlägen und durch Grundwassereintritt gespeist und sind stark von Wassermangel sowie Verdunstung bei großer Hitze betroffen. Niedrigwasser in den die Aquakultur speisenden Oberflächengewässern mit verringertem Zu- und Abfluss sowie unzureichendem Restwasser im Vorfluter verändert die chemischen und physikalischen Eigenschaften des Wassers in der Aquakulturanlage, forciert die Eutrophierung im Vorfluter, erhöht den Fraßdruck durch Prädatoren aufgrund verringerter Rückzugs- und Versteckräume und verursacht damit Stress bei Fischen. Erhöhte Temperaturen in der Atmosphäre haben eine proportional erhöhte Erwärmung des Wassers zur Folge, was wiederum eine sinkende Sauerstofflöslichkeit bei gleichzeitig höherem Sauerstoffbedarf der Organismen bewirkt. Dies beeinträchtigt den Stoffwechsel und damit das Wachstum der Fische, kann ihre Reproduktion und andere Vitalfunktionen beeinflussen sowie die Verbreitung von Parasiten und Infektionskrankheiten begünstigen und führt im Extremfall zu Fischsterben

2 Wechselwirkungen zwischen Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Aquakultur und Binnenfischerei sowie Wasserwirtschaft

2.1 Wechselwirkungen in Bezug auf Klimafolgen

Eine Wechselwirkung – oder auch Interdependenz – entsteht, wenn die Handlungen einzelner Akteur*innen oder die Handlungen innerhalb eines Sektors zu unbeabsichtigten Auswirkungen (Externalitäten) auf andere Akteur*innen oder Sektoren führen, wobei die Vertreter*innen des letzten an der Entscheidung bzgl. dieser Handlung nicht beteiligt waren (Bromley 1991, 2000; Vatn 2006). Dabei können diese Auswirkungen sowohl positiver als auch negativer Natur sein. Die positiven Auswirkungen infolge einer Handlung ergeben die Kooperationsmöglichkeiten oder Synergien. Die negativen unerwünschten Auswirkungen erhöhen dagegen das Potenzial für Interessenkonflikte. In der wissenschaftlichen Literatur zu umweltbezogenen Externalitäten werden die Eigenschaften der Ressource betont, die ungewünschte Auswirkungen entstehen lassen. So wird die Ressource im Endeffekt als „Vermittler“ der Externalitäten und „Erzeuger“ der daraus folgenden Wechselwirkungen zwischen Akteur*innen oder Sektoren betrachtet (Hagedorn 2008). Die Interdependenzen zwischen den in diesem Bericht betrachteten Sektoren Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Aquakultur und Binnenfischerei sowie Wasserwirtschaft ergeben sich zum einen aus der Begrenztheit der Ressource Wasser und zum anderen aus den Anforderungen an ihre Qualität bei bestimmten Nutzungen.



Abbildung 1: Wechselwirkungen zwischen den Sektoren in Bezug auf Klimafolgen

Die flächendeckende Erwärmung und die Veränderung des Niederschlags im Jahresverlauf haben weitreichende Auswirkungen zur Folge, welche die Sektoren

Wasserwirtschaft, Landwirtschaft, Forstwirtschaft, sowie Aquakultur und Binnenfischerei unter anderem aufgrund ihrer gegenseitigen Verknüpfung durch die Nutzung der begrenzten Ressource Wasser stark beeinflussen (siehe Abbildung 1) und somit die Wechselwirkungen zwischen den Sektoren verstärken.

Es wurden die folgenden wasserbezogenen Auswirkungen identifiziert, die aufgrund (i) der Nutzung der Ressource Wasser, (ii) des Klimawandels und (iii) der in den Kapiteln 2.2 sowie in der Anlage 1 dargestellten sektoralen Anpassungsmaßnahmen entstehen oder sich verändern und zu den Wechselwirkungen zwischen den Sektoren führen:

- w. Wechselwirkungen mit der Wasserwirtschaft infolge der
 - w.1. Auswirkungen auf die Quantität von Grundwasser
 - w.2. Auswirkungen auf die Quantität von Oberflächenwasser
 - w.3. Auswirkungen auf die Grundwasserqualität
 - w.4. Auswirkungen auf die Oberflächenwasserqualität
- l. Wechselwirkungen mit der Landwirtschaft infolge der:
 - l.1. Auswirkungen auf den Ertrag unterschiedlicher Kulturen
 - l.2. Auswirkungen auf die Ertragsqualität unterschiedlicher Kulturen
 - l.3. Auswirkungen auf die Leistung von Nutztieren
 - l.4. Auswirkungen auf Tierschutz und Tiergesundheit
 - l.5. Auswirkungen auf die Flächennutzbarkeit
- f. Wechselwirkungen mit der Forstwirtschaft infolge der:
 - f.1. Auswirkungen auf die Vitalität der Waldökosysteme und auf alle Ökosystemleistungen des Waldes
 - f.2. Auswirkungen auf die Vitalität und Qualität der Bäume sowie Baumartendiversität
- a. Wechselwirkungen mit der Aquakultur und Fischerei in Binnengewässern infolge der:
 - a.1. Auswirkungen auf die Fischerträge in der Aquakultur
 - a.2. Auswirkungen auf die Fischerträge in der Binnenfischerei
 - a.3. Auswirkungen auf Tierschutz und Tiergesundheit
 - a.4. Auswirkungen auf aquatische Biotope und die freilebende aquatische Fauna

Die Umsetzung von sektoralen Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel kann neue Wechselwirkungen zwischen den Sektoren verursachen und/oder die bereits bestehenden Wechselwirkungen intensivieren bzw. abschwächen. Die möglichen Wechselwirkungen zwischen den Sektoren infolge der Umsetzung sektoraler Maßnahmen sind im nächsten Kapitel dargestellt und in der Anlage 1 detailliert beschrieben.

2.2 Anpassungsmaßnahmen und mögliche Wechselwirkungen zwischen den Sektoren

Klimaanpassungsmaßnahmen in einem Sektor können sich auf andere Sektoren auswirken. Dabei können sowohl die wasserbezogenen Zielkonflikte zwischen den Sektoren verstärkt als auch Synergien erzielt werden. Die nachstehende Tabelle 1

zeigt die möglichen Wechselwirkungen zwischen den Sektoren bei der Umsetzung sektoraler Anpassungsmaßnahmen. Dabei wurden die intersektoralen Wechselwirkungen aus Übersichtlichkeitsgründen ausschließlich neutral ohne Angabe ihrer Ausprägung (Zielkonflikt oder Synergie) dargestellt, da diese nicht nur von der Maßnahmenart, sondern auch von den lokalen Standortbedingungen abhängen kann. Die möglichen Wechselwirkungen innerhalb des Sektors, die Ausprägung der intersektoralen Wechselwirkungen sowie die Voraussetzungen für das Entstehen bzw. die Vertiefung der Zielkonflikte oder der Synergien sind bei der Beschreibung der einzelnen Maßnahmen in Anlage 1 „Beschreibung von sektoralen Anpassungsmaßnahmen“ kurz erläutert. Die Reihenfolge von Maßnahmen bzw. Maßnahmenclustern sowohl in der Tabelle 1 als auch in der Anlage 1 ist zufällig und wurde auf der Grundlage von bisherigen Aktivitäten der BLAG ALFFA und des LAWA-AK sowie der Fachexpertise der AG KliWa21+ zusammengestellt. Tabelle 1 gibt somit den Entscheidungsträger*innen die ersten Hinweise bzgl.

- (i) der Akteur*innen – der Vertreter*innen der Sektoren, die in die Entwicklung von Wassermanagementkonzepten miteinbezogen werden sollen (für weitere Details siehe Kapitel 4) und
- (ii) der Wechselwirkungen, die auf ihr Synergie- bzw. Konfliktpotenzial unter den gegebenen standortspezifischen Bedingungen überprüft werden sollen.

Tabelle 1: Sektorale Klimaanpassungsmaßnahmen und ihre wasserbezogenen Wechselwirkungen mit anderen in diesem Bericht berücksichtigten Sektoren

Nr.	Maßnahme	Wechselwirkungen mit den Sektoren		
		Landwirtschaft	Forstwirtschaft	Aquakultur & Binnenfischerei
1)	Maßnahmen Wasserwirtschaft			
1.1)	Verteilung von Wasserrechten auf Basis des Wasserdargebots	x	x	x
1.2)	Einschränkungen und ggf. Verbote von Wasserentnahmen in Wassermangelzeiten	x	x	x
1.3)	Sicherstellung ausreichender Wasserführung von Gewässern	x	x	x
1.4)	Wiedervernässung organischer Böden	x	x	
1.5)	Speicherung von Wasser	x	x	
1.6)	Stärkung des Grundwasserschutzes	x		x
1.7)	Monitoring der Oberflächengewässer und des Grundwassers			
1.8)	Küstenschutz	x		
1.9)	Verbesserter Wasserrückhalt	x	x	
1.10)	Wiederverwendung von aufbereitetem Abwasser	x	x	x
1.11)	Anreicherung von Grundwasser durch Infiltration bzw. Wiederaufspiegelung des Grundwassers/ Stützung von Grundwasserbrunnen	x	x	
1.12)	Absicherung zukünftiger Gewinnungsgebiete	x		
2)	Maßnahmen Pflanzenbau	Wasserwirtschaft	Forstwirtschaft	Aquakultur & Binnenfischerei
2.1)	Bodenbewirtschaftung	x		
2.2)	Bewässerung im Pflanzenbau	x		x

Nr.	Maßnahme	Wechselwirkungen mit den Sektoren		
		Wasserwirtschaft	Forstwirtschaft	Aquakultur & Binnenfischerei
2.3)	Einsatz von gesteuerten Drainagen und Vorflut	x		x
2.4)	Angepasster Pflanzenschutzmitteleinsatz	x		x
2.5)	Optimiertes Nährstoffmanagement	x		x
2.6)	Anpassung der Fruchtfolgen	x		
2.7)	Angepasstes Management von Niederungen und Retentionsräumen	x		
2.8)	Ausweitung des Flächentauschs		x	
2.9)	Anbau von trockenstresstoleranten Sorten		x	
3)	Maßnahmen Tierhaltung	Wasserwirtschaft	Forstwirtschaft	Aquakultur & Binnenfischerei
3.1)	Futterreserven in der Tierhaltung	x		
3.2)	Angepasste Haltungskonzepte	x		x
3.3)	Vorbeugung von Krankheiten und Seuchen	x		x
4)	Maßnahmen Forstwirtschaft	Wasserwirtschaft	Landwirtschaft	Aquakultur & Binnenfischerei
4.1)	Waldumbau	x		
4.2)	Durchforstung	x		
4.3)	Management von Humusaufgaben und Totholz			
4.4)	Management von Waldböden	x		
4.5)	Verbesserung der Wasserretention von Wäldern	x		
4.6)	Maßnahmen zur Waldbrandbekämpfung	x		
4.7)	Renaturierung von Waldmooren	x		
4.8)	Bewässerung von Forstkulturen	x		
5)	Maßnahmen Aquakultur und Fischerei in Binnengewässern	Wasserwirtschaft	Landwirtschaft	Forstwirtschaft
5.1)	Herstellung standortangepasster Fischbestände	x	x	
5.2)	Erhalt und Aufbau regional und klimaadaptierter sowie leistungsfähiger Laichfischbestände in der Aquakultur			
5.3)	Optimierung des Wasserrückhalts und -managements in Teichgebieten	x		
5.4)	Verdunstungsminderung und Temperaturverringering in Fließgewässern und in der Aquakultur durch Beschattung	x	x	
5.5)	Verstärkte Mehrfachnutzung von Wasserressourcen in Form von Teilkreislaufanlagen	x		
5.6)	Verringerung des Wasserbedarfs in der Aquakultur durch Nutzung klimaresilienter Fischstämme und weniger sensibler alternativer Fisch- und Krebsarten			
5.7)	Bewässerungsteichwirtschaft	x	x	

2.3 Empfehlungen für die Priorisierung von Anpassungsmaßnahmen bei der Erarbeitung regionaler Wassermanagementkonzepte

Tabelle 2 fasst die in der Anlage 1 „Beschreibung von sektoralen Anpassungsmaßnahmen“ dargestellten Maßnahmen zusammen und setzt diese anhand der Kriterien Kosten, Aufwand und Zeithorizont der Umsetzung ins Verhältnis. Ziel der Tabelle ist es, lokale und regionale Entscheidungsträger*innen bei der Auswahl und Priorisierung von Anpassungsmaßnahmen im Rahmen der Erarbeitung

eines integrierten Wassermanagementkonzepts zu unterstützen und für die möglichen Wechselwirkungen mit anderen Sektoren zu sensibilisieren. Die Maßnahmen in Tabelle 2 und Anlage 1 erheben nicht den Anspruch auf Vollständigkeit, sondern sollen einen Rahmen von möglichen Anpassungsmaßnahmen aufzeigen.

In Bezug auf die Kriterien Kosten und Aufwand empfiehlt es sich, die Maßnahmen auszuwählen, bei denen diese Parameter am niedrigsten sind. Bei der Gewichtung von Maßnahmen anhand dieser Kriterien sollen die Kosten und der Aufwand allerdings nicht absolut, sondern relativ zu den erwarteten standortspezifischen Wirkungen betrachtet werden. Die Beschreibung der Wirkungen einzelner Anpassungsmaßnahmen geht angesichts der Vielfalt möglicher Rahmenbedingungen über den Rahmen dieses Berichts hinaus. Der Zeithorizont der Maßnahmenumsetzung ist ein neutrales Kriterium, welches dem Entscheidungsträger eine zusätzliche Information über eine Maßnahme gibt, stellt allerdings keine Priorisierungsgrundlage dar.

Beim Kriterium Wechselwirkungen weisen die Beschreibungen einzelner Anpassungsmaßnahmen (siehe Anlage 1 „Beschreibung von sektoralen Anpassungsmaßnahmen“) darauf hin, dass das Ausmaß und die Form (Synergien oder Zielkonflikte) der Wechselwirkungen durch ihre Umsetzung durch regionale bzw. lokale Gegebenheiten bedingt sind. Darüber hinaus können durch die Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen weitere Wechselwirkungen mit in diesem Bericht nicht betrachteten Akteur*innen oder Sektoren entstehen. Diese müssen bei der konkreten Bearbeitung eines integrierten Wassermanagementkonzepts ebenfalls berücksichtigt werden.

Dieser Bericht gibt den Entscheidungsträger*innen auf der lokalen und regionalen Ebene die klare Empfehlung, *wenn möglich Maßnahmen mit Synergieeffekten bzw. neutrale Maßnahmen (ohne Wechselwirkungen) gegenüber Maßnahmen mit Konfliktpotenzial zu priorisieren*. Die Überprüfung der Ausprägung möglicher Wechselwirkungen und Priorisierung von Maßnahmen erfolgt im konkreten Kontext bei der Erarbeitung eines lokalen bzw. regionalen integrierten Wassermanagementkonzepts (siehe Kapitel 4.1.3).

Weiterhin ist zu beachten, dass eine Kombination mehrerer Maßnahmen größere Synergieeffekte haben kann als die Umsetzung einer einzelnen Maßnahme. Die empirischen Beispiele für solche lokalen bzw. regionalen Maßnahmenkombinationen sind im nächsten Kapitel dargestellt.

Tabelle 2: Übersicht der Anpassungsmaßnahmen nach den Umsetzungskriterien Aufwand, Kosten und Zeithorizont

Sektor	Maßnahme	Umsetzungskriterien		
		Aufwand	Kosten	Zeithorizont
Wasserwirtschaft	Verteilung von Wasserrechten auf Basis des Wasserdargebots	sehr hoch	sehr gering	mittelfristig
Wasserwirtschaft	Einschränkungen und ggf. Verbote von Wasserentnahmen in Wassermangelzeiten	gering	sehr gering	kurzfristig
Wasserwirtschaft	Sicherstellung ausreichender Wasserführung von Gewässern	hoch	gering	langfristig
Wasserwirtschaft	Wiedervernässung organischer Böden	mittel bis sehr hoch	mittel bis sehr hoch	mittel- bis langfristig
Wasserwirtschaft	Speicherung von Wasser	sehr hoch	sehr hoch	mittelfristig
Wasserwirtschaft	Stärkung des Grundwasserschutzes	mittel	sehr gering	mittelfristig
Wasserwirtschaft	Monitoring der Oberflächengewässer und des Grundwassers	mittel	mittel	mittelfristig
Wasserwirtschaft	Küstenschutz	sehr hoch	sehr hoch	langfristig
Wasserwirtschaft	Verbesserter Wasserrückhalt	gering bis hoch	gering bis hoch	kurz- bis langfristig
Wasserwirtschaft	Wiederverwendung von aufbereitetem Abwasser	hoch	hoch	mittelfristig
Wasserwirtschaft	Anreicherung von Grundwasser durch Infiltration bzw. Wiederaufspiegelung des Grundwassers/ Stützung von Grundwasserbrunnen	mittel	mittel	mittelfristig
Wasserwirtschaft	Absicherung zukünftiger Gewinnungsgebiete	mittel	gering bis mittel	langfristig
Landwirtschaft	Bodenbewirtschaftung	gering bis mittel	gering bis mittel	kurz- bis langfristig
Landwirtschaft	Bewässerung im Pflanzenbau	mittel bis sehr hoch	mittel bis sehr hoch	kurz- bis mittelfristig
Landwirtschaft	Einsatz von gesteuerten Drainagen und Vorflut	mittel bis hoch	mittel bis hoch	kurz- bis mittelfristig
Landwirtschaft	Angepasster Pflanzenschutzmitteleinsatz	gering bis mittel	gering bis mittel	kurzfristig
Landwirtschaft	Optimiertes Nährstoffmanagement	gering bis sehr hoch	gering bis mittel	kurz- bis mittelfristig
Landwirtschaft	Anpassung der Fruchtfolgen	gering bis mittel	gering	kurzfristig
Landwirtschaft	Angepasstes Management von Niederungen und Retentionsräumen	hoch	hoch	langfristig
Landwirtschaft	Ausweitung des Flächentauschs	gering bis mittel	gering	kurzfristig
Landwirtschaft	Anbau von trockenstresstoleranten Sorten	hoch	hoch	langfristig

Sektor	Maßnahme	Umsetzungskriterien		
		Aufwand	Kosten	Zeithorizont
Landwirtschaft	Futterreserven in der Tierhaltung	mittel	mittel bis hoch	kurzfristig
Landwirtschaft	Angepasste Haltungskonzepte	hoch	hoch	mittelfristig
Landwirtschaft	Vorbeugung von Krankheiten und Seuchen	mittel	hoch	mittelfristig
Forstwirtschaft	Waldumbau	hoch	hoch	langfristig (Daueraufgabe)
Forstwirtschaft	Durchforstung	gering	sehr gering	kurz-, mittel- und langfristig
Forstwirtschaft	Management von Humusaufgaben und Totholz	gering	gering	mittelfristig
Forstwirtschaft	Management von Waldböden	mittel bis sehr hoch	mittel bis sehr hoch	mittelfristig
Forstwirtschaft	Verbesserung der Wasserretention von Wäldern	hoch	hoch	mittelfristig
Forstwirtschaft	Maßnahmen zur Waldbrandbekämpfung	mittel bis hoch	mittel bis hoch	mittelfristig
Forstwirtschaft	Renaturierung von Waldmooren	hoch	hoch	mittel- bis langfristig
Forstwirtschaft	Bewässerung von Forstkulturen	mittel	gering	kurzfristig
Binnenfischerei und Aquakultur	Herstellung standortangepasster Fischbestände	hoch	hoch	mittelfristig
Binnenfischerei und Aquakultur	Erhalt und Aufbau regional und klimaadaptierter sowie leistungsfähiger Laichfischbestände in der Aquakultur	mittel	mittel	kurz- bis mittelfristig
Binnenfischerei und Aquakultur	Optimierung des Wasserrückhalts und -managements in Teichgebieten	hoch	hoch	mittelfristig
Binnenfischerei und Aquakultur	Verdunstungsminderung und Temperaturverringering in Fließgewässern und in der Aquakultur durch Beschattung	hoch	mittel- bis hoch	mittelfristig
Binnenfischerei und Aquakultur	Verstärkte Mehrfachnutzung von Wasserressourcen in Form von Teilkreislaufanlagen	mittel	mittel	kurzfristig
Binnenfischerei und Aquakultur	Verringerung des Wasserbedarfs in der Aquakultur durch Nutzung klimaresilienter Fischstämme und alternativer Fisch- und Krebsarten	hoch	hoch	langfristig
Binnenfischerei und Aquakultur	Bewässerungsteichwirtschaft	mittel bis hoch	mittel	kurz- bis mittelfristig

3 Erarbeitung von Lösungsvorschlägen – Beispiele für sektorübergreifende regionale Wassermanagementkonzepte

3.1 Bewässerungsteichwirtschaft

Bundesland:	Bayern
Adressierte Klimawirkung:	Trockenheit, Wasserknappheit, Hochwasserrückhalt, Niederschlagsverteilung
Adressierte Wechselwirkungen infolge der:	w.1. „Auswirkungen auf das Dargebot von Grundwasser“, w.2. „Auswirkungen auf das Dargebot von Oberflächenwasser“, I.1. „Auswirkung auf den Ertrag unterschiedlicher Kulturen“, I.2. „Auswirkung auf die Ertragsqualität unterschiedlicher Kulturen“
Adressierte Sektoren:	Landwirtschaft, Aquakultur, Wasserwirtschaft
Anpassungsmaßnahmen:	2.1) Bewässerung im Pflanzenbau, 2.5) Optimiertes Nährstoffmanagement, 5.7) Bewässerungsteichwirtschaft)
Status:	Bewilligt für den Zeitraum 2022-2026. Start 2022.
Ansprechpartner:	StMELF, Referat L4, Dr. Reinhard Reiter; Reinhard.Reiter@stmelf.bayern.de

3.1.1 Hintergrund/Anlass/Problemdarstellung

Der fortschreitende Klimawandel führt in den Winterhalbjahren vermutlich zu verstärkten Niederschlägen. Im Sommer gibt es längere Trockenperioden, unterbrochen von Starkregenereignissen. Dies erhöht die Gefahr von Hochwasserabflüssen. Zugleich nimmt aufgrund langanhaltender Trockenphasen während der Vegetationszeit der Bewässerungsbedarf bei landwirtschaftlichen Kulturen zu.

In Bayern gibt es etwa 40.000 Karpfenteiche mit einer gesamten Teichfläche von knapp 20.000 Hektar. Die Mehrzahl dieser Teiche hat keine ständige Wasserzufuhr. Sie werden im Herbst zur Fischernte abgelassen und im Winter durch die Winterniederschläge gespeist, die aus einem kleinen, umliegenden Einzugsgebiet stammen („Himmelsteiche“). Dies erfolgt so seit Jahrhunderten. Verluste durch Verdunstung und Versickerung über den Sommer werden oft nur bei vorhandenen Niederschlägen ausgeglichen.

Durch die Anlage von tiefen Erdteichen oder durch die Vertiefung bereits bestehender Karpfenteiche können die vermehrten Niederschläge und Hochwasser im Winterhalbjahr sowie die zu erwartenden Sturzfluten im Sommer aufgefangen werden. Dies mindert den Hochwasserabfluss und dient der Speicherung von Wasser für die trockenen Sommermonate. Durch das vergrößerte Wasservolumen der Teiche kann

im Sommer ein vorab definierter Anteil des Wasserkörpers für die Bewässerung landwirtschaftlicher Kulturen herangezogen werden, ohne jedoch den Fischbestand zu gefährden.

Auf diesem Wege kann eine zeitweise Bewässerung von Kulturpflanzen sichergestellt werden. Der Karpfenteich ist die billigste Form der Wasserspeicherung. Jedoch ist die Wasserspeicherung in flachen Erdbecken ohne Fischbesatz sehr problematisch. Rasch stellt sich hier eine überbordende Vegetation ein. Ein Besatz mit ausreichend großen Karpfen (ab zweisömmerige Karpfen, K_2) führt durch die wühlende Aktivität der Karpfen am Teichgrund zu einem kostengünstigen Unterhalt des Erdbeckens und verringert zudem die Verschlammung. Die Bewirtschaftung des Wasserreservoirs mit der Erzeugung von Fischen liefert zum anderen zusätzlichen Ertrag.

Die Bewässerungsteichwirtschaft zielt darauf ab, die Aquakultur und die Bewässerung landwirtschaftlicher Kulturen so zu kombinieren, dass beide Produktionen erhalten bleiben, pflanzenbauliche Erträge durch Beregnung erhalten oder gesteigert werden und dabei die Ressource Wasser (Grundwasser und Wasser aus Fließgewässern) geschont wird. Zudem werden Hochwasserabflüsse gemindert. In Israel gibt es dazu bereits erfolgreiche Umsetzungsbeispiele.

Die Umsetzung und Lösungsfindung erfordert die Abstimmung zwischen den Fachbereichen Aquakultur, Produktionstechnik und Bewässerungstechnik Landwirtschaft, Qualitätsanforderungen für das Bewässerungswasser (Hygiene, Qualität der landwirtschaftlichen Produkte) und Wasserwirtschaft.

3.1.2 Beschreibung

Im Projekt werden die Synergiepotentiale zwischen Karpfenteichwirtschaft und dem Anbau landwirtschaftlicher Kulturen mit Bewässerung erprobt. Der Fokus liegt dabei auf bewässerungswürdigen Kulturen. Das Projekt wurde bewilligt und startete 2022. Die Projektlaufzeit beträgt vier Jahre im Zeitraum 2022-2026.

Direkt am Projekt beteiligt sind Expert*innen aus den Bereichen Pflanzenbau, Bewässerung, Fischereiwirtschaft- und Aquakultur, sowie Praxisbetriebe. Die zuständigen Behörden im Bereich Wasserwirtschaft werden in Zusammenhang mit Genehmigungsverfahren beteiligt und auf diesem Wege in das Projekt eingebunden.

Konzept:

Es werden sechs Karpfenteiche in die Betrachtung und Untersuchung mit einbezogen: drei Bestehende, die unverändert bleiben und als Vergleich dienen und drei Bestehende, die vertieft werden. Es werden unterschiedliche Bewässerungsmethoden und -techniken erprobt. Wichtige erste Schritte sind:

- Akquise der Praxisbetriebe.
- Schaffung der notwendigen Infrastruktur durch die Vertiefung der bestehenden Teiche sowie die Ausgestaltung der Bewässerungskonzepte für die umliegenden landwirtschaftlichen Kulturen.
- Ausarbeitung der Versuchskonzepte am jeweiligen Standort.
- Auf dieser Basis werden dann die produktionstechnischen Fragenstellungen weiterbearbeitet.

3.1.3 Erwartete Ergebnisse

Das Projekt soll Antworten auf die folgenden Fragen liefern:

- Ist das System geeignet, den verschiedenen Anforderungen gerecht zu werden?
- Welche Wassermenge müssen die Teiche fassen, um die Anforderungen der verschiedenen Bereiche abzudecken?
- Wie ist die Ökonomie des Systems zu bewerten?
- An welchen Standorten in Bayern sind die Voraussetzungen für eine Implementierung in der Praxis gegeben?
- Welche Anforderungen müssen gegeben sein? – Empfehlungen und Leitfaden für die praktische Umsetzung.

Folgende Ergebnisse werden erwartet:

- (1) Definition der notwendigen Voraussetzungen für die Karpfenteichwirtschaft
- (2) Definition der notwendigen Voraussetzungen für die Landwirtschaft
- (3) Zusammenführung der Anforderungen in ein Gesamtkonzept und ökonomische Bewertung
- (4) Machbarkeitsstudie für Bayern, in der die Potentiale zur praktischen Umsetzung in Bayern identifiziert werden
- (5) Leitfaden für Betriebe und Behörden für die praktische Umsetzung

Die Erkenntnisse aus dem Projekt werden in regelmäßigen Berichten festgehalten.

Sofern das Verfahren erfolgsversprechend für eine Implementierung in der Praxis ist, werden entsprechende Beratungsempfehlungen und Materialien erarbeitet.

3.1.4 Ausblick

Für die Übertragbarkeit und Praxiseinführung werden folgende Faktoren entscheidend sein, die jedoch erst nach Abschluss des Gesamtprojektes bewertet werden können:

- Das erfolgreiche Zusammenspiel von Wassermenge und Wasserbedarf der landwirtschaftlichen Kulturen
- Die ausreichende Qualität des Bewässerungswassers aus den Teichen
- Die Wirtschaftlichkeit
- Die Umsetzbarkeit und Übertragbarkeit innerhalb der rechtlichen Rahmenbedingungen.

Ziel ist die Schaffung von kleinräumigen Bewässerungsverbänden bei Schonung von Grund- und Oberflächenwasser.

3.1.5 Weitere Informationen

Eine Projektseite wird derzeit erstellt:

<https://www.lfl.bayern.de/ifi/karpfenteichwirtschaft>

3.2 Grundwasseranreicherung mit Dränwasser von landwirtschaftlichen Nutzflächen in Kettelstorf (Gemeinde Himbergen, Landkreis Uelzen)

Bundesland:	Niedersachsen
Adressierte Klimawirkung:	Trockenheit und zunehmender Bedarf an landwirtschaftlichem Beregnungswasser
Adressierte Wechselwirkungen infolge der:	w.1. Auswirkungen auf die Quantität von Grundwasser; I.1. Auswirkung auf den Ertrag unterschiedlicher Kulturen; I.2. Auswirkung auf die Ertragsqualität unterschiedlicher Kulturen
Adressierte Sektoren:	Landwirtschaft, Wasserwirtschaft
Anpassungsmaßnahmen:	1.11) Anreicherung von Grundwasser durch Infiltration, 2.2) Einsatz von kontrollierten Drainagen, 2.1) Bewässerung im Pflanzenbau
Status:	Abgeschlossen
Ansprechpartner:	Ulrich Ostermann, Geschäftsführer des Kreisverbands der Wasser- und Bodenverbände Uelzen (ulrich.ostermann@wasser-uelzen.de) Jörg Martens, Stellvertretender Geschäftsführer des Kreisverbands der Wasser- und Bodenverbände Uelzen (joerg.martens@wasser-uelzen.de)

3.2.1 Hintergrund/Anlass/Problemdarstellung

Das Projekt adressiert den zunehmenden Bedarf an landwirtschaftlichem Beregnungswasser als Folge des Klimawandels. In der Regel wird dieses Wasser aus Grundwasserleitern (in regional deutlich unterschiedlichen Tiefen) entnommen. Die dafür erforderlichen Erlaubnisse sind konkret individuell begrenzt. Dies führt dazu, dass schon heute die Erlaubnismengen eine limitierende Funktion für die meisten Beregnungsbetriebe haben. Ziel des Projektes ist es, die Wasserverfügbarkeit für Bewässerung zu erhöhen und die Abhängigkeit der Betriebe von den Grundwasserentnahmeerlaubnissen zu mindern.

3.2.2 Beschreibung

Das Projekt ist entstanden aus der Idee von zwei Landwirten, den Dränabfluss von zwei verschiedenen Feldern mit insgesamt ca. 20 Hektar Dränfläche zur Grundwasseranreicherung zu verwenden. Bis dahin wurde dieses Wasser über Gräben in den nahe gelegenen Röbbelbach eingeleitet.

Für die Versickerung wird das Dränwasser heute mit Hilfe von zwei in 2011/12 neu errichteten Rohrleitungen in je einen vorhandenen sowie einen neu dafür hergestellten Teich eingeleitet. Die Kosten für den Leitungsneubau (zweifach, also von jedem der beiden Felder) einschließlich der Unterführung unter einem asphaltierten Feldweg, für die Neuerrichtung eines Sickerteiches, für die Erstellung der Antragsunterlagen sowie

für den wasserrechtlichen Antrag betragen größenordnungsmäßig 10.000 €. Die Finanzierung erfolgte aus EU-Projektmitteln (im Rahmen des EU-Interreg-Nordsee-Projekts „Aquarius“), Mitteln der Bingo-Umweltstiftung Niedersachsen und Eigenleistung der beiden Landwirte.

Der letzte Schritt, also die abgeschätzten Sickermengen von ca. 20.000 m³ / a in Form zusätzlicher Grundwasserentnahmeerlaubnisse zu honorieren, unterblieb damals!

3.2.3 Ergebnisse

Entscheidend für die erfolgreiche Umsetzung war, dass im Vorfeld folgende drei Grundlagen fachbehördlich und unentgeltlich abgeschätzt wurden:

- (1) Der Abfluss pro Hektar und Jahr dräniertes landwirtschaftlicher Fläche kann überschlägig mit 100 Millimeter bzw. 1.000 Kubikmeter/Hektar angenommen werden (LBEG). Die erzeugten zusätzlichen ca. durchschnittlichen 20.000 m³ Grundwasser kommen dem allgemeinen Grundwasserhaushalt der Region zu Gute. Eine entsprechende Erhöhung der aktuellen Berechnungserlaubnisse der beiden beteiligten Landwirte – also de facto eine Nutzung des Grundwasserleiters als betriebsindividueller Wasserspeicher anstelle oberirdischer Speicherbecken – wurde von diesen nicht bei der zuständigen Unteren Wasserbehörde beantragt.
- (2) Das im Dränwasser enthaltene Nitrat wird in einem der beiden Sickerteichen vor dem Eintritt in den Boden weitestgehend abgebaut. Die für einen derartigen Abbau notwendigen Voraussetzungen sind a) anaerobe Verhältnisse, hier Luftabschluss durch das Teichwasser, und b) die Anwesenheit von organischer Substanz als Nahrungsgrundlage für die denitrifizierenden Bakterien, hier Laubfall der um / über den Teichen wachsenden Bäume und Büsche (LBEG) Das LBEG verifizierte diese Annahme damals und bestückte dafür den vorhandenen Sickerteich mit Saugsonden und beprobte diese etwa ein Jahr lang hinsichtlich der Nitratgehalte des Bodenwassers.
- (3) Die Grundwasserverhältnisse (geohydrologische Situation) unter den beiden Sickerteichen und deren Umfeld sind dafür geeignet, dass das versickerte Wasser tatsächlich in die Hauptgrundwasserleiter strömt und ausdrücklich nicht im unterirdischen „Kurzschluss“ zum Röbbelbach (LBEG).

3.2.4 Erkenntnisse (Bewertung aus Perspektive der Umsetzbarkeit)

Ein wesentlicher Vorteil des Projekts ist, dass nur Investitionskosten anfielen. Dagegen ist es frei von laufenden Kosten (frei von Pumpkosten).

Die Anreicherungsmengen hängen – wie die natürliche Grundwasserneubildung – von den Jahresniederschlägen ab. Nur bei ausreichend großen Grundwasserleitern, d. h. bei ausreichender Pufferkapazität für die jährlich schwankenden Grundwasserneubildungsmengen, ist eine durchschnittliche Betrachtung der Anreicherungsmengen akzeptabel.

Derartige Projektansätze stoßen vergleichsweise schnell an ihre Grenzen, und zwar:

- (1) wenn der Aufwand für die Integration der Akteure, für die Organisation und die Abwicklung komplex ist (oder hoch oder langwierig oder alles zusammen).

Deshalb ist eine öffentliche Förderung dieser Management-Aktivitäten(!) notwendig. Denn sowohl Landwirt*innen als auch Verbandsgeschäftsführern / -vorsitzenden fehlt fast immer die Zeit für diese Arbeiten. Selbst die Förderanträge müssen aus genau diesem Grund mit wenig Aufwand und ohne fremde Hilfe zu bewältigen sein oder durch eine dafür eingerichtete öffentliche Stelle vorgenommen werden.

- (2) wenn die Kosten den individuellen einzelbetrieblichen Nutzen übersteigen bzw. wenn ein individueller Nutzen fehlt. Dieses ist angesichts der vergleichsweise geringen landwirtschaftlichen Erlöse aus dem Ackerbau schnell der Fall. In solchen Fällen sind öffentliche Zuschüsse erforderlich. Diese öffentlichen Zuschüsse bringen quasi die gesamtgesellschaftliche Bedeutung der betroffenen regionalen Landwirtschaft zum Ausdruck. Alternativ könnte als **Investitionsanreiz** die Anreicherung in Form der Erlaubnis von entsprechenden zusätzlichen Wasserentnahmen honoriert werden.

3.2.5 Ausblick

Dieses Grundwasseranreicherungsprojekt ist geeignet für grundwasserferne Standorte mit einem Wechsel von lehmigen Kuppen und sandigen Senken, also für die in Niedersachsen großräumig vorhandenen Geeststandorte.

Es wird fest davon ausgegangen, dass wenn in Wassermangelregionen heute ein derartiger **Honorierungsansatz durch die zuständige Untere Wasserbehörde in Aussicht gestellt** und bekannt gemacht würde, auf jeden Fall viele weitere örtliche Projekte ohne Fördermittel umgesetzt würden (Bottom up - Prinzip).

3.3 Grundwasseranreicherung durch Waldumbau im östlichen Landkreis Uelzen

Bundesland:	Niedersachsen
Adressierte Klimawirkung:	Trockenheit und zunehmender Bedarf an landwirtschaftlichem Beregnungswasser
Adressierte Wechselwirkungen infolge der:	w.1. Auswirkungen auf die Quantität von Grundwasser; I.1. Auswirkung auf den Ertrag unterschiedlicher Kulturen; I.2. Auswirkung auf die Ertragsqualität unterschiedlicher Kulturen
Adressierte Sektoren:	Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Wasserwirtschaft
Anpassungsmaßnahmen:	1.11) Anreicherung von Grundwasser durch Infiltration, 2.1) Bewässerung im Pflanzenbau, 4.1) Waldumbau
Status:	Abgeschlossen
Ansprechpartner:	Waldbauliche Fragen – Martin Hillmann, Leiter Fachbereich Forsteinrichtung, Bewertung, Waldinventur Raumordnung, Naturschutz der Landwirtschaftskammer Niedersachsen (Martin.Hillmann@LWK-Niedersachsen.de) Wasserwirtschaftliche Fragen – Ulrich Ostermann, Geschäftsführer des Kreisverbands der Wasser- und Bodenverbände Uelzen (ulrich.ostermann@wasser-uelzen.de)

3.3.1 Hintergrund/Anlass/Problemdarstellung

Die landwirtschaftliche Produktion in der Region Ostheide, die in Nordostniedersachsen liegt, ist durch Bewässerung geprägt. Grundwasser stellt die Hauptquelle des Bewässerungswassers dar. Die erwarteten Auswirkungen des Klimawandels – insbesondere höhere Verdunstungsraten, längere und intensivere Trockenheitsereignisse – bewirken die Steigerung des Bewässerungsbedarfs in der Region. Zum anderen kann die Menge des zur Verfügung stehenden Grundwassers zukünftig unzuverlässig werden. In dem Zusammenhang haben sich viele bewässernde Betriebe bereit erklärt, in die Bereitstellung von zusätzlichem Wasser zu investieren. Als eine geeignete Strategie rückte der Umbau der die Region prägenden reinen Kiefernwälder zu Laubwäldern in den Fokus. Dabei soll die Erhöhung der Grundwasserspende infolge des Waldumbaus zum überwiegenden Teil den investierenden Beregnungsbetrieben als zusätzliche Grundwasserentnahmeerlaubnis zu Gute kommen.

3.3.2 Beschreibung

Aufgrund des Interesses der bewässernden landwirtschaftlichen Betriebe im Wuchsbezirk Ostheide, Nordostniedersachsen, in den Waldumbau zwecks Grundwasseranreicherung zu investieren und somit zur Verfügbarkeit des

Beregnungswassers beizutragen, wurde das Pilotvorhaben entwickelt. Im Rahmen dieses Vorhabens wurde gemeinsam ein System zur Bewertung und Anrechnung der Grundwasserneubildung durch Waldumbau entwickelt. So wurden (i) die voraussichtlich geeigneten und resilienten Waldentwicklungstypen (WET) identifiziert, für die (ii) mit Hilfe von Modellierungen die mögliche Sickerwasserspense durch Waldumbau quantifiziert wurde. Es wurden die folgenden vier Waldentwicklungstypen für den Betrachtungsraum von 60 Jahren unter den aktuellen sowie zukünftig erwarteten klimatischen Bedingungen berücksichtigt: Eichen-Reinbestand, Eiche/Kiefer, Douglasie/Kiefer und Douglasie/Buche. Für die waldwachstumskundlichen Simulationen dieser vier WET wurden sieben geografisch verortete Standorte ausgewählt. Anschließend wurden (iii) die Wirksamkeit des Verfahrens (Anreicherungs-effizienz) mit einem eigens dafür entwickelten praxisnahen Verfahren (Ampelkarte) bewertet, (iv) die Möglichkeiten zur Erteilung der Grundwasserentnahmeerlaubnisse auf der Basis der Grundwasseranreicherung mit den zuständigen Fach- und Erlaubnisbehörden sowie dem Umweltministerium diskutiert, sowie (v) zur Abbildung des wirtschaftlichen Ausgleichs der Mindererträge aus Grundwasser betontem Waldumbau recherchiert.

Das Pilotvorhaben wurde aus dem Waldklimafonds der Bundesrepublik Deutschland in den Jahren 2014-15 gefördert. Dabei handelt es sich um eine Vorplanung, deren Umsetzung bisher offen ist.

Die hydrogeologische Kongruenz der Waldumbauflächen mit den Wassereinzugsgebieten der Beregnungsbrunnen, also die Grundwasser-Verbindung von Versickerungsflächen und Entnahmebrunnen, kann bzw. könnte mittlerweile mittels eines im Auftrag des Dachverbands Feldberegnung Uelzen für andere Zwecke erstellten hydrogeologischen Modells ortskonkret nachgewiesen werden.

3.3.3 Ergebnisse

Die Sickerwasserbildung des traditionellen Waldentwicklungstyps Kiefer (Referenzszenario) liegt bei heutigem Klima im Gebietsmittel bei ca. 111 mm/a. Modellierungen der möglichen Sickerwasserspense durch Waldumbau für vier WET hat ergeben, dass der Eichen-Reinbestand sich durch eine im Mittel um 95 mm/a höhere Sickerwasserspense auszeichnet (siehe Abbildung 2). Die Variante WET Eiche/Kiefer weist ebenfalls hohe Wasserspenden auf (siehe Tabelle 3). Der Unterschied zwischen den Sickerwassermehrerträgen unter den heutigen und simulierten Klimawandelbedingungen auf Basis des Emissionsszenarios RCP 8.5 unterscheidet sich maximal um +/-9 mm/a.

Tabelle 3: Versickerungstabelle: Mehrertrag durch Waldumbau, Heutiges Klima

Grundwassermehrertrag durch Waldumbau, heutiges Klima	Erste Dekade nach Umbau (mm/a)			Erste 60 Jahre nach Umbau (mm/a)		
	min	Mittel	max	min	Mittel	max
Douglasie/Kiefer	-19	-13	-2	-37	-31	-23
Douglasie/Buche	2	15	32	-15	-8	0
Eiche/Kiefer	27	46	63	49	72	85

Grundwassermehrertrag durch Waldumbau, heutiges Klima	Erste Dekade nach Umbau			Erste 60 Jahre nach Umbau		
	min	Mittel	max	min	Mittel	max
Eiche	36	57	58	65	95	113

Quelle: Kurzbericht zum Projekt „Wasserwald“ <https://www.lwk-niedersachsen.de/services/download.cfm?file=26329>.

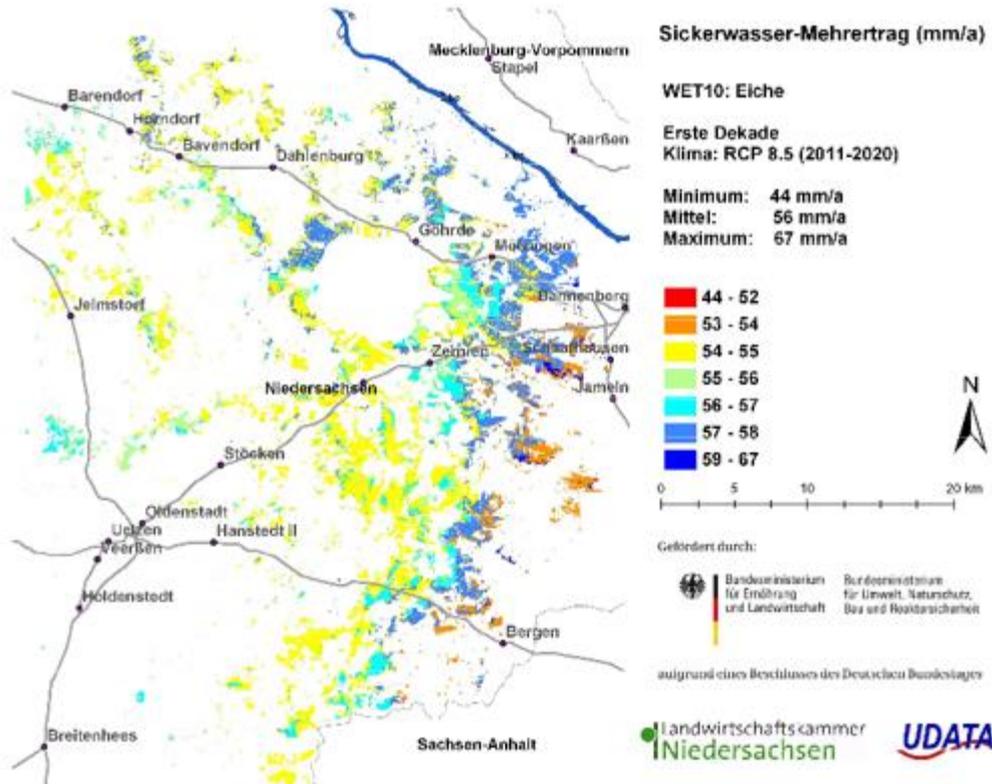


Abbildung 2: Eiche, Sickerwassermehrertrag, RCP 8.5, Erste Dekade.

Quelle: Schultze und Scherzer (2015) „Wasserhaushaltssimulationen, Versickerungstabellen und Versickerungskarten Projekt Wasserwald im Privatwald der östlichen Lüneburger Heide in Niedersachsen“; <https://www.lwk-niedersachsen.de/services/download.cfm?file=25810>.

Die standortbezogene Bewertung des Waldumbaus, d. h. ob eine durch Waldumbau gesteigerte Grundwasserneubildung dem Zielaquifer zu Gute kommt, wurde in Form einer 4-farbigen Karte („Ampelkarte“) dargestellt (siehe Abbildung 3).

Anhand einer ökonomischen Bewertung der Umbaualternativen wurden Ausgleichszahlungen für umbauwillige Waldbesitzer*innen ermittelt.

Seitens des Niedersächsischen Ministeriums für Umwelt, Energie und Klimaschutz wurde ein Vertragsentwurf entwickelt, welcher die rechtlich bindende Anrechnung von Grundwasser betontem Waldumbau auf konkreten Waldflächen mit individuellen zusätzlichen Entnahmeerlaubnissen verknüpft.

Hydrogeologische Wirksamkeit von (mehr) Versickerung ?
 „Ziel“grundwasserleiter ? (hier 2.GWL)

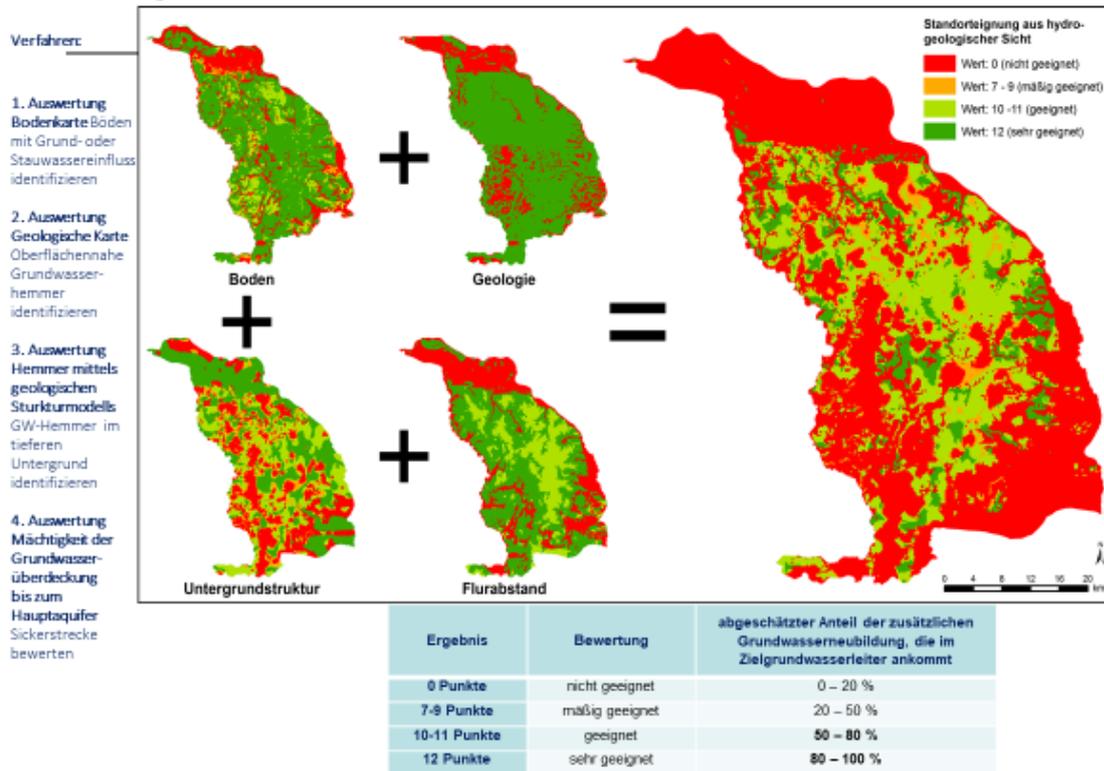


Abbildung 3: Ampelkarte zur Grundwasserneubildung durch Waldumbau

Quelle: www.lwk-niedersachsen.de, webcode 01031096, Wasserwald-Projektbericht Abschlussbericht GeoInformetric AP 6 Versickerungswirksamkeit von Grundwasseranreicherungsmaßnahmen, Hrsg. Landwirtschaftskammer Niedersachsen 2015.

3.3.4 Erkenntnisse (Bewertung aus Perspektive der Umsetzbarkeit)

Die Voraussetzungen und Herausforderungen für das mögliche Waldumbauprojekt, die im Laufe des Pilotvorhabens ermittelt wurden, sind in der Tabelle 4 dargestellt.

Tabelle 4: Rahmenbedingungen für ein Waldumbauprojekt

Voraussetzungen	Herausforderungen
Offenheit der Behörden, der Landwirt*innen, Förster*innen und der Geschäftsführung des Dachverbands Feldberegnung Uelzen	Problematische / fehlende Kostendeckung
Vorhandensein von Nadelwald	Klimarisiko des Waldumbaus durch Trockenheit
Nutzung des Niedersächsischen Förderprogramms für ökologischen Waldumbau	Ausweitung des niedersächsischen Förderprogramms für Grundwasser betonte Waldentwicklungstypen (WET) auf leichte Standorte
Vorhandensein eines hydrogeologischen Strömungsmodells oder einer „Ampelkarte“ für den Zielaquifer (= Förderhorizont für Grundwasser)	Konkretisierung der Anrechnung (Zeitraum und Dauerhaftigkeit, Anteile der Versickerungsmenge)

Die tatsächliche Anwendung der erarbeiteten Verfahrensmöglichkeiten steht in freiem Ermessen der zuständigen Unteren Wasserbehörden. Die Untere Wasserbehörde des Landkreises sowie die zuständigen Fachbehörden (LBEG, NLWKN) haben sich als grundsätzlich offen für die Anrechnung der höheren Wasserspende auf die Entnahmeerlaubnisse von Beregnungsverbänden gezeigt. Für die Anrechnung des Waldumbaus bei der Erteilung von Grundwasserentnahmeerlaubnissen haben zuständige Behörden (Untere Wasserbehörde) ein Waldumbau im Umfang von mehr als hundert Hektar in räumlichem Zusammenhang gefordert. Das bedeutet, dass mehrere Beregnungsverbände sich zusammenschließen und die Waldumbaubereitschaft der örtlichen Waldeigentümer*innen herstellen müssen. Ob genügend Umbauflächen akquiriert werden können, bleibt noch offen.

Ein Hektar Waldumbau kostet größenordnungsmäßig etwa 10.000 €. Die Finanzierung soll zu etwa einem Drittel durch die Beregnungsverbände / -landwirt*innen erfolgen und der Rest durch ein mit Bundesmitteln (GAK-Richtlinie) finanziertes Waldumbau-Förderprogramm des Landes Niedersachsen.

3.3.5 Ausblick

Die Wirtschaftlichkeit der geschilderten anteiligen Investition in den Waldumbau für die beteiligten Beregnungslandwirte hängt von der durch die Untere Wasserbehörde bewilligten Honorierung oder Anrechnungsquote ab. Diese kann sich in Abhängigkeit von der Versickerungseffizienz der einzelnen Waldstandorte unterscheiden. Möglicherweise wird keine Wirtschaftlichkeit erreicht. Zusätzlich stellt das in den letzten Jahren in Folge der Dürren erlebte dramatische Anwuchsrisiko beim Unterbau von jungen Laubholzpflanzen unter Nadelwäldern die Nutzbarkeit des niedersächsischen Waldumbauprogramms in Frage, welches entsprechende, ggf. wiederholte, aufwändige Nachpflanzungen verlangt.

3.3.6 Weitere Informationen

Weitere Informationen sind der [Projektwebseite Projekt Wasserwald](#) der Landwirtschaftskammer Niedersachsen zu entnehmen.

3.4 Hessisches Ried

Bundesland:	Hessen
Adressierte Klimawirkung:	Trockenheit
Adressierte Wechselwirkungen infolge der:	w.2. Auswirkungen auf die Quantität von Grundwasser, I.1. Auswirkung auf den Ertrag unterschiedlicher Kulturen; I.2. Auswirkung auf die Ertragsqualität unterschiedlicher Kulturen
Adressierte Sektoren:	Wasserwirtschaft, Landwirtschaft, Forstwirtschaft (perspektivisch)
Anpassungsmaßnahmen:	1.11) Anreicherung von Grundwasser durch Infiltration, 2.1) Bewässerung im Pflanzenbau
Status:	Laufend
Ansprechpartner*in:	www.whr-infiltration.de www.whr-beregnung.de

3.4.1 Hintergrund/Anlass/Problemdarstellung

Im Hessischen Ried mit einer engen räumlichen Verflechtung von Siedlungsinfrastruktur, Land- und Forstwirtschaft und Wasserwirtschaft herrschen aufgrund konkurrierender Interessen langjährige Konflikte zwischen den Nutzergruppen sowie dem Naturschutz.

Das Land Hessen hat bereits in den 1970er Jahren Maßnahmen zur Stabilisierung des Grundwasserspiegels im Hessischen Ried vorgesehen und die Gegebenheiten u. a. durch das Hessische Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie detailliert untersuchen lassen. Dabei hat sich herausgestellt, dass die Grundwasserneubildung in Trockenjahren nicht ausreicht, um die notwendige Grundwasserentnahme zur Versorgung der Bevölkerung mit Trink- und Brauchwasser in diesem Gebiet und in Teilen der angrenzenden Ballungsgebiete sicherzustellen ohne weiterhin setzungsempfindliche Gebäude zu gefährden sowie land- und forstwirtschaftliche Flächen zu beeinträchtigen.

Mit der Gründung des Wasserverbands Hessisches Ried (WHR) wurde ab 1979 das Konzept der aktiven Grundwasserbewirtschaftung durch Infiltration von aufbereitetem Oberflächenwasser für die Gewinnungsanlagen im Hessischen Ried als nachhaltige und zukunftsfähige Strategie etabliert. Die Grundwassergewinnung wurde durch die künstliche Anreicherung von Grundwasser in den Absenktrichtern der Wasserwerke gesichert und mit Beginn der Umsetzungsmaßnahmen (1983), Bau des Rheinwasser-Wasseraufbereitungswerks in Biebesheim, realisiert.

Mit dem Grundwasser-Bewirtschaftungsplan Hessisches Ried als Ergebnis eines behördenübergreifenden Arbeitskreises ist zudem eine Rahmenplanung als weiterer Schritt auf dem Weg zur Stabilisierung der Grundwasserstände entstanden.

Im Jahr 1989 wurde die Rheinwasseraufbereitungsanlage in Betrieb genommen. Diese hat maßgeblichen Anteil daran, dass die Trinkwasserversorgung und die landwirtschaftliche Bewässerung im angeschlossenen Versorgungsgebiet gesichert sind.

Auch seit Inbetriebnahme des Brauchwasserwerks Biebesheim verändern sich die Bedarfe. Aufgrund der zunehmenden Bevölkerungsdichte mit einem einhergehenden höheren Wasserbedarf und des fortschreitenden Klimawandels mit einhergehenden höheren Wasserbedarfen aus der Landwirtschaft werden aktuell Überlegungen angestrengt, die Rheinwasseraufbereitung ggf. zu erweitern.

3.4.2 Beschreibung

Die Infiltration unterstützt die Stabilisierung der Grundwasserstände, wie sie im Grundwasserbewirtschaftungsplan Hessisches Ried festgelegt sind. Der Grundwasserstand als Grundlage für die Steuerung der Infiltration wird innerhalb und außerhalb des Infiltrationseinflusses monatlich an ca. 850 Grundwassermessstellen gemessen.

Jährlich können bis zu 38 Millionen Kubikmeter Wasser für die Grundwasseranreicherung und bis zu fünf Millionen Kubikmeter für die landwirtschaftliche Bewässerung aus dem Brauchwasserwerk in Biebesheim bereitgestellt werden. Dabei hat die landwirtschaftliche Bewässerung stets Vorrang.

Physikalische, chemische und mikrobiologische Prozesse reinigen das Rheinwasser auf, welches in chemischer Hinsicht den Anforderungen der Trinkwasserverordnung genügt. Eine chemische Desinfektion des Wassers vor der Grundwasseranreicherung ist aus ökologischen Gründen nicht erwünscht, dennoch ist das Brauchwasser nach Abschluss der Aufbereitung in der Regel frei von Fäkalindikatorkeimen. Die Verwendung des Brauchwassers für die Bewässerung empfindlicher Sonderkulturen wie Erdbeeren oder Küchenkräuter ist somit aus hygienischer Sicht uneingeschränkt möglich.

Der Transport des Brauchwassers zu den Infiltrationsorganen erfolgt über ein separates Brauchwassernetz von ca. 30 Kilometer Länge. Der Durchmesser der Rohrleitungen umfasst eine Spanne von 80–140 cm (DN 800–1400). Das Netz zur Bereitstellung des Bewässerungswassers umfasst ca. 290 Kilometer.

Die Versickerung des Brauchwassers zur Grundwasseranreicherung erfolgt entweder über technische Bauwerke, sogenannte Infiltrationsorgane (z. B. Versickerungsgräben, Schluckbrunnen oder Kiesbohrlöcher), oder über die Nutzung ehemaliger Entwässerungsgräben.

Die gesamte Organisation, technischer und finanzieller Art, wird seit Gründung über den Wasserverband Hessisches Ried abgewickelt.

Im Rahmen der Gründung und der Umstrukturierung hat sich das Land Hessen an der Finanzierung beteiligt. Darüber hinaus erfolgt diese über Trinkwassergebühren einerseits und Kosten für das Bewässerungswasser andererseits.

3.4.3 (Erwartete) Ergebnisse

Die Gründung des Wasserverbands Hessisches Ried und der Bau des Rheinwasseraufbereitungswerks in Biebesheim ermöglichen die aktive und gezielte Bewirtschaftung des Grundwassers im Hessischen Ried im Sinne eines integrierten Wasserressourcenmanagements. Die Möglichkeiten sind gegeben, die Wasserversorgung (Trinkwasser und Bewässerung) ohne einschneidende negative ökologische Folgen sicherzustellen. Auch ökologischen und forstwirtschaftlichen Belangen, wie zum Beispiel dem Erhalt der Wälder im Ried durch Bewässerung, kann im Versuchsmaßstab entsprochen werden.

3.4.4 Erkenntnisse (Bewertung aus Perspektive der Umsetzbarkeit)

Wesentliche Grundlage des Grundwasserbewirtschaftungsplans, welcher vor allem für die Bewilligung und die Umsetzung von Wasserrechtsverfahren maßgebliche Rahmenbedingungen, wie die Festlegung von einzuhaltenden Mindestgrundwasserständen, setzt, ist der Wasserverband Hessisches Ried mit dem Brauchwasserwerk Biebesheim. Das Projekt der aktiven Grundwasserbewirtschaftung im Rahmen der Verbandsstrukturen setzt die Ziele eines integrierten Wasserressourcenmanagements erfolgreich unter der Beteiligung aller maßgeblichen Akteure um.

3.4.5 Ausblick

Durch die Zunahme der Bevölkerungsdichte in der Metropolregion Rhein Main und dem steigenden Wasserbedarf aus der Landwirtschaft aufgrund des fortschreitenden Klimawandels kommt der aktiven Grundwasserbewirtschaftung eine immer größere Bedeutung zu. Die langjährigen positiven Erfahrungen vom Wasserverband Hessisches Ried mit den bestehenden Strukturen bilden aktuell Grundlage für die Überlegungen, die Rheinwasseraufbereitung auszuweiten. Machbarkeitsstudien inkl. Bedarfsprognosen werden erstellt, um auch in Zukunft die Trinkwasserversorgung und die landwirtschaftliche Bewässerung unter gleichzeitiger Berücksichtigung ökologischer Aspekte in Einklang bringen zu können.

3.4.6 Weitere Informationen

https://rp-darmstadt.hessen.de/sites/rp-darmstadt.hessen.de/files/2022-04/grundwasserbewirtschaftungsplan_hessisches_ried_stand_2020.pdf

https://umwelt.hessen.de/sites/umwelt.hessen.de/files/2021-06/abschlussbericht_des_runden_tischs_vom_april_2015.pdf

3.5 Gnarrenburger Moor

Bundesland:	Niedersachsen
Adressierte Klimawirkung:	Trockenheit (Treibhausgasemissionen als Folge von niedrigen Wasserständen)
Adressierte Wechselwirkungen infolge der:	w.1. Auswirkungen auf die Quantität von Grundwasser; w.2. Auswirkungen auf das Dargebot von Oberflächenwasser; l.1. Auswirkungen auf den Ertrag unterschiedlicher Kulturen; l.5. Auswirkungen auf die Flächenverfügbarkeit
Adressierte Sektoren:	Landwirtschaft, Wasserwirtschaft
Anpassungsmaßnahmen:	1.4) Wiedervernässung organischer Böden 2.7) Angepasste Management von Niederungen und Retentionsräumen
Status:	abgeschlossen, Start des Folgeprojektes voraussichtlich Anfang 2024
Ansprechpartner:	Dr. Heinrich Höper, Landesamt für Bergbau Geologie und Energie Hannover (Heinrich.Höper@lbeg.niedersachsen.de)

3.5.1 Hintergrund/Anlass/Problemdarstellung

Landwirtschaftlich genutzte und zu diesem Zweck entwässerte Moore stellen mit über 10 Mio. t CO₂-Äquivalenten eine wesentliche Quelle für Treibhausgase in Niedersachsen dar (Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz, 2016). Durch eine Anhebung der Moorwasserstände könnten die Emissionen reduziert werden, indem die Torfmächtigkeitsverluste vermindert und eine Verschlechterung der Torfeigenschaften verlangsamt wird. Dies dient dem Klimaschutz und verlängert in vielen Fällen die Nutzungsdauer der Moorstandorte. Im Modellprojekt Gnarrenburger Moor wurden wasserregulierende Maßnahmen für eine klima- und torfschonende Landwirtschaft auf Moorgrünland zur Praxisreife entwickelt und die Akzeptanz dieser Maßnahmen unter den Landwirt*innen durch Information, Anschauung und Mitarbeit gefördert.

3.5.2 Beschreibung

Das Gnarrenburer Moor ist ein Hochmoor, welches im nördlichen Niedersachsen zwischen Bremen und Bremervörde verortet ist und eine Fläche von 7.140 ha umfasst.

Im Projektgebiet wurden Maßnahmen zur Wasserstandsanhhebung auf landwirtschaftlich genutzten Moorstandorten in Verbindung mit einer an höhere Wasserstände angepassten Bewirtschaftung in Demonstrationsversuchen getestet (Kalinski et al. 2021). Für den Grabenanstau wurden steuerbare Wehre installiert, um den Oberflächenabfluss im Graben zurückzuhalten. Bei der Unterflurbewässerung wurde darüber hinaus ein konstant hoher Wasserspiegel im Graben durch Zufuhr von

Grundwasser eingestellt. Zudem wurde das Wasser aus dem Graben über eng liegende Dränrohre in die Fläche geleitet. Des Weiteren wurden auf ausgewählten Flächen anpassungsfähige Gräsermischungen und unterschiedliche Düngungsstrategien einschließlich einer Unterlassung der Düngung getestet.

Zur Förderung der Akzeptanz der wasserregulierenden Maßnahmen wurde eine Kooperation, bestehend aus Vertretern der freiwillig beteiligten Landwirt*innen, der Landwirtschaftskammer Niedersachsen (LWK), des Landesamtes für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG) sowie beratenden Akteuren aus Gemeinde, Behörden und Verbänden gegründet. Sie diente der Kommunikation sowie der Beratung und Beschlussfassung über torf- und klimaschonende Maßnahmen in der Modellregion. In der Kooperation standen die kooperierenden Landwirt*innen im Mittelpunkt und hatten die Möglichkeit, torf- und klimaschonende Maßnahmen mit Fachbehörden unter Einbindung von Verwaltung und berufsständischen Vertretungen als Grundlage zukünftiger Förderinstrumente und landesweiter Beratung mitzugestalten. Über den Arbeitskreis der Kooperationslandwirt*innen als assoziiertes Gremium der Kooperation haben sich 69 Bewirtschafter*innen, Hofnachfolger*innen und Eigentümer*innen der Modellregion bis Ende 2020 in die Kooperationsarbeit eingebracht. Sie bewirtschaften rund 30 Prozent der landwirtschaftlich genutzten Fläche.

3.5.3 Ergebnisse

Mit der Methode der Unterflurbewässerung konnten die Moorwasserstände auf bis zu 0,20 m unter Geländeoberkante angehoben und die Sackung der Mooroberfläche stark vermindert werden. Aufgrund der geringen gesättigten Wasserleitfähigkeit der Torfe lagen die Moorwasserstände in den Sommermonaten witterungsbedingt zwischen einem und drei Dezimetern unterhalb der Grabenwasserstände. Der Einfluss der höher eingestellten Wasserstände auf die Treibhausgasemissionen ist noch nicht abschließend untersucht. Auf den Demonstrationsversuchen zum Grabenanstau konnten die Graben- und Moorwasserstände während der Verdunstungsperiode im Vergleich zur Referenz nicht wesentlich angehoben werden. Die Sackung der Mooroberfläche konnte mit dieser Methode im Vergleich zur Referenz nicht reduziert werden. Damit ist hier auch keine Reduktion der Treibhausgasemissionen zu erwarten.

Mit Blick auf die Zukunft ihres Betriebes waren viele der Landwirt*innen aus dem Gnarrenburger Moor an den wasserregulierenden Maßnahmen interessiert. Bei einer individuellen Beratung auf den Betrieben konnten grundsätzliche Mechanismen der Treibhausgasemissionen und der Bodendegradation, aber auch individuelle Probleme mit dem eigenen Standort geklärt werden. Eine anfängliche Skepsis gegenüber der Notwendigkeit der klimaschutzorientierten Bewirtschaftung konnte abgebaut werden. Gleichzeitig lieferte der enge Kontakt mit den einzelnen Betrieben dem Projekt viele wertvolle Hinweise für die Entwicklung geeigneter und praxistauglicher Klimaschutzmaßnahmen. Im Gespräch konnten erste Ansätze für eine Umsetzung von Klimaschutzmaßnahmen auf den jeweiligen Betrieben besprochen werden. In der letzten Projektphase wurde darüber hinaus ein Gebiet ausgewählt, für welches in enger Abstimmung mit den betroffenen Landwirten ein Umsetzungskonzept für klima- und torfschonende Maßnahmen erarbeitet wurde (Abbildung 4). Dieses Konzept soll in einem Folgeprojekt in der Praxis umgesetzt werden.

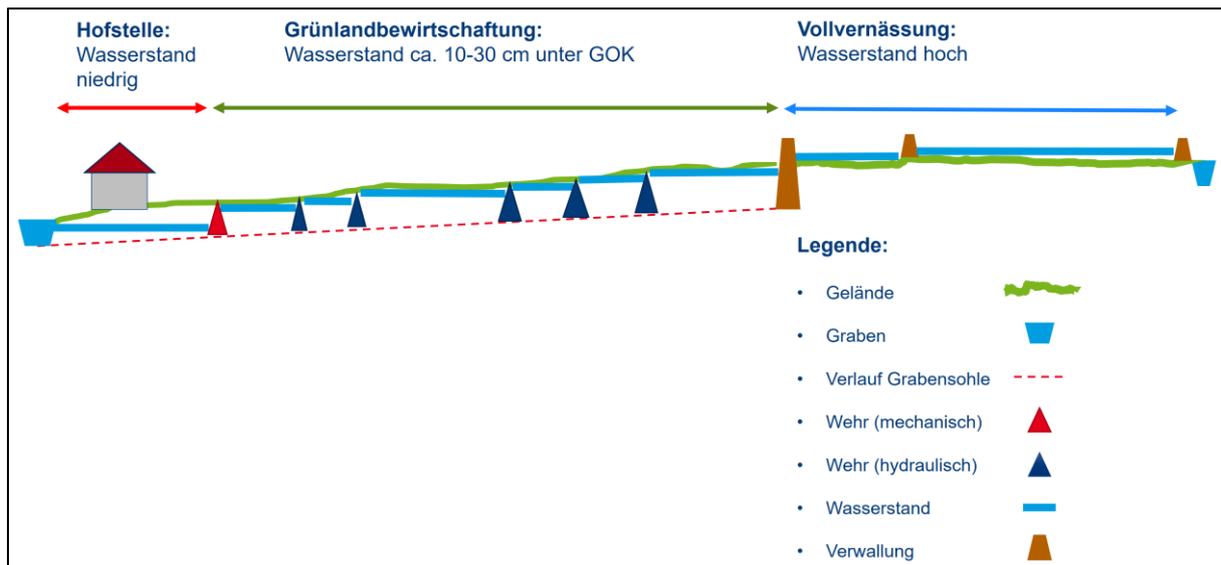


Abbildung 4: Skizze für ein Maßnahmenkonzept auf einem für das Gnarrenburger Moor typischen Hochmoortranssekt, mit der Hofstelle links (niedriger Wasserstand), einem Bereich mit nasser Grünlandbewirtschaftung in der Mitte (Wasserstand ca. 10-30 cm unter GOK) und einem Bereich mit Vollvernässung (horizontal planiert mit Verwallungen und Überstaumöglichkeiten zur Speicherung der Winterniederschläge).

3.5.4 Erkenntnisse (Bewertung aus Perspektive der Umsetzbarkeit)

Es wurde deutlich, dass eine klimawirksame Anhebung der Moorwasserstände im Hochmoor nur durch ausreichend Zusatzwasser möglich ist. Auf den Demonstrationsversuchen wurde dieses durch Grundwasser bereitgestellt. Eine entsprechende Versorgung aller landwirtschaftlichen Nutzflächen des Gnarrenburger Moores könnte zu einer Übernutzung des Grundwassers führen. Als Alternative bietet sich die Rückhaltung hoher Abflüsse, besonders im Winter, und deren Nutzung zur Versorgung der Grünlandflächen im Sommer an. Dafür ist ein Wassermanagement erforderlich, dass das komplette Einzugsgebiet im Gnarrenburger Moor umfasst.

Die Gelegenheit einer freiwilligen Mitgestaltung an praxistauglichen Maßnahmen zur torf- und klimaschonenden landwirtschaftlichen Bewirtschaftung hatte die erhoffte Akzeptanz und Beteiligungsbereitschaft der Landwirt*innen der Modellregion in der Kooperation zur Folge. Insbesondere über den Arbeitskreis interessierten sich die Kooperationslandwirt*innen für die technische Machbarkeit von Wasserstandanhebungen und Möglichkeiten angepasster Bewirtschaftung bei angehobenen Wasserständen sowie die damit verbundenen ökonomisch tragfähigen betrieblichen Entwicklungsperspektiven. Ökonomische Aspekte wie Ertragssicherung und der Erhalt der Grasnarben in Dürresommern durch Wasserrückhalt waren dabei ebenso ein wichtiger Hebel für die Beteiligung wie die Information über Fördermöglichkeiten und Finanzierungsinstrumente. Die Kooperationsmitglieder waren sich darüber einig, im Weiteren Gelegenheiten für großflächige Erprobungen nasserer Bewirtschaftungsformen mit den Landwirt*innen der Modellregion nutzen zu wollen. Zur Aufrechterhaltung der hohen Akzeptanz und Teilnahdebereitschaft bedarf es hier zeitnaher Angebote an die Landwirt*innen.

3.5.5 Ausblick

Im Modellprojekt Gnarrenburger Moor wurden Maßnahmen entwickelt, die an die bisherigen landwirtschaftlichen Bewirtschaftungsformen der Flächen unter Beibehaltung bestehender Produktionsverfahren und Absatzwege anknüpfen. Das beantragte interdisziplinäre Folgeprojekt Gnarrenburger Moor 3 geht einen Schritt weiter und verfolgt das Ziel, Lösungen zur Entwicklung und Erprobung von Transformationspfaden (Abbildung 5) zu erarbeiten. Diese Pfade setzen an der aktuellen Situation an und ermöglichen eine Entwicklung in Richtung immer nasserer Bewirtschaftungsverfahren über Zwischenschritte, in Abhängigkeit von Finanzierungs- und Fördermöglichkeiten sowie der Entwicklung neuer betriebswirtschaftlich interessanter Produkte und Märkte.

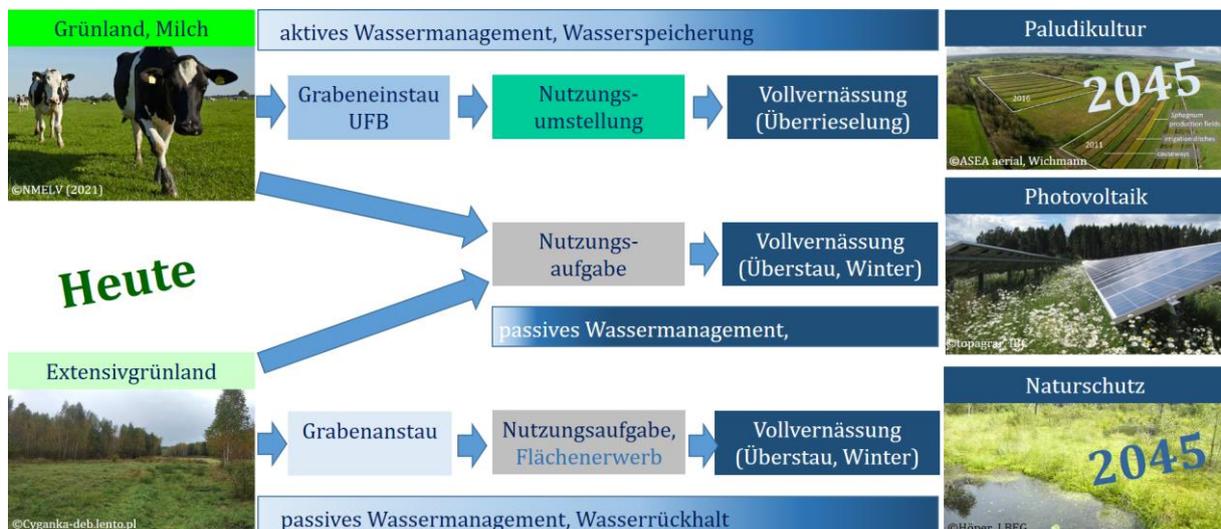


Abbildung 5: Transformationspfade zur Umwandlung der bestehenden Bewirtschaftungsformen zu den zukünftigen Nutzungsformen.

3.5.6 Weitere Informationen

[Modellprojekt zur Umsetzung einer klimaschutzorientierten Landwirtschaft im Gnarrenburger Moor | Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie \(niedersachsen.de\)](#)

[Effects of water management on peatland water table and peatland subsidence \(geo-leo.de\)](#)

[SWAMPS – Verfahrensanalysen und Handlungsoptionen zur Verminderung von Treibhausgasemissionen und zum Schutz von Mooren für landwirtschaftlich genutztes Grünland \(swamps-projekt.de\)](#)

3.6 Sömmerung von Karpfenteichen

Bundesland:	Sachsen
Adressierte Klimawirkung:	Trockenheit, Wasserknappheit
Adressierte Wechselwirkungen infolgeder:	w.2. Auswirkungen auf die Quantität von Oberflächenwasser; a.1. Auswirkungen auf Fischerträge in Aquakultur
Adressierte Sektoren:	Aquakultur, Wasserwirtschaft, Landwirtschaft
Anpassungsmaßnahmen:	5.4) Optimierung des Wasserrückhalts und -managements in Teichgebieten
Status:	Abgeschlossen
Ansprechpartner:	Dr. Gert Füllner (LfULG, Referat 76; Gert.Füllner@smekul.sachsen.de)

3.6.1 Hintergrund/Anlass/Problemdarstellung

Wie die vergangenen Hitze- und Trockenjahre eindrücklich gezeigt haben, werden die Teichwirtschaften im Zuge des Klimawandels künftig vor elementare Probleme gestellt. Insbesondere die geringeren Niederschläge in der Vegetationsperiode und die steigende Verdunstung führen zu einer negativen Wasserbilanz und damit zu einer nur noch eingeschränkten Nutzung vieler Teichflächen. Ein möglicher Weg, eine ökonomisch tragfähige Bewirtschaftung der Teiche unter den gegebenen Verhältnissen auch in Zukunft sicherzustellen, ist die Wiedereinführung der historischen Sömmerung. Die Sömmerung ist eine jahrhundertlang praktizierte Bewirtschaftungsmethode in der Karpfenteichwirtschaft, die mit der Intensivierung und Spezialisierung der Landwirtschaft an Bedeutung verlor. Bei dieser Landnutzungsform erfolgt vorübergehend keine Bespannung der Teichflächen, stattdessen werden Feldfrüchte angebaut oder der natürliche Aufwuchs der Teichböden genutzt.

Auf diese Weise kann das geringer werdende sommerliche Wasserdargebot effektiver genutzt werden, in dem nicht alle Teiche einer Gruppe unter dem gleichen Wassermangel leiden, sondern einzelne Teiche gänzlich unbespannt bleiben, während für die übrigen Flächen noch ausreichend Wasser verbleibt. Damit wechselt sich die fischereiliche Nutzung der Teichfläche mit der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung ab. Gleichzeitig kann die Sömmerung von Teichen zur Teichdesinfektion dienen. Austrocknung und ultraviolette Strahlung der Sonne führen zur Inaktivierung von Krankheitserregern, wie z. B. Viren, Bakterien oder Parasiten. Eine Sömmerung ist deshalb zusätzlich eine effektive und biozidfreie Form der Fischkrankheitsbekämpfung.

3.6.2 Beschreibung

Bei der Suche nach wassersparenden Bewirtschaftungskonzepten in der Karpfenteichwirtschaft wurde im Rahmen des aus dem Europäischen Meeres- und Fischereifonds (EMFF) finanzierten Forschungsprojekts untersucht, ob die historische Landnutzungsform der Sömmerung auch unter heutigen Bedingungen möglich ist. Ziel

des Vorhabens war die Erprobung verschiedener Sömmerungsverfahren auf unterschiedlichen Teichflächen (Anbau von Nutzpflanzen, Bienenweide, selbstbegrünende Brache) zur Entwicklung von Strategien während Zeiten von Wasserknappheit.

Das Forschungsvorhaben „Sömmerung von Karpfenteichen“ gliederte sich dabei in zwei Projektzeiträume (2019 – 2020 und 2021 – 2022). Hierbei wurden drei Themenkomplexe mit spezifischen Versuchsfragen formuliert, ausgewertet und diskutiert.

- Themenkomplex 1: Prüfung der Anbaufähigkeit verschiedener Kulturpflanzenarten und die Auswirkungen der Sömmerung auf die Teichflächen sowie Fischproduktion im Folgejahr.
- Themenkomplex 2: Prüfung, unter welchen förderrechtlichen Bedingungen die Sömmerung in die zukünftigen Maßnahmen (Förderrichtlinie Teichwirtschaft und Naturschutz, FRL TWN/2023) integriert werden kann.
- Themenkomplex 3: Prüfung des Einflusses der Sömmerung auf das Ökosystem Karpfenteich sowie Durchführung von Maßnahmen, welche einen ökologischen Mehrwert generieren (vergl. Biodiversität von Pflanzen und Insekten).

Das Projekt lief in enger Zusammenarbeit mit Teichwirtschaften aus der Oberlausitz, dem Senckenberg-Museum für Tierkunde Görlitz, dem Biosphärenreservat Oberlausitzer Heide- und Teichlandschaft und Büchner & Scholz, Büro für ökologische Studien, Naturschutzstrategien und Landschaftsplanung.

3.6.3 Ergebnisse

Die Sömmerung von Karpfenteichen ist ein wassersparendes Verfahren der Teichbewirtschaftung im Rahmen der guten fachlichen Praxis. In Zeiten häufiger auftretender wasserarmer Sommer kann das Wasserdargebot nutzbringender in der Teichwirtschaft eingesetzt werden. Die Trockenlegung eines Teils der Teichflächen sichert ausreichend hohe Wasserstände in den übrigen Teichen.

Die aus der historischen Literatur beschriebene deutliche Steigerung der Fischerträge nach einer Teichsömmerung konnte unter heutigen Produktionsbedingungen im Folgejahr nicht nachgewiesen werden. Ursache könnte die unterschiedliche Nährstoffversorgung der Teiche heute und in historischer Zeit sein. Wichtig ist, dass die ordnungsgemäße Sömmerung nicht zu einer verstärkten Verlandung oder einer wesentlichen Verschlechterung des Kulturzustandes der Karpfenteiche führte.

Es zeigte sich, dass die Tragfähigkeit der Teichböden und der Stauwassereinfluss die für den Kulturpflanzenanbau entscheidenden Parameter sind. Hierbei können sowohl Acker- und Blühpflanzen angebaut, als auch Teichbrachen etabliert werden. Nach dem Abschluss der Vegetationsperiode muss u. a. durch Mahd (Feldfrüchte) oder Mulchen (Brache- und Blühfläche) der Aufwuchs entfernt werden. Diese Maßnahme ist Grundvoraussetzung und notwendig, um den Kulturzustand der Teichflächen nicht zu gefährden bzw. zu erhalten.

Durch die Sömmerung von Karpfenteichen werden Lebensräume geschaffen, die Pionierpflanzengesellschaften eine Chance geben und die durch die unmittelbare

Nähe von Nass- und Trockenstandorten in besonderer Weise dem Artenschutz von gefährdeten und seltenen Pflanzen und Tieren dienen.

Bei allen Anbauverfahren werden somit hohe Ökosystemleistungen erbracht. Eine angepasste Vergütung für den Ertragsausfall und die gestaffelte Honorierung der einzelnen Anbautechniken ist daher wichtig. Die Teichsömmerung kann unter den aktuellen Bedingungen aus betriebswirtschaftlichen, hydrologischen, seuchenbiologischen und aus Gründen des Biotop- und Artenschutzes sinnvoll sein.

3.6.4 Erkenntnisse (Bewertung aus Perspektive der Umsetzbarkeit)

Eine Sömmerung von Teichen kann für den/die Teichwirt*in aus Gründen einer wassersparenden Bewirtschaftung oder zur Fischkrankheitsbekämpfung notwendig sein. Die Wiedereinführung der Sömmerung könnte somit ein wichtiges Instrument bei der Bewirtschaftung von Grenzertragsstandorten und in Trockenjahren bilden. Der Schwerpunkt wird auf Ökosystemdienstleistungen liegen. Ein Ertragsanbau von Feldfrüchten auf Teichböden wird auf Sondersituationen beschränkt bleiben. Blühflächen und Teichbrachen konnten im Projektverlauf erfolgreich etabliert werden und bilden ökologisch hochwertige Habitate.

Die Ergebnisse des Forschungsvorhabens wurden bereits im Verlauf der Projektbearbeitung in das seit 2023 geltende Förderprogramm Teichwirtschaft- und Naturschutz (FRL TWN/2023) übernommen. Hierbei ist eine einmalige Sömmerung des spezifischen Teiches im fünfjährigen Verpflichtungszeitraum als Bestandteil der guten fachlichen Praxis möglich und wird durch die Zahlung einer Flächenprämie honoriert. Im vorherigen Förderprogramm wäre eine Sömmerung von Teichen förderschädlich gewesen. Ein ähnliches Verfahren hat sich in den vergangenen Jahren im Rahmen der Blüh- und Bracheflächen in der landwirtschaftlichen Praxis etabliert und wird durch landwirtschaftliche Unternehmen wahrgenommen.

3.6.5 Ausblick

Durch die Maßnahme besteht u. a. die Möglichkeit, Perioden mit Wassermangel zu überbrücken und Teichflächen langfristig zu erhalten. Bedingt durch den fortschreitenden Klimawandel wird es in Zukunft zu einer weiteren Zuspitzung der Wassersituation kommen.

Die Ergebnisse des Sömmerung-Projektes wurden direkt in die seit 2023 geltende Förderrichtlinie TWN überführt und kommen somit den Unternehmen der Teichwirtschaft unmittelbar zugute.

Die einzelnen Förderkriterien stammen aus den laufenden Forschungsarbeiten bzw. wurden aus den Ergebnissen abgeleitet. Für den/die Bewirtschafter*in muss eine flexible Antragstellung ermöglicht werden, um die jeweiligen Witterungsbedingungen berücksichtigen zu können. Oft entscheidet sich erst im Frühjahr des Produktionsjahres, ob eine Sömmerung z. B. aufgrund von Wassermangel notwendig ist. Bei einer mehrjährigen Sömmerung besteht die Gefahr, dass sich Gehölze einstellen und diese in Zukunft nur schwer wieder zurückzudrängen sind. Im Verlauf des Förderzeitraums muss diese Problemstellung weiter beobachtet werden, um ggf. Abweichungen zuzulassen. Mögliche Ausnahme wäre z. B. ein mehrjähriger akuter Wassermangel in einzelnen Teichgruppen.

3.6.6 Weitere Informationen

Projektbericht 1:

<https://www.fischerei.sachsen.de/soemmerung-von-karpfenteichen-4771.html>

Projektbericht 2:

<https://www.fischerei.sachsen.de/soemmerung-von-karpfenteichen-ii-5407.html>

4 Grundlagen und Handlungsempfehlungen für die Entwicklung eines integrierten Wassermanagementkonzepts

Die im Kapitel 3 dargestellten Beispiele zeigen Kooperationsmöglichkeiten bei der Planung und Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen mit allen beteiligten Stakeholdern auf. Es zeigt sich außerdem, dass es keine Pauschalmaßnahmen gibt, und tragfähige Lösungen nur unter Berücksichtigung der lokalen bzw. regionalen natürlichen, wirtschaftlichen, rechtlichen und sozialen Rahmenbedingungen entwickelt werden können. Diese Erkenntnis wurde bereits im LAWA-Bericht „Umgang mit Zielkonflikten bei der Anpassung der Wasserwirtschaft an den Klimawandel“ (LAWA 2022) betont. Weiterhin ist das Erfordernis lokaler und regionaler Ansätze zum Wassermanagement explizit im Entwurf der Nationalen Wasserstrategie (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz 2023) genannt und in mehreren der darin enthaltenen Aktionen verankert – z. B. Aktion 6 „Leitlinie für den Umgang mit Wasserknappheit entwickeln“, Aktion 7 „Leitbilder für den regionalen, naturnahen Wasserhaushalt“ und Aktion 47 „Bundesweit einheitliche Leitlinien für regionale Wasserversorgungskonzepte erstellen“.

Beruhend auf den Erkenntnissen aus den im Kapitel 3 dargestellten beispielhaften regionalen Lösungsansätzen wird in diesem Kapitel ein Vorschlag zum Ablauf und zu Grundlagen der Entwicklung eines integrierten Wassermanagementkonzepts erarbeitet. Einleitend wird aufgezeigt, wie derzeit Klimaanpassungsmaßnahmen geplant und umgesetzt werden. Sektorübergreifende Gremien existieren bereits deutschlandweit aufgrund unterschiedlicher Fragestellungen in entsprechend unterschiedlicher Form. Von diesen Beispielen und der Notwendigkeit, die Sektoren an den Klimawandel anzupassen, wurden Handlungsempfehlungen für ein integriertes Wassermanagementkonzept abgeleitet, welches sowohl die vorzunehmenden Schritte als auch die zu erfüllenden Voraussetzungen umfasst. Diese Handlungsempfehlungen sollen dabei helfen, sowohl Anpassungsmaßnahmen zukunftsorientiert zu planen als auch Nutzungskonflikten entgegenzuwirken und Entscheidungsträger*innen zu unterstützen.

4.1 Ist-Zustand bei der Umsetzung von Maßnahmen

Aktuell ist es gängige Praxis, dass Einzelmaßnahmen vom Vorhabenträger geplant und beantragt werden. Anschließend werden diese von der zuständigen Behörde geprüft und ggf. genehmigt. Im Vorfeld der Beantragung gibt es mit den zuständigen Beteiligten und Stellen i.d.R. Abstimmungen. Wenn es um Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel geht, stößt dieses Vorgehen allerdings immer häufiger an seine Grenzen. Beim Thema Bewässerung beispielsweise ist dies sehr eindrücklich ersichtlich: Einzelne Landwirt*innen beantragen neue oder zusätzliche Entnahmen zur Bewässerung ihrer Kulturen. Von den zuständigen Behörden werden diese genehmigt, so lange ausreichend Wasser verfügbar ist. Irgendwann ist die nachhaltig verfügbare Menge jedoch ausgeschöpft und der nächste Entnahmeantrag muss abgelehnt werden. Um hier eine möglichst breite und gerechte Verteilung an alle

Wassernutzer*innen unter Berücksichtigung der Belastbarkeit natürlicher Systeme zu ermöglichen, bedarf es neuer Wege bereits vor den Überlegungen zu einzelnen Entnahmeanträgen. Vielmehr wäre es geboten, dass sich alle Wasserentnehmer*innen eines Einzugsgebietes organisieren (z. B. in Verbänden) und gemeinsam über mögliche Entnahmen und deren Verteilung austauschen.

4.2 Beispiele für sektorübergreifende Gremien-Arbeiten

Tabelle 5 stellt eine kleine Auswahl an Beispielen von sektorübergreifenden Arbeiten dar. Ihre Beschreibungen sind in der Anlage 2 aufgeführt. Das Gemeinsame an den in der Tabelle 5 aufgeführten Arbeiten ist das übergeordnete Ziel, das qualitäts- oder mengenbezogene Management von Wasserressourcen gemeinsam sektorübergreifend zu verbessern. Die unterschiedliche Ausgestaltung der Gremien und Projekte zeigt die Vielfalt an Möglichkeiten, die zur Lösung führen können:: In Form eines Projektes, einer freiwilligen Kooperation, eines Arbeitskreises bei den bestehenden Verbänden oder im Rahmen der Umsetzung einer Strategie. Sie agieren auf verschiedenen Ebenen, verfügen über unterschiedliche inhaltliche Schwerpunkte – von einzelnen Aspekten des Wassermanagements bis zu einer ganzen Bandbreite an wasserbezogenen Fragestellungen – und verfolgen diverse Zwecke – von einem Informations- und Austauschangebot bis zur Entwicklung von regionalen Wassermanagementkonzepten.

Tabelle 5: Beispiele für sektorübergreifende Gremien-Arbeiten

Nr.	Gremium	Sektoren	Fokus	Räuml. Planungsebene	Mitwirkende	Bundesland	Quelle
1	"Landesniedrigwasserkonzept"	Wasserwirtschaft, Landwirtschaft, Forstwirtschaft	Niedrigwasser	Flusseinzugsgebiet	Wasserwirtschaft, Kommunen, Landwirte, Fischerei, Forstwirtschaft, Naturschutz, Öffentlichkeit	Brandenburg	https://mluk.brandenburg.de/mluk/de/umwelt/wasser/wasserminimalebewirtschaftung/niedrigwasser/umsetzung-landesniedrigwasserkonzept/
2	Pilotprojekt „Netzwerke Wasser“	Wasserwirtschaft, Landwirtschaft	Trockenheit, Bewässerung	Landkreise	Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, der Landkreise, Wasserver- und Entsorgungsunternehmen, Wasser-, Beregnungs- und Bodenverbände	Niedersachsen	https://www.lbeg.niedersachsen.de/startseite/boden_grundwasser/ki-umwandel/netzwerke_wasser_2017.html
3	Allianz für den Gewässerschutz	Wasserwirtschaft, Landwirtschaft	Stoffeinträge in Oberflächen- und Grundwasser	Bundesland	Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt, Natur und Digitalisierung; Bauernverband; Landesverband der Wasser- und Bodenverbände; Landesgruppe Norddeutschland des Bundesverbandes der Energie- und Wasserwirtschaft	Schleswig-Holstein	https://www.allianz-gewaesserschutz.de
5	Koordinierungsstelle „Zukunftsstrategie Wasserwirtschaft Nordbayern“	Wasserwirtschaft, Landwirtschaft	Trockenheit, Niedrigwasser	Regierungsbezirk	Ämter, Verwaltungen, Wasserwirtschaftsämter, Landratsämter, Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau, Amt für Ländliche Entwicklung, Fränkischer Weinbauverband	Bayern	https://www.regierung.unterfranken.bayern.de/aufgaben/177673/299239/gebäude/2179/index.html
6	Informationsnetzwerk "Bewässerungsforum Bayern"	Wasserwirtschaft, Landwirtschaft	Bewässerung	Bundesland	Forschung, Beratung, Bildung, staatlicher Verwaltung, Umwelt, Wasserwirtschaft, Gewerbe und landwirtschaftliche Praxis	Bayern	https://www.alb-bayern.de/De/Bewasserung/BewasserungsforumBayern/grundwasser-wasserrechte-bewasserungsmanagement_Kon
7	Arbeitsgruppe „EG-WRRL und Landwirtschaft“	Wasserwirtschaft, Landwirtschaft	Stoffeinträge in Oberflächen- und Grundwasser	Bundesland	Wasserwirtschaftsverwaltung, Landwirtschaftsverwaltung, Landwirtschaftskammer, Bauern- und Winzerverbände, Wasser- und kommunale Versorgungsunternehmen, Getränkehersteller, landwirtschaftliche Betriebe	Rheinland-Pfalz	https://wrrl.rlp-umwelt.de/servlet/s/8618/
8	Kooperationen zum Gewässerschutz in der Landwirtschaft	Wasserversorger, Landwirtschaft	Einträge in Oberflächen- und Grundwasser	Wasserschutz-, Grund- und Trinkwasser-einzugsgebiete		Rheinland-Pfalz	www.wasserschutzberatung.rlp.de
9	Strategie zum Umgang mit Wassermangel	Wasserwirtschaft, Landwirtschaft, weitere Wassernutzer	Wassermangel	Bundesland	Alle betroffenen Fachrichtungen und Verbände	Baden-Württemberg	https://um.baden-wuerttemberg.de/de/umwelt-natur/wasser/wasserversorgung/wassermangel

4.3 Ablaufempfehlung für die Erstellung und Umsetzung eines integrierten Wassermanagementkonzepts

Ein regionales „integriertes Wassermanagement“ definiert ein Konzept zur nachhaltigen und sektorübergreifenden Nutzung der Ressource Wasser im ländlichen Raum. Es umfasst die dafür notwendigen sektoralen Anpassungsmaßnahmen unter Berücksichtigung lokaler bzw. regionaler Gegebenheiten und Klimaprojektionen und unterliegt den gesetzlichen Anforderungen. Die räumlichen Einheiten, für die das integrierte Wassermanagementkonzept zu entwickeln ist, sollten anhand gegebener Strukturen und Fragestellungen definiert werden. Denkbar sind natürliche Einheiten wie z. B. Flusseinzugsgebiete oder administrative Einheiten wie z. B. Landkreise.

Für die sektorübergreifende Erarbeitung eines integrierten Wassermanagements ist es dringend ratsam, im ersten Schritt (siehe Tabelle 6) eine koordinierende Stelle auf der geeigneten Verwaltungsebene (z. B. beim Landkreis) zu schaffen, welche die Erarbeitung und Umsetzung des Konzeptes maßgeblich koordiniert. Der zweite Schritt und eine der größten Herausforderungen bei der Entwicklung eines integrierten Wassermanagements ist eine eingehende Problemanalyse gekoppelt mit einer Stakeholderanalyse. Die Stakeholderanalyse ist notwendig, damit die Voraussetzung geschaffen ist, dass alle betroffenen und potenziell betroffenen Akteur*innen zur Problemanalyse beitragen. Dies erfolgt, indem die Stakeholder im Rahmen eines Gremiums zusammenkommen. Evtl. ist es notwendig, dass im Rahmen der Problemanalyse die Zusammensetzung des Gremiums um weitere Stakeholder erweitert oder verkleinert wird. Der dritte Schritt beinhaltet die Erarbeitung eines Konzeptes mit einer oder mehreren konkreten Anpassungsmaßnahmen, in dem alle relevanten Stakeholder eingebunden werden. Im letzten Schritt soll die Umsetzung des Konzeptes erfolgen. Alle Schritte und deren Voraussetzungen werden im Folgenden ausgeführt.

Tabelle 6: Schritte bei der Entwicklung und Umsetzung eines lokalen bzw. regionalen Klimaanpassungskonzeptes

Nr.	Schritt	Voraussetzungen
1	Einrichtung eines regionalen koordinierenden Wassermanagers	Bestehende oder potenzielle zukünftige Interessenkonflikte um Ressource Wasser
2	Einrichten des Gremiums: Problem- und Stakeholderanalyse	Datenverfügbarkeit Berücksichtigung lokaler bzw. regionaler Gegebenheiten
3	Entwicklung nötiger Anpassungsmaßnahmen	Flächenverfügbarkeit Sensibilisierung weiterer Akteure
4	Umsetzung des Wassermanagementkonzeptes	Anreizsystem Ansatz zu Monitoring und Kontrolle

4.3.1 Einrichtung einer koordinierenden Wassermanagementstelle

In Gebieten mit bestehenden und potentiellen zukünftigen Nutzungskonflikten um die Ressource Wasser wird empfohlen eine Dauerstelle zu schaffen, die sich mit dem integrierten Wassermanagement beschäftigt. Ob diese Stelle dem Landkreis oder einer anderen Verwaltungsebene zugeordnet ist, hängt u. a. von den administrativen

Gegebenheiten und der wasserbezogenen Problemebene ab. Diese koordinierende Stelle kann Überschneidungen mit dem Aufgabenbereich der Klimaanpassungsmanager*innen haben. Eine Zusammenarbeit ist daher zu empfehlen. Der/die koordinierende Wassermanager*in arbeitet mit allen Sektoren zusammen. Daher ist es notwendig, dass diese Person von allen Stakeholdern als neutral betrachtet und mit keinem Sektor assoziiert wird. Weiterhin soll die Rechtswirksamkeit des unter der Koordination des/der Wassermanager*in gemeinsam erarbeiteten integrierten Wassermanagementkonzepts (siehe Kapitel 4.3.2) angestrebt werden. Dafür ist es wichtig, bei der Erarbeitung des Konzepts die gesetzliche Zulässigkeit zu berücksichtigen und die entsprechenden unteren und oberen Behörden im Gremium einzubinden.

4.3.2 Einrichten des Gremiums: Problem- und Stakeholderanalyse

Bereits in der Nationalen Wasserstrategie wurde der Dialog als optimales Format für die Entwicklung eines lokalen bzw. regionalen Wassermanagementkonzeptes verankert. Dies ist auch die gewonnene Erkenntnis im Rahmen des Projektes „Umgang mit Zielkonflikten bei der Anpassung der Wasserwirtschaft an den Klimawandel“ (LAWA 2022). Dabei wurde empfohlen, dass der/die Wassermanager*in für die Erarbeitung eines Wassermanagementkonzeptes ein Gremium mit Vertreter*innen aller Stakeholder inkl. relevanter Behörden zusammenruft. Dadurch wird die Akzeptanz für das Ergebnis des Dialogs sowie seine Umsetzbarkeit verbessert.

Darauf aufbauend ist die Hauptaufgabe des/der Wassermanager*in die Einberufung und Pflege eines solchen Gremiums. Er/sie koordiniert die Problem- und Stakeholderanalyse, auf dessen Basis das Gremium einberufen wird. Das Ziel der Problemanalyse ist es, alle bestehenden und zukünftigen wassernutzenden Akteur*innen zu identifizieren, sowie ihre bereits bestehende oder zukünftige Betroffenheit durch Klimawandelwirkungen zu ermitteln. Neben den wassernutzenden Stakeholdern sind auch wasserverwaltende Akteure (z. B. Untere Wasserbehörden) miteinzubeziehen (siehe Kapitel 4.4.5).

Daten helfen Problemlagen zu erkennen und zu versachlichen. Auf dieser Grundlage plant das Gremium konkrete Anpassungsmaßnahmen. Voraussetzungen für diesen Schritt sind die Datenverfügbarkeit (siehe Kapitel 4.4.1 „Datenverfügbarkeit“) und die Berücksichtigung lokaler bzw. regionaler Gegebenheiten. Neben den in diesem Bericht berücksichtigten Sektoren können auch weitere Bereiche, z. B. Kommunen, Industrie, Energie, Naturschutz, Schifffahrt, Feuerwehr, betroffen sein und sollen daher in die Entwicklung des Wassermanagementkonzeptes miteinbezogen werden. Mit hoher Wahrscheinlichkeit wird es erforderlich sein, mehrere Schleifen bei der Problem- und Stakeholderanalyse zu drehen, da jeder neue Datensatz für die Problemanalyse und jede neue Anpassungsmaßnahme Implikationen für die Stakeholderanalyse hat, und zugleich jeder identifizierte Stakeholder mit Informationen zum Wasserbedarf und zu seiner Entwicklung zur Problemanalyse beiträgt.

Der Schritt „Einrichten des Gremiums“ umfasst:

- (i) Lokalisierung wasserabhängiger Sektoren/Stakeholder innerhalb der räumlichen Auswahl, für die das integrierte Wassermanagementkonzept erstellt wird.
- (ii) Einberufung des Gremiums.
- (iii) Erarbeitung einer gemeinsamen Datengrundlage. Bearbeitungsstatus wird regelmäßig mit den Stakeholdern rückgekoppelt. Die Datengrundlage soll Folgendes umfassen:
 - a. Darstellung der wasserbezogenen Klimawirkungen für definierte Zeithorizonte und ihre Folgen für die betroffenen Sektoren
 - b. Darstellung des Wasserhaushalts für definierte Zeithorizonte unter Berücksichtigung der bestehenden und zukünftigen Wassernutzungen (wie z. B. Wasserbedarf für Wasserstoff-Elektrolyse) und -dargebote innerhalb der räumlichen Auswahl.
- (iv) Regelmäßige Rückkopplung mit Punkt (i): Sind aufgrund neuer Erkenntnisse weitere Stakeholder hinzuzuladen oder nicht betroffene Stakeholder auszuschließen?
- (v) Ermittlung der räumlichen Skala für notwendige Anpassungsmaßnahmen.
- (vi) Organisation und Koordination des Austausches mit Gremien in anderen Verwaltungseinheiten im Fall der gemeinsamen Nutzung eines Wasserkörpers.

4.3.3 Entwicklung nötiger Anpassungsmaßnahmen

Das Gremium soll bei der Entwicklung der Anpassungsmaßnahmen im Rahmen des Wassermanagementkonzeptes (i) Ziele, (ii) konkrete Maßnahmen, (iii) Verantwortliche, (iv) Anreize für die Maßnahmenumsetzung sowie (v) Mechanismen des Monitorings und der Kontrolle festlegen. Die Entwicklung der Anpassungsmaßnahmen beinhaltet neben der Priorisierung der Ziele auch eine Priorisierung der Wassernutzungsinteressen für Zeiten des Wassermangels. Als Grundlage kann hierfür die Aktion 6 „Leitlinie für den Umgang mit Wasserknappheit entwickeln“ der Nationalen Wasserstrategie herangezogen werden. Hierbei wird die Entwicklung eines einheitlichen Orientierungsrahmens für lokale oder regionale Priorisierungsentscheidungen sowie die Erarbeitung von Regeln und Kriterien für Transparenz bei ggf. erforderlichen Nutzungspriorisierungen im Fall regionaler temporärer Wasserknappheit und Bodentrockenheit angestrebt.

Bei der Erarbeitung eines integrierten Wassermanagementkonzeptes sind Anpassungsmaßnahmen zu entwickeln. Dabei ist unter anderem auf folgende Aspekte zu achten:

- Das Konzept entspricht den gesetzlichen Anforderungen und sorgt für nachhaltige Nutzung der Ressource Wasser;
- Die Anpassungsmaßnahme(n) müssen im Gremium abgestimmt werden, so dass ein Konsens aller Mitwirkenden vorausgesetzt werden kann;
- Der Zeithorizont der Ziele soll mit dem Zeithorizont der ausgewählten Anpassungsmaßnahme übereinstimmen;

- Die Wechselwirkungen einzelner Anpassungsmaßnahmen müssen auf ihr Synergie- bzw. Konfliktpotenzial hin überprüft werden;
- Wenn möglich, sollen die Maßnahmen, die Synergieeffekte und Win-Win-Lösungen für die beteiligten Sektoren erzielen, gegenüber den Maßnahmen und Lösungen mit Trade-offs bevorzugt werden;
- Neben dem Synergiepotenzial, sollen auch die Umsetzbarkeit der Maßnahmen (Kosten, bürokratischer Aufwand, Übereinstimmung der erforderlichen amtlichen Entscheidungen mit dem Ermessensspielraum der zuständigen Behörden) in Betracht gezogen werden (siehe Kapitel 2.3).

4.3.4 Umsetzung des Wassermanagementkonzeptes

Für die Umsetzung der gemeinsam erarbeiteten Anpassungsmaßnahmen soll das im Gremium erarbeitete Wassermanagementkonzept rechtswirksam sein. Die Akzeptanz und positive Einstellung zur Umsetzung kann in erster Linie durch einen partizipativen Dialogprozess innerhalb des Gremiums stabilisiert werden. Auch eine Sensibilisierung weiterer Akteur*innen ist hilfreich. Weiterhin hängt die erfolgreiche und effektive Umsetzung des Konzeptes von der Umsetzung eines wirksamen Anreiz-, Monitoring- und Kontrollsystems ab.

4.4 Voraussetzungen für die Erarbeitung und Umsetzung eines integrierten Wassermanagementkonzeptes

Für die Umsetzung der oben genannten Schritte müssen Voraussetzungen gegeben sein, auf welche im Folgenden eingegangen wird.

4.4.1 Datenverfügbarkeit

Eine wichtige Voraussetzung für die Problemanalyse und die Entwicklung eines Wassermanagementkonzeptes ist die Verfügbarkeit und im besten Fall Vollständigkeit relevanter Daten in hoher zeitlicher und räumlicher Auflösung. Hierzu zählen Daten der Wasserverfügbarkeit sowie Daten über Eingriffe in den regionalen Wasserhaushalt. Letztere beinhalten den sektoralen Wasserbedarf mit den zukünftigen Entwicklungen, welche durch den Klimawandel und die Umsetzung von Klimaanpassungsmaßnahmen bedingt sind. Eine breite und detaillierte Datengrundlage ist notwendig, damit derzeitige und zukünftige Nutzungen (z. B. für Wasserstoff-Elektrolyse, Wasserkraft oder Kühlung von Industrieanlagen) vollständig erfasst, zukünftige Nutzungskonflikte erkannt und eingeschätzt sowie Konzepte zur Beseitigung oder Minimierung dieser Konflikte erarbeitet werden können. Auf der Basis von Fakten lassen sich auch Nutzungskonflikte innerhalb der Sektoren besser bearbeiten und Lösungsmöglichkeiten entwickeln.

Das Thema Datenerhebung, Datenmanagement und Datenzugang nimmt einen wichtigen Platz in der Nationalen Wasserstrategie ein. Als Ziele wurden dort gesetzt, (i) ein bundesweites, nutzergruppenspezifisiertes Niedrigwasserinformationssystem zu entwickeln, aufzubauen und zu betreiben, sowie (ii) ein Arbeitsprogramm für die Entwicklung eines gemeinsamen integrierten Angebots von Daten und Diensten vorzulegen und umzusetzen. Bei dem letzten Ziel sind die Aspekte des Zeithorizonts und der Erhebung neuer Daten anzumerken. Beide Ziele werden langfristig

umzusetzen sein. Bis dahin liegen relevante Daten für ein integrierendes Wassermanagementkonzept den Ländern vor oder müssen lokal erhoben werden. Die identifizierten Datenlücken sollen möglichst durch die Expertise der Mitwirkenden im Gremium geschlossen werden. Tabelle 7 listet die Informationen (Datensätze) über die sektoralen Datennutzungen und andere sektorale Einflussfaktoren auf den Wasserhaushalt auf. Diese Informationen können je nach regionalen Gegebenheiten für die Erstellung eines regionalen integrierten Wassermanagementkonzepts notwendig sein. Für jeden Datensatz müssen vergangene, derzeitige und zukünftige Bedarfe/Daten vorliegen oder erhoben bzw. eingeschätzt werden.

Tabelle 7: Grundlegende Informationen für die Erstellung eines regionalen integrierten Wassermanagementkonzeptes. Die Zuordnung zu den einzelnen Sektoren dient der Übersicht und bildet nicht die Zuständigkeiten ab.

Sektor	Datensatz
Wasserwirtschaft	Genehmigte Trinkwasserentnahme mit Anschlussgrad
	Tatsächliche Trinkwasserentnahme
	(modellierte) Grundwasserneubildung
	Bevölkerung/Bevölkerungsentwicklung
	Wasserverbrauch pro Person
	Anschlussgrad Landwirtschaft an öffentliche Wasserversorgung (für z. B. Tränken, ...)
	Gartenbrunnen
	Einleitung Kläranlagen
	Re-Lokalisierung von Wasser durch das Trinkwasserverteilungsnetz
	Trinkwasserverbrauch
	Oberflächengewässerabfluss (MQ, MHQ, ...)
	Genehmigte industrielle Wasserentnahme
	Tatsächliche industrielle Wasserentnahme
	Grundwasser(flur)abstände
	Versickerungspotentialkarte
	Hochwassergefahrenkarte
	Weitere Grundwasserentnahmen
	Weitere Grundwassernutzungen (z. B. Grundwasserwärmepumpen)
	Weitere Oberflächenwassernutzungen (z. B. Kühlwasserentnahmen und -einleitung)
	Landwirtschaft
Landwirtschaftliche Fläche mit Bewässerungsmöglichkeit	
Bewässerte Kulturen	
Bewässerungsbedarf	
Bewässerungswürdigkeit	
Bewässerungstechnik	
Genehmigte landwirtschaftliche Wasserentnahmen	
Tatsächliche landwirtschaftliche Wasserentnahmen	
Grundwasser(flur)abstände	

Sektor	Datensatz
	Wasserquelle für Bewässerung
	Hofbrunnen mit Entnahmemenge
	Für Bewässerung verwendete Wassermenge
	Drainage/Abflussgräben
	Tränkwasserbedarf in Tierhaltung
	Prozesswasserbedarf in Tierhaltung (z. B. Reinigung von Tieren und Ställen)
Forstwirtschaft/ Wald	Drainage/Abflussgräben
	Flächen mit besonderem Waldbrandrisiko
	Wasserentnahmen bzw. Wasservorräte für Waldbrandschutz
	Flächen mit besonderem Handlungsbedarf für Waldumbau und Durchforstung
	Wasserbedarf für Nassholzberegnung
Aquakultur	Wasserbedarf für das Füllen der Karpfenteiche
	Wasserbedarf für das Nachfüllen der Karpfenteiche im Sommer (z. B. bei Wasserverlusten durch Verdunstung)
	Mindestwasserbedarf im Mutterbett bei der Nutzung von Forellenteichen
	Konstanter Wasserbedarf für Wasseraustausch in Forellenteichen

Neben den Daten zu Wassernutzungen und -bedarfe, sind die Informationen zu Verfügbarkeit des Wassers aus unterschiedlichen Quellen (Niederschlag, Grundwasser, Oberflächengewässer und in unterschiedlichen Stufen gereinigtes Abwasser) und ihrer zukünftigen Entwicklung, um nachhaltige Wassernutzungsentscheidungen innerhalb der ökologischen Belastbarkeitsgrenzen zu treffen.

Die große Menge der Informationen birgt die Herausforderung, die vorhandenen Daten zu konsolidieren, wie in der Nationalen Wasserstrategie betont wird. Relevant für die Qualität der Daten ist ihre Aktualität, Vollständigkeit und Zuverlässigkeit. Als ein zu empfehlender Aktualisierungszyklus wären fünf Jahre anzusetzen. Außerdem muss bei den Entnahmen auch berücksichtigt werden, ob diese dem Gebiet entzogen werden (Verdampfung für Industrie) oder wieder zurückgeführt werden (Abwasser aus Kläranlagen, das in Flüsse geleitet wird).

Neben der Qualität der Daten sind auch Datenlücken ein gravierendes Problem für die Abbildung und das Management des regionalen Wasserhaushalts. Diese Datenlücken können mehrere Ursachen haben. Zum einen fehlen grundsätzlich oder regional Erhebungen einzelner Datensätze. Zum anderen werden die digitalen Wasserbücher nicht nach einem einheitlichen Standard geführt und sind daher regional nicht vergleichbar und lückenhaft. Das kann im Besonderen zu Problemen führen, wenn die Wassermanagementkonzepte über Landkreisgrenzen hinaus erarbeitet werden. Insbesondere sind sektorale Wassernutzungen durch vorhandene Daten unzureichend und ggf. unzuverlässig abgebildet. Es wurde bereits im LAWA-Bericht „Umgang mit Zielkonflikten bei der Anpassung der Wasserwirtschaft an den Klimawandel“ (LAWA 2022) festgestellt, dass in vielen Flusseinzugsgebieten die Bilanzierungen zum Wasserdargebot und Wasserbedarf fehlen. Besonders notwendig hierfür wäre die Datenverfügbarkeit von tatsächlichen Entnahmen in Kombination mit

Grundwasserstandsmessungen. Ähnlich ist die Datenlage bzgl. des Nutzungsdrucks auf das Grundwasser und Oberflächenwasser und seiner zukünftigen Entwicklung. Abgesehen von den beispielhaft genannten Datenlücken sind nicht alle vorhandenen Daten verfügbar, u. a. aus folgenden Gründen:

- Datenschutz (Rückführbarkeit von Datenpunkten auf eine Person);
- Digitalisierungsrückstau (Informationen liegen analog in Archiven und sind schwer zugänglich);
- fehlende Schnittstellen zum Datenaustausch zwischen den Behörden;
- zu viele Zuständigkeiten, sodass die Informationen nicht einheitlich zusammengetragen werden (z. B. ist das Landesgesundheitsamt für die Leitungsnetze und die Untere Wasserbehörde für die zu genehmigenden Wasserrechte zuständig) oder
- unvollständige Datenaufnahme (z. B. werden genehmigungsfreie Entnahmen nicht dokumentiert).

Aufgrund dieser genannten diversen Hürden wird empfohlen, in der Problemanalyse den Datenaustausch zwischen den Stakeholdern vorzunehmen, um unter anderem die Datenlücken zu identifizieren. Es soll darauf abgezielt werden, diese Lücken eigenständig z. B. durch die Expertise der im Gremium mitwirkenden Akteur*innen oder über kleine Forschungsprojekte, zu schließen. Dieser Ansatz ist auch aus dem Grund empfehlenswert, da es noch nicht eindeutig ist, welche Daten zukünftig zentral erhoben und zur Verfügung gestellt werden, und ob diese den Datenbedarf in jedem konkreten Fall decken. Es ist jedoch zu empfehlen, die erhobenen Daten in Form von Publikationen zu veröffentlichen, damit die Informationen nicht verloren gehen und anderen Projekten zugutekommen.

4.4.2 Berücksichtigung lokaler bzw. regionaler Gegebenheiten

Die lokalen bzw. regionalen Gegebenheiten sowie die Palette von sektoralen Anpassungsmaßnahmen, die für das Wassermanagementkonzept zur Auswahl stehen, bestimmen die Stakeholder, die in den Dialogprozess miteinbezogen werden sollen. Wichtig für die Akzeptanz der Maßnahmen und Entscheidungen ist die Einbindung aller in der Region relevanten betroffenen Gruppierungen, sowie eine transparente Kommunikation des Prozesses. Z. B. sind die Vertreter*innen der Schifffahrt nur in den Regionen relevante Stakeholder, in denen entsprechende Wasserstraßen vorhanden sind.

4.4.3 Flächenverfügbarkeit

Für die Entwicklung von Anpassungsmaßnahmen ist es eine Grundvoraussetzung die Flächenverfügbarkeit zu prüfen. Grundstückseigentumsverhältnisse können es verhindern auf notwendige Flächen für die Umsetzung einer konkreten Anpassungsmaßnahme zugreifen zu können.

4.4.4 Sensibilisierung weiterer Akteure

Alle Stakeholder, d. h. Akteur*innen, die entweder durch Klimawandelwirkungen oder durch die Umsetzung der Anpassungsmaßnahmen betroffen sein können, sollen in den Dialog innerhalb des Gremiums miteinbezogen werden. Dabei ist auf die

paritätische Vertretung einzelner Stakeholder zu achten, um einen Interessensausgleich zu gewährleisten und einen interessensbegründeten Einfluss hinsichtlich der Auswahl der Anpassungsmaßnahmen mit negativen Folgen für die Akzeptanz und Umsetzbarkeit des gesamten Wassermanagementkonzeptes zu vermeiden. Die Öffentlichkeit sollte in regelmäßigen Abständen über die Entwicklung des Wassermanagementkonzeptes informiert und bei Bedarf miteinbezogen werden, damit Bedenken und Sorgen frühzeitig adressiert und im Planungsprozess gegebenenfalls berücksichtigt werden. Dadurch wird eine höhere Akzeptanz für die Maßnahme geschaffen und die Umsetzung des Wassermanagementkonzeptes erleichtert.

4.4.5 Anreize

Das Anreizsystem zur Umsetzung des erarbeiteten Wassermanagementkonzeptes soll am besten in der Wirtschaftlichkeit der geplanten Maßnahmen (z. B. möglicher Verfahren zur Anrechnung) sowie in den Vorteilen der intersektoralen Kooperationen und Synergien für die beteiligten Stakeholder verankert werden, so dass hier keine öffentlichen Fördermittel erforderlich sind. Einige der im Kapitel 3 dargestellten Beispiele demonstrieren exemplarisch die Entwicklung solcher Anreizsysteme, weisen aber gleichzeitig darauf hin, dass rechtliche Rahmenbedingungen und erforderliche behördliche Genehmigungsverfahren ihrer Implementierung oft im Wege stehen können. Die Analyse des bestehenden rechtlichen Rahmens hinsichtlich seiner Auswirkung (fördernd oder hemmend) auf die Umsetzung des Wassermanagementkonzeptes soll frühzeitig vorgenommen und ggf. Empfehlungen hinsichtlich seiner Anpassung erarbeitet werden. In diesem Zusammenhang und in Hinsicht auf die erforderliche Rechtswirksamkeit des Wassermanagementkonzeptes (siehe Kapitel 4.2.4) ist es notwendig, dass relevante Behörden bzw. Fachbehörden im Gremium vertreten sind (siehe Kapitel 4.3.2).

4.4.6 Monitoring & Kontrolle

Das Monitoring und die Kontrolle der Umsetzung des Wassermanagementkonzeptes sowie seiner einzelnen Maßnahmen wird überwiegend in der Zuständigkeit von Behörden liegen. Die Informations- und Berichtspflicht liegt bei den für die Umsetzung verantwortlichen Akteuren. Der Ansatz zum Monitoring und zur Kontrolle ist bereits bei der Erarbeitung des Wassermanagementkonzeptes zu diskutieren und mitzuentwickeln. Dabei ist vor allem der erwartete Aufwand zu betrachten, der sowohl für die Behörden als auch für die umsetzenden Akteure ein klares Hemmnis darstellt. Bei den Behörden ist auch der bestehende Mangel an Personal und Fachkräften eine Herausforderung. Diese wird explizit durch Aktion 59 „Personelle und organisatorische Stärkung der Verwaltung“ der Nationalen Wasserstrategie adressiert. Sollten die Ziele dieser Aktion in der kurzfristigen Perspektive nicht erreichbar sein, sind Monitoring und Kontrolle mit minimalem Aufwand für die Behörden zu gestalten.

5 Zusammenfassung

Der Klimawandel verändert die saisonale und regionale Verfügbarkeit sowie den Bedarf an der Ressource Wasser. Das verstärkt die durch Wassernutzungen erzeugten Wechselwirkungen zwischen Wasserwirtschaft, Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Aquakultur und Binnenfischerei. Die Interessenkonflikte um die Nutzung der begrenzten Ressource Wasser werden zudem durch neue gesellschaftliche Herausforderungen wie die Energiekrise und einhergehende Ansprüche an die Ressource Wasser verstärkt.

Um diese Konflikte zu adressieren und ihnen entgegenzuwirken sowie Übernutzungen der Ressource Wasser zu vermeiden, müssen rechtssichere, integrierte und sektorübergreifende Wassermanagementkonzepte mit nachhaltigen Verteilungsregeln erstellt werden. Solche Konzepte müssen partizipativ unter Beteiligung aller bestehenden und zukünftigen wassernutzenden Stakeholder/Sektoren sowie wasserverwaltenden Behörden gemeinsam erarbeitet und umgesetzt werden.

Für die Akzeptanz und erfolgreiche Umsetzung eines integrierten Wassermanagementkonzeptes wurden in diesem Bericht einige Voraussetzungen genannt, die nicht abschließend sind:

- Konzepte müssen spezifisch für eine gegebene Region erarbeitet werden. Die Festlegung dieser administrativen (z. B. Landkreis) oder räumlichen (z. B. Flusseinzugsgebiet) Einheit hängt von der identifizierten Problemlage und den örtlichen Gegebenheiten ab.
- Es sollte eine feste und koordinierende Stelle geschaffen werden, die die Einberufung des Gremiums und seine Arbeit sowie die Umsetzung des erarbeiteten Wassermanagementkonzeptes koordiniert.
- Alle relevanten Sektoren und Stakeholder müssen bei der Erarbeitung beteiligt werden. Weitere nicht direkt betroffenen Akteure sollen über den Prozess und sein Ergebnis informiert werden. Somit wird eine gute Grundlage für eine bessere Akzeptanz und Umsetzbarkeit des Wassermanagementkonzeptes geschaffen.
- Die Verfügbarkeit, Vollständigkeit und Zuverlässigkeit der Daten zur vergangenen und zukünftigen Wasserverfügbarkeit und -nutzung in hoher zeitlicher und räumlicher Auflösung ist erforderlich, um wirksame Wassermanagementkonzepte zu erarbeiten und eine Übernutzung der Ressource Wasser oder eine Verschlechterung ihrer Qualität zu vermeiden.
- Bei der Entscheidung über die konkret umzusetzenden Anpassungsmaßnahmen sollen solche mit Synergieeffekten für mehrere Sektoren gegenüber den Maßnahmen mit Konfliktpotenzial bevorzugt werden. Die zu erwartenden Wirkungen einzelner Maßnahmen sind standort- und sektorspezifisch und müssen im Rahmen der Erarbeitung eines Wassermanagementkonzeptes für die jeweilige Region analysiert werden.

Einige Leuchtturmprojekte haben begonnen, sektorübergreifend in Form von Gremien bestehende oder potentielle Nutzungskonflikte zu adressieren. Dies geschah

entweder aus einer aktuellen Not oder einem zu erwarteten Defizit heraus. Als Katalysator wirkte hier oft ein Extremwetterereignis wie z. B. das Dürrejahr 2018. Da die Häufigkeit und Intensität der Extremwetterereignisse sowie die Diskrepanzen zwischen Wasserdargebot und Wasserbedarf zukünftig zunehmen können, wird empfohlen, landesweit und frühzeitig geeignete Strukturen zu schaffen, um den Klimawandelfolgen entgegenzuwirken und den neuen Herausforderungen und Extremwetterereignissen abgestimmt und koordiniert zu begegnen.

Auch wenn ein Bottom-Up-Anstoß für die Einberufung eines regionalen sektorübergreifenden Gremiums und die Erarbeitung des Wassermanagementkonzeptes erwünscht ist, kann dies – vor allem in den Regionen mit weniger sichtbaren Interessenkonflikten – nicht immer zustande kommen. Besonders für diese Regionen wäre es hier die Rolle des Bundes und der Länder, Impulse zu setzen, u. a. durch Schaffung der Stelle eines regionalen Wassermanagers bzw. einer regionalen Wassermanagerin. Aber auch die Datenerfassung, -bereitstellung und -zusammenstellung des derzeitigen und zukünftigen Wasserdargebots und der Wassernutzungen durch diverse datenerhebende Institutionen sollte durch den Bund und die Länder unterstützt werden. Nicht zuletzt liegt es in der Zuständigkeit des Bundes und der Länder den rechtlichen Rahmen im Bereich des Wassermanagements zu gestalten und anzupassen, u. a. einheitliche Regeln und Kriterien bei temporärer oder andauernder Knappheit der Ressource zu entwickeln für eine transparente Priorisierung der Wassernutzungen.

Literaturverzeichnis

- Ballantine, D. J.; Tanner, C. C. (2013): Controlled drainage systems to reduce contaminant losses and optimize productivity from New Zealand pastoral systems. In: *New Zealand Journal of Agricultural Research* 56 (2), S. 171–185. DOI: 10.1080/00288233.2013.781509.
- Beede, D. K. (1992): Water for dairy cattle. In: Harold H. van Horn (Hg.): Large dairy herd management. Savoy, Ill.: American Dairy Science Assoc.
- Bentele, Maja; Radtke, Robert; Müller, Michael; Schröder, Jörg (2023): Waldbrandvorbeugung durch Anlegen von Waldstrukturen. In: *AFZ-DerWald* (1), S. 28–33.
- BMEL (2018): Waldböden in Deutschland. Ausgewählte Ergebnisse der zweiten Bodenzustandserhebung. Hg. v. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft. Bonn. Online verfügbar unter https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/WaldboedenBodenzustandserhebung.pdf?__blob=publicationFile&v=4, zuletzt geprüft am 21.03.2023.
- Bormann, Helge; Keschull, Jenny; Ahlhorn, Frank; Spiekermann, Jan; Schaal, Peter (2018): Modellbasierte Szenarioanalyse zur Anpassung des Entwässerungsmanagements im nordwestdeutschen Küstenraum. In: *Wasser Abfall* 20 (7-8), S. 60–66. DOI: 10.1007/s35152-018-0083-7.
- Bromley, Daniel W. (1991): Environment and economy. Property rights and public policy. Oxford (GB), Cambridge(USA): B.Blackwell.
- Bromley, Daniel W. (2000): Can Agriculture Become an Environmental Asset? In: *World Economics* 1 (3), S. 127–139.
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (2023): Nationale Wasserstrategie. Online verfügbar unter <https://www.bmu.de/download/bmu-entwurf-nationale-wasserstrategie>, zuletzt geprüft am 14.03.2023.
- Floriancic, Marius G.; Allen, Scott T.; Meier, Raphael; Truniger, Lucas; Kirchner, James W.; Molnar, Peter (2022): Potential for significant precipitation cycling by forest-floor litter and deadwood. In: *Ecohydrology*. DOI: 10.1002/eco.2493.
- González, E.; Deus, N.; Elbracht, J.; Kirsch, R.; Müller-Petke, M.; Rahman, A. et al. (2023): EU Interreg Projekt Topsoil – Grundwasserversalzung an der deutschen Nordseeküste. Hg. v. Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie. Hannover (GeoBerichte (in Druckvorbereitung)).
- Green, Mark B.; Fraver, Shawn; Lutz, David A.; Woodall, Christopher W.; D'Amato, Anthony W.; Evans, Daniel M. (2022): Does deadwood moisture vary jointly with surface soil water content? In: *Soil Science Soc of Amer J* 86 (4), S. 1113–1121. DOI: 10.1002/saj2.20413.
- Hagedorn, K. (2008): Particular requirements for institutional analysis in nature-related sectors. In: *European Review of Agricultural Economics* 35 (3), S. 357–384. DOI: 10.1093/erae/jbn019.
- Heinkele, Thomas; Knoche, Dirk; Gemballa, Rainer; Petzold, Rainer (2020): Hydrologische Eigenschaften von Waldhumusformen: Wasserspeicherpotenziale, Wiederbefeuchtungs- und Versickerungsverhalten. In: *Waldökologie, Landschaftsforschung und Naturschutz* (19), S. 5–19.

- Jouni, Hamidreza Javani; Liaghat, Abdolmajid; Hassanoghli, Alireza; Henk, Ritzema (2018): Managing controlled drainage in irrigated farmers' fields: A case study in the Moghan plain, Iran. In: *Agricultural Water Management* 208, S. 393–405. DOI: 10.1016/j.agwat.2018.06.037.
- Kipping, Lydia; Maurer, Florian; Gossner, Martin M.; Muszynski, Sarah; Kahl, Tiemo; Kellner, Harald et al. (2022): Drivers of deadwood decay of 13 temperate tree species are similar between forest and grassland habitats. In: *Front. For. Glob. Change* 5, Artikel 1020737. DOI: 10.3389/ffgc.2022.1020737.
- Kuntze, H. (1993): Niedermoore als Senke und Quelle für Kohlenstoff und Stickstoff. In: *Wasser und Boden* (9), S. 699–702.
- LAWA (Hg.) (2019): Wasserwirtschaftliche Anforderungen an die Lagerung von Silage und Festmist auf landwirtschaftlichen Flächen unter sechs Monaten. Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA-Merkblatt). Online verfügbar unter https://www.lawa.de/documents/lawa-merkblatt-lagerung-festmist-und-silage_1578302310.pdf, zuletzt geprüft am 24.02.2023.
- LAWA (2022): Umgang mit Zielkonflikten bei der Anpassung der Wasserwirtschaft an den Klimawandel. Hg. v. Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA Bericht).
- Mausolf, Katharina; Wilm, Paul; Härdtle, Werner; Jansen, Kirstin; Schuldt, Bernhard; Sturm, Knut et al. (2018): Higher drought sensitivity of radial growth of European beech in managed than in unmanaged forests. In: *The Science of the total environment* 642, S. 1201–1208. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.06.065.
- Merta, Mariusz (2023): Gesteuerte Draunagen. Hg. v. Sieker - Die Regenwasserexperten. Online verfügbar unter <https://www.sieker.de/fachinformationen/laendliche-gebiete/article/gesteuerte-drainagen-233.html>, zuletzt geprüft am 21.03.2023.
- Meyer, Ulrich; Everinghoff, Matthias; Gädeken, Dieter; Flachowsky, Gerhard (2002): Untersuchungen zur Wasseraufnahme von Milchkühen. Darmstadt: VDLUFA-Verl.
- Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie und Mobilität Rheinland-Pfalz (2023): Gremien. Hg. v. Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie und Mobilität Rheinland-Pfalz. Online verfügbar unter <https://wrrl.rlp-umwelt.de/servlet/is/8618/>, zuletzt geprüft am 14.03.2023.
- Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden Württemberg (2022): Strategie zum Umgang mit Wassermangel in Baden-Württemberg. Online verfügbar unter https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/2_Presse_und_Service/Publikationen/Umwelt/Wassermangel-Strategie-barrierefrei.pdf, zuletzt geprüft am 14.03.2023.
- Müller, Michael (2019): Waldbrände in Deutschland, Teil 1. In: *AFZ-DerWald* 74 (18), S. 27–31.
- Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz (2022): Wasserversorgungskonzept Niedersachsen. Online verfügbar unter https://www.umwelt.niedersachsen.de/download/183413/Wasserversorgungskonzept_Niedersachsen.pdf, zuletzt geprüft am 14.03.2023.
- Ostermann, Ulrich (2022): Wassernutzungs- und managementkonzepte für die Feldberegnung in Niedersachsen. In: Akademie für Geowissenschaften und Geotechnologien e. V. (Hg.): Nutzung und Schutz des Grundwassers in Zeiten des Klimawandels. Parlamentarischer Abend am 26.04.2022 in Berlin. Stuttgart: Schweizerbart science publishers (Akademie für Geowissenschaften und Geotechnologien, Heft 32), S. 63–68.

- Plothe, Martina (2023): Klimawandel erfordert Weitblick beim Feuermanagement. In: *AFZ-DerWald* (1), S. 24–27.
- Renger, M.; Bohne, K.; Facklam, M.; Harrach, T.; Riek, W.; Schäfer, W. (2009): Ergebnisse und Vorschläge der DBG-Arbeitsgruppe „Kennwerte des Bodengefüges“ zur Schätzung bodenphysikalischer Kennwerte. In: Gerd Wessolek, Martin Kaupenjohann und Manfred Renger (Hg.): *Bodenphysikalische Kennwerte und Berechnungsverfahren für die Praxis*. Berlin: Technische Universität Berlin (Bodenökologie und Bodengenese, 40), S. 4–51.
- Reusser, Eduard (2013): Die Lichtwuchsdurchforstung und späte Durchforstung im Laubbaumholz. In: *Berner Wald* 2 (44), S. 9–13.
- Ruhm, Werner (2017): Waldbauliche Möglichkeiten in Zeiten des Klimawandels. In: *BFW-Praxisinformation* (44), S. 14–18.
- Schüler, Gebhard; Gellweiler, Inga; Seeling, Stephan (Hg.) (2007): Dezentraler Wasserrückhalt in der Landschaft durch vorbeugende Maßnahmen der Waldwirtschaft, der Landwirtschaft und im Siedlungswesen (Mitteilungen aus der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz). Online verfügbar unter https://www.hochschule-trier.de/fileadmin/Hauptcampus/Fachbereich_BL/BI/Personen/Sartor/Veroeffentlichungen/Konferenzbeitraege/22_WaReLa_Sartor-Kreiter.pdf, zuletzt geprüft am 21.03.2023.
- Schultze, Bernd; Scherzer, Jörg (2015): Wasserhaushaltssimulationen, Versickerungstabellen und Versickerungskarten. Wasserhaushaltssimulationen, Versickerungstabellen und Versickerungskarten Projekt Wasserwald im Privatwald der östlichen Lüneburger Heide in Niedersachsen. Hg. v. Landwirtschaftskammer Niedersachsen. Online verfügbar unter <https://www.lwk-niedersachsen.de/services/download.cfm?file=25810>, zuletzt geprüft am 14.03.2023.
- Schwärzel, Kai (2000): Dynamik des Wasserhaushaltes in Niedermooren. Hg. v. TU Berlin, Fachbereich Umwelt und Gesellschaft. Berlin (Dissertation).
- Schwitter, Raphael; Bucher, Hansueli (2009): Hochwasser: Schützt der Wald oder verstärkt er die Schäden? In: *Wald und Holz* 6, S. 31–34.
- Söder, Mareike; Berg-Mohnicke, Michael; Bittner, Marlene Bittner; Ernst, Stefan; Feike, Til; Frühauf, Cathleen et al. (2022): Klimawandelbedingte Ertragsveränderungen und Flächennutzung (KlimErtrag). Hg. v. Thünen-Institut. Braunschweig (Thünen Working Paper, 198). Online verfügbar unter https://www.thuenen.de/media/publikationen/thuenen-workingpaper/ThuenenWorkingPaper_198.pdf, zuletzt geprüft am 20.03.2023.
- Thom, Dominik; Sommerfeld, Andreas; Sebold, Julius; Hagge, Jonas; Müller, Jörg; Seidl, Rupert (2020): Effects of disturbance patterns and deadwood on the microclimate in European beech forests. In: *Agricultural and forest meteorology* 291. DOI: 10.1016/j.agrformet.2020.108066.
- UBA (2014): Tierarzneimittel – ein neues Problem für das Grundwasser? Hg. v. Umweltbundesamt. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/presse/pressemitteilungen/tierarzneimittel-ein-neues-problem-fuer-das>, zuletzt aktualisiert am 21.03.2014, zuletzt geprüft am 14.03.2023.
- Vatn, Arild (2006): *Institutions and the environment*. Cheltenham: Edward Elgar.

- Vogel, Sebastian; Gossner, Martin M.; Mergner, Ulrich; Müller, Jörg; Thorn, Simon (2020): Optimizing enrichment of deadwood for biodiversity by varying sun exposure and tree species: An experimental approach. In: *J Appl Ecol* 57 (10), S. 2075–2085. DOI: 10.1111/1365-2664.13648.
- von Wilpert, Klaus; Hartmann, Peter; Puhmann, Heike; Gaertig, Thorsten; Schäffer, Jürger; Thren, Martin (2020): Stabilisierungswirkung von Bodenschuttkalkungen im Klimawandel. In: *AFZ-DerWald*, S. 5–8.
- Weber, Lilo; Mikat, Herman (2011): Grundwasseranreicherungsanlagen im Hessischen Ried. Versickerung. In: *bbr Fachmagazin für Brunnen- und Leitungsbau* 62 (1), S. 44–49.
- Wessolek, G.; Schwärzel, K.; Greiffenhagen, A.; Stoffregen, H. (2007): Percolation characteristics of a water-repellent sandy forest soil. In: *Eur J Soil Science* 0 (0), 071121040925001-??? DOI: 10.1111/j.1365-2389.2007.00980.x.

Abkürzungsverzeichnis

ALB	Arbeitsgemeinschaft Landtechnik und Landwirtschaftliches Bauwesen in Bayern e.V.
AUKM	Agrarumwelt- und Klimamaßnahmen
ÄELF	Ämter für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten
BDEW	Landesgruppe Norddeutschland des Bundesverbandes der Energie- und Wasserwirtschaft
BLAG ALFFA	Bund-Länder-Arbeitsgruppe Anpassung von Land- und Forstwirtschaft sowie Fischerei und Aquakultur an den Klimawandel
BMEL	Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft
BVSH	Bauernverband Schleswig-Holstein
CD	Controlled Drainage
DAS	Deutsche Anpassungsstrategie
DLR	Dienstleistungszentren Ländlicher Raum
DWD	Deutscher Wetterdienst
DüV	Düngerverordnung
EMFF	Europäischer Meeres- und Fischereifonds
EU	Europäische Union
FRL TWN	Förderrichtlinie Teichwirtschaft und Naturschutz
GAK	Gemeinschaftsaufgabe Agrarstruktur und Küstenschutz
GH	Getränkehersteller
GLÖZ	Standards für den guten landwirtschaftlichen und ökologischen Zustand
GOK	Geländeoberkante
HSWT	Hochschule Weihenstephan-Triesdorf
IBH	Informations- und Beratungszentrums Hochwasservorsorge
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
KHH	Kompetenzzentrums Hochwasservorsorge und Hochwasser- risikomanagement
LAWA	Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser
LAWA-AK	Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser, ständiger Ausschuss Klimawandel

LBEG	Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie
LfU	Bayerisches Landesamt für Umwelt
LfULG	Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
LK	Landkreis
LWBV	Landesverband der Wasser- und Bodenverbände Schleswig-Holsteins
LWG	Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau
LWK	Landwirtschaftskammer
MAR	Managed Aquifer Recharge
MELUND	Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt, Natur und Digitalisierung des Landes Schleswig-Holstein
MHQ	mittlerer Hochwasserabfluss
MQ	mittlerer Abfluss
NLWKN	Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz
PV	Photovoltaik
RTN	Runde Tisch Nährstoffmanagement
StMELF	Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten
StMUV	Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz
TOC	Gesamter organischer Kohlenstoff
UBA	Umweltbundesamt
WET	Waldentwicklungstypen
WHR	Wasserverbands Hessisches Ried
WSB	Wasserschutzberatung
WVU	Kommunale Wasserversorgungsunternehmen
WWA	Wasserwirtschaftsämlter
ZWN	Zukunftsstrategie Wasserwirtschaft Nordbayern
WRRL	EU-Wasserrahmenrichtlinie

Anlagen

Anlage 1: Beschreibung von sektoralen Anpassungsmaßnahmen

In diesem Kapitel werden die Anpassungsmaßnahmen in den Sektoren Wasserwirtschaft, Landwirtschaft (Pflanzenbau und Tierhaltung), Forstwirtschaft sowie Aquakultur und Binnenfischerei beschrieben und anschließend aus der Perspektive der möglichen Wechselwirkungen mit anderen Sektoren infolge ihrer Umsetzung bewertet. Die Maßnahmenbeschreibung und ihre Expert*innenbewertung nach den Kriterien „Aufwand“, „Kosten“ und „Zeithorizont für Umsetzung“ erfolgt aus der Perspektive des jeweiligen Sektors. Die Diskussion der möglichen Wechselwirkungen, ihrer Ausprägung und Voraussetzungen erfolgte gemeinsam durch Vertreter*innen aller vier in diesem Bericht berücksichtigten Sektoren.

Am Ende jedes Unterkapitels zu einer Anpassungsmaßnahme wird diese auf der Grundlage der bereits erwähnten Kriterien „Aufwand“, „Kosten“, „Zeithorizont für Umsetzung“ und „Wechselwirkungen“ bewertet, mit dem Ziel, den Entscheidungsträger*innen eine erste Orientierung bei der Konzipierung eines Wassermanagementkonzeptes zu geben. Das Hauptkriterium bei der Bewertung ist, neben den erwarteten primären Maßnahmeneffekten, das Erzielen wasserbezogener Synergien mit den anderen Sektoren.

1) Wasserwirtschaftliche Maßnahmen

Im Folgenden werden Maßnahmen der Wasserwirtschaft zur Anpassung an den Klimawandel und deren Wechselwirkungen mit den Sektoren Landwirtschaft, Forstwirtschaft und Aquakultur/Binnenfischerei beschrieben. Die Liste umfasst sowohl die gewöhnlichen bereits umgesetzten als auch die potenziellen Maßnahmen, erhebt jedoch nicht den Anspruch auf die Vollständigkeit. Während die im Folgenden genannten Maßnahmen je nach Standort notwendig für die Klimaanpassung sein können, sollten auch immer kleinere, einfache und bereits mögliche Maßnahmen umgesetzt werden.

1.1) Verteilung von Wasserrechten auf Basis des Wasserdargebots

Aufgrund des fortschreitenden Klimawandels (Sommerdürren, Zunahme von Starkregenereignissen) und der weit fortgeschrittenen Überformung der Landschaft (Flurbereinigung, Versiegelung, Drainierung, Gewässerbegradigungen etc.) werden regional die Grundwasserstände und damit auch das nutzbare Wasserdargebot in Zukunft weiter sinken.

Daher bedarf es einerseits profunder Methoden, die klimawandelbedingte Minderung der Grundwasserneubildung zu prognostizieren und andererseits Strategien, um genehmigte und geplante Entnahmen aus dem Grundwasser an die geringere Neubildung anzupassen. Nur so lässt sich ein Absinken der Pegel nachhaltig verhindern.

Neben der Synchronisierung und Anpassung aller genehmigten Entnahmen müssen auch Bagatellgrenzen und Ausnahmeregelungen auf den Prüfstand gestellt werden.

Eine Reduzierung sowie eine Pflicht zur Meldung aller tatsächlich entnommenen Mengen ist – soweit verhältnismäßig – in Betracht zu ziehen.

In diesem Zusammenhang sind bestehende Entnahmeentgelte zu überprüfen bzw. neu einzuführen (z. B. Bundesweites Wasserentnahmeentgelt).

Eine nachträgliche Verringerung genehmigter Wasserentnahmemengen ist - insbesondere zugunsten anderer Nutzergruppen - rechtlich schwer möglich, da bestehende Entnahmerechte, z. B. von Landwirt*innen, zu Gunsten anderer eingeschränkt werden würden. In von Wassermangel betroffenen Regionen existieren bereits heute zahlreiche bestehende Rechte. Aus diesem Grund ist für eine zeitnahe Lösung der Weg der regionalen Zusammenschlüsse und Kooperationen zielführender. Eine Verteilung auf Basis des Wasserdargebots wäre zwar geboten, setzt aber voraus, dass der Genehmigungsbehörde eine zutreffende und belastbare Übersicht einerseits zum vorhandenen Wasserdargebot und andererseits zu den vorliegenden Nutzungen und Nutzungsrechten einschließlich möglicher Veränderungen und Schwankungen vorliegt. Dies wird allerdings erschwert durch langfristige und saisonale Veränderungen des Wasserdargebots wie auch durch volatile Veränderungen des Wasserbedarfs, (z. B. bei Ansiedlung neuer industrieller Nutzer). Ein kooperativer Ansatz aller Nutzer*innen vor Ort ist einer rechtlichen Anordnung und Festlegung für Einzelentnahmen über Jahre hinweg in jedem Fall vorzuziehen.

Kriterium	Bewertung aus sektoraler Sicht
Aufwand	sehr hoch
Kosten	sehr gering
Zeithorizont für Umsetzung	mittelfristig
Wechselwirkungen mit (siehe Kapitel 2.1)	I.1, I.2, I.3, I.4, f.2, a.1, a.3

Die Maßnahme kann sowohl zu Zielkonflikten als auch zu Synergien mit anderen Sektoren führen, je nach Dargebot, Bedarf und Verteilung.

1.2) Einschränkungen und ggf. Verbote von Wasserentnahmen in Wassermangelzeiten

Fallende Pegel in Oberflächengewässern treffen regelmäßig zusammen mit einem erhöhten Bewässerungsbedarf, insbesondere in der Landwirtschaft. Zum Schutz des Menschen und seiner Umwelt können daher regionale Einschränkungen (z.B. Bewässerung nur in der Nacht) oder Verbote von Grund- und Oberflächenwasserentnahmen eine Lösung darstellen. Dies kann, falls Landwirt*innen keine vorbereitenden Maßnahmen getroffen haben, erhebliche Auswirkungen, z. B. auf den Anbau von Sonderkulturen, haben. Oberflächengewässer mit ausreichend hohen Abflüssen spielen folglich eine wichtige Rolle in Bewässerungsgebieten, insbesondere zur Speicherung von Bewässerungswasser in Zeiten hoher Abflüsse für eine spätere Nutzung in Bewässerungs-Bedarfszeiten.

In diesem Zusammenhang bedarf es bundesweit einheitlicher Klassifizierungen und Indikatoren zu Niedrigwasser und Wassermangel, die auch als Grenzwerte zur Ableitung von Maßnahmen geeignet sein könnten. Beispielsweise wurde im

Bundesland Brandenburg seit 2022 eine „Niedrigwasserampel“ eingeführt, die der Sensibilisierung der Bevölkerung dienen soll, aber auch von den Wasserbehörden als Anhaltspunkt für „Trockenzeiten“ genutzt wird.

Kriterium	Bewertung aus sektoraler Sicht
Aufwand	gering
Kosten	sehr gering
Zeithorizont für Umsetzung	kurzfristig
Wechselwirkungen mit (siehe Kapitel 2.1)	l.1, l.2, l.3, l.4, f.2, a.1, a.2, a.3, a.4

Die Maßnahme kann sowohl zu Zielkonflikten durch mögliche Entnahmereduzierungen, aber auch zu Synergien durch den Verbleib des Wassers im Wasserkreislauf, z. B. für Fische in Stillgewässern und Fließgewässern, führen. Zudem sind die Oberflächengewässer mit dem Grundwasserkörper verbunden: Entnahmereduzierungen kommen somit auch dem Grundwasser zugute.

1.3) Sicherstellung ausreichender Wasserführung von Gewässern

Nicht nur für den Schutz der Ökologie und des Lebensraumes Gewässer ist eine ausreichende Wasserführung erforderlich, sondern auch für die Fischerei. Andernfalls entstehen Schäden am System, die jahrelang nachwirken, bzw. irreversibel sein können. Folglich muss jegliche Wasserentnahme auf diese Grenzen ausgelegt und die Nutzer*innen darauf eingestellt sein. Dies kann u. a. durch o.g. Verbote von Oberflächenwasserentnahmen, z. B. durch Verfügung der Rechtsbehörden, geschehen.

Kriterium	Bewertung aus sektoraler Sicht
Aufwand	hoch
Kosten	gering
Zeithorizont für Umsetzung	langfristig
Wechselwirkungen mit (siehe Kapitel 2.1)	l.1, l.2, f.2, a.1, a.2, a.3, a.4

Die Maßnahme kann sowohl zu Zielkonflikten durch mögliche Entnahmereduzierungen als auch zu Synergien durch den Verbleib des Wassers im Wasserkreislauf, z. B. für Fische in Stillgewässern und Fließgewässern, führen.

1.4) Wiedervernässung organischer Böden

Die Wiedervernässung organischer Böden dient in erster Linie dem Klima- und Biodiversitätsschutz und ist daher im Aktionsprogramm Natürlicher Klimaschutz verankert. Die Maßnahme verdeutlicht die Synergie zwischen Klimaschutz mit der Klimafolgenanpassung durch vielerlei wasserwirtschaftliche Auswirkungen hinsichtlich Qualität und Quantität. Denn die Maßnahme dient dem Wasser- und Nährstoffrückhalt in der Fläche, der Umgebungskühlung und der Reduktion von Treibhausgasemissionen und kann darüber hinaus die Grundwasserneubildung erhöhen. Die Maßnahme bedarf in der Regel einer wasserrechtlichen Genehmigung und wird daher zu den wasserwirtschaftlichen Maßnahmen gezählt. Wie bei der o.g.

Wasserverteilung (Maßnahme 1.1 „Verteilung von Wasserrechten auf Basis vom Wasserdargebot“) ist es auch hier wichtig, die Menschen in den Regionen kooperativ zu beteiligen.

Die dauerhafte Erreichung torferhaltender Wasserstände kann das Wassermengenmanagement vor große Herausforderungen stellen. Je nach Höhenlage und hydrologischen Verhältnissen wird in einigen Gebieten eine vollständige Vernässung nur schwer oder gar nicht umsetzbar sein. Hier sind auch Aspekte des Hochwasserschutzes von Infrastruktur und Siedlungsbereichen, sowie bezüglich der aktuellen Nutzung zu berücksichtigen. Dennoch gilt es, Wasserstände in den Moorböden zu erreichen, die die aktuelle Torfzehrung soweit wie möglich reduzieren, um der fortschreitenden Sackung der Geländehöhe entgegenzuwirken. Neben Naturschutzmaßnahmen und Maßnahmen im Forst werden derzeit mögliche alternative landwirtschaftliche Nutzungsformen erprobt.

Voraussetzung für die Maßnahmenwirkung ist ein intelligentes Wassermanagement, das den Landschaftswasserhaushalt im Einzugsgebiet berücksichtigt. Um ein zu starkes Absinken der Moorbodenwasserstände in Zeiten ausbleibender Niederschläge und starker Verdunstung zu vermeiden, sollte ein Teil des überschüssigen Wassers aus dem Winterhalbjahr möglichst lange im Einzugsgebiet zurückgehalten werden.

Kriterium	Bewertung aus sektoraler Sicht
Aufwand	mittel bis sehr hoch
Kosten	hoch bis sehr hoch
Zeithorizont für Umsetzung	mittel- bis langfristig
Wechselwirkungen mit (siehe Kapitel 2.1)	I.1, I.2, I3, I4, I.5, f.1, f.2

Die aufgezählten Wechselwirkungen können zu Zielkonflikten mit anderen Sektoren führen. Durch die Wiedervernässung ist eine herkömmliche landwirtschaftliche Nutzung nicht mehr möglich. Derzeit wird an wirtschaftlichen Alternativen für eine landwirtschaftliche Nutzung geforscht. Synergien mit der Land- und Forstwirtschaft können sich ergeben, wenn durch die Anhebung der Wasserstände mehr Wasser in der Landschaft zurückgehalten wird, mit positiven Auswirkungen auf die Grundwasserneubildung und allgemein die Wasserverfügbarkeit sowie das regionale Kleinklima. Damit kann auch die negative Beeinflussung der Land- und Forstwirtschaft durch langanhaltende Trockenphasen in den angrenzenden Arealen und in den Moorrandbereichen reduziert werden. Infolge der Wiedervernässung von Mooren kann es zu hohen TOC (*total organic carbon*) Einträgen ins Grundwasser kommen. Falls das Grundwasser für eine Trinkwassergewinnung genutzt wird, muss das berücksichtigt werden.

1.5) Speicherung von Wasser

Die Speicherung und Rückhaltung ist aus wasserwirtschaftlicher Sicht eine wichtige Maßnahme und berücksichtigt von innerstädtischen Regentonnen bis Stauanlagen unterschiedliche Dimensionen. Im urbanen Raum kann dies durch z. B. eine verbesserte Nutzung von Tonnen, Zisternen etc., aber auch durch eine versickerungsfördernde Bauleitplanung und entsprechende Bauweisen

(„Schwammstadt“) erreicht werden. Im ländlichen Raum sind für die Speicherung von Wasser Infrastrukturen zu schaffen, insbesondere in Form von Bewässerungsteichen, Rückhaltebecken, Kleinspeichern usw. (vgl. auch BMEL, 2019). Auch Retentionsflächen für Starkregeneignisse sind vorzuhalten.

Bereits vor der deutschen Einheit 1990 sind in den ostdeutschen Ländern Kleinspeicher angelegt worden, mit denen die Bewässerung in der Landwirtschaft unterstützt wurde. Die Reaktivierung solch bereits angelegter Infrastruktur kann zur Speicherung von Regenwasser beitragen. Z. B. wird eine Reaktivierung der noch nicht zurückgebauten Speicher zur Mehrfachnutzung (u. a. Bewässerung, Hochwasserschutz) derzeit vom Land Thüringen geprüft.

In diesem Zusammenhang ist die Betreiberfrage dringlich, da dieser für die Einhaltung und Überwachung aller technischen Sicherheitsnormen zuständig ist und die Aufwendungen für die regelmäßige Unterhaltung (Pflege und Überwachung Umfluter, Staueinrichtungen, Dammfußdränagen, Grundablass, etc.), aber auch für ggf. erforderliche Instandsetzungsarbeiten zu tragen hat.

Zwar ist aus Sicht eines Wasserrückhaltes die Speicherung von Wasser grundsätzlich zu begrüßen, jedoch ist die Anlage und der Betrieb von Speichern z. T. aufwändig und die Herstellung durch größere Tiefbauarbeiten auch sehr teuer. Zudem können fachliche und planungsrechtliche Hürden hinzukommen. Durch wechselnde Wasserstände und rasche Sukzession der Uferzonen können Konflikte mit touristischen (Angeln, Baden, etc.) und naturschutzfachlichen Zielen (Entstehen geschützter Biotopstrukturen) entstehen.

Kriterium	Bewertung aus sektoraler Sicht
Aufwand	sehr hoch
Kosten	sehr hoch
Zeithorizont für Umsetzung	mittelfristig
Wechselwirkungen mit (siehe Kapitel 2.1)	I.1, I.2, I.5, f.1, f.2

Die Maßnahme kann einerseits zu Zielkonflikten führen, da Speicherflächen nicht mehr bewirtschaftet werden können. Andererseits sind Synergien möglich, da das gespeicherte Wasser auf anderen Flächen genutzt werden kann.

1.6) Stärkung des Grundwasserschutzes

Nicht nur die Quantität, auch die Qualität ist beim Grundwasser von Bedeutung. Schließlich soll das Wasser auch genutzt werden. Da die Regeneration von Grundwasser Jahrhunderte in Anspruch nimmt, ist hier ein vorsorgender Umgang essentiell. In Deutschland ist das Vorsorgeprinzip deswegen z. B. auch als Besorgnisgrundsatz im Wasserhaushaltsgesetz gesetzlich verankert. An die Erteilung von wasserrechtlichen Erlaubnissen, wie z. B. der Wasserentnahme, sind analog zum Schutz von Oberflächengewässern strenge Maßstäbe für den Grundwasserschutz anzulegen. Dieser Punkt ist auch in Zusammenhang mit Maßnahme 1.2 „Einschränkungen und ggf. Verbote von Wasserentnahmen in Wassermangelzeiten“ zu sehen.

Kriterium	Bewertung aus sektoraler Sicht
Aufwand	mittel
Kosten	sehr gering
Zeithorizont für Umsetzung	mittelfristig
Wechselwirkungen mit (siehe Kapitel 2.1)	I.1, I.2, I.5, a.1

Die aufgezählten Wechselwirkungen können zu Zielkonflikten, z. B. bei Entnahmewünschen, aber auch zu Synergien bei einer nachhaltigen Bewirtschaftung führen.

1.7) Monitoring der Oberflächengewässer und des Grundwassers

In allen Bundesländern existiert ein Netz aus Pegeln und Messstellen zur Datenaufnahme, Statistik und zur Nutzung für Zukunftsprognosen. Dieses muss zu einem repräsentativen Netz zum Grundwassermonitoring weiter ausgebaut werden. Die Daten werden regelmäßig der Öffentlichkeit über Web-Dienste zur Verfügung gestellt und fließen z. B. in Alarmpläne, Landesniedrigwasserkonzepte, Hochwasserprognosen usw. mit ein.

Im Rahmen der Deutschen Anpassungsstrategie (DAS) wird zudem ein Klimawandelmonitoring durchgeführt, für das jedes Bundesland in unterschiedlichen Bereichen spezifische Indikatoren festgelegt hat. Für den Bereich der Wasserwirtschaft werden beispielsweise in Schleswig-Holstein die Indikatoren Mittlerer Abfluss, Grundwasserstand, Hochwasser sowie Niedrigwasser betrachtet. Hierzu werden Datenreihen der Messstellen über mehrere Jahrzehnte ausgewertet. Die Ergebnisse werden regelmäßig fortgeschrieben und in Form von Faktenblättern, die bspw. auch Handlungsempfehlungen enthalten, der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt. Hierdurch sollen klimawandelbedingte Veränderungen der Grund- und Oberflächenwasserverfügbarkeiten und die damit verbundenen Risiken frühzeitig erkannt und ggf. Anpassungsmaßnahmen abgeleitet werden. Ein weiteres Beispiel ist die Kooperation KLIWA. Hier arbeiten die Länder Baden-Württemberg, Bayern, Rheinland-Pfalz, der Deutsche Wetterdienst (DWD) sowie teilweise auch das Land Hessen seit 1999 zusammen, um mögliche Auswirkungen der Klimaveränderung auf den Wasserhaushalt und die Ökologie der Flussgebiete im Süden Deutschlands herauszuarbeiten, Konsequenzen aufzuzeigen und Handlungsempfehlungen zu erarbeiten.

Kriterium	Bewertung aus sektoraler Sicht
Aufwand	mittel
Kosten	mittel
Zeithorizont für Umsetzung	mittelfristig
Wechselwirkungen mit (siehe Kapitel 2.1)	keine

1.8) Küstenschutz

In den ca. 12.000 km² großen deutschen Küstenniederungen wohnen etwa 2,5 Mio. Menschen. Sie werden durch fast 1.500 km Seedeiche vor Sturmfluten geschützt. Ohne diesen Schutz wären Nutzungen kaum möglich. Infolge des Meeresspiegelanstieges und der erhöhten Sturmflutwasserstände ist mit einem zunehmenden Anpassungsbedarf des Küstenschutzes zu rechnen. In ihren langfristigen Küstenschutzstrategien sowie in aktuellen Planungen und Maßnahmen treffen die Küstenländer deshalb Vorsorge für einen zukünftig zu erwartenden Meeresspiegelanstieg. Auf Grundlage der in den IPCC-Klimawandelberichten veröffentlichten Meeresspiegelprojektionen wird dazu ein Vorsorgemaß von 1,0 m verwendet. Dieses Vorsorgemaß gewährleistet, dass der heutige Sicherheitsstandard auch bei um 1,0 m höher auflaufenden Sturmfluten noch gewährleistet ist. Nach Möglichkeit sollten darüber hinaus bei der Planung von Küstenschutzmaßnahmen sogenannte Baureserven für spätere erforderliche Anpassungen berücksichtigt oder eine geeignete Flächenvorsorge betrieben werden. Neben technischen Strukturen erlangen Maßnahmen zur Minimierung des Schadenspotentials bei zunehmenden hydrologischen Belastungen infolge des Klimawandels noch mehr Relevanz. Hierzu zählen insbesondere raumordnerische Maßnahmen zur Steuerung der Nutzungen in den Risikogebieten.

Kriterium	Bewertung aus sektoraler Sicht
Aufwand	sehr hoch
Kosten	sehr hoch
Zeithorizont für Umsetzung	langfristig
Wechselwirkungen mit (siehe Kapitel 2.1)	1.5

Die aufgezählte Wechselwirkung kann zu Zielkonflikten durch den Verlust von nutzbaren Flächen führen. Da viele Küstenregionen aber ausschließlich aufgrund des Schutzes durch die Seedeiche nutzbar sind, stehen hier die Synergien eindeutig im Vordergrund.

1.9) Verbessertes Wasserrückhalt

In einigen Regionen Deutschlands werden landwirtschaftliche Nutzflächen durch Gräben und Drainagen entwässert. Dieser wasserhaushaltliche Eingriff verhindert eine Vernässung dieser Region und sichert dadurch seit vielen Jahrhunderten eine nutzbare Kulturlandschaft. In Mecklenburg-Vorpommern geschieht dies beispielsweise auf 880.000 ha bzw. 60 % der landwirtschaftlich genutzten Flächen (Koch et al., 2010). Dadurch werden bis zu 50 % des Wasserdargebots direkt oberflächlich abgeleitet und stehen nicht für die Versickerung und Grundwasserneubildung zur Verfügung (Hennig & Hilgert, 2007). Auch der Anschluss von Binneneinzugsgebieten (Sölle, kleine Feuchtgebiete) führt zu einem schnellen Abfluss des Oberflächenwassers. Ein (Teil-) Rückbau derartiger Entwässerungssysteme kann zu einer regionalen Verbesserung des Landschaftswasserhaushalts und der Grundwasserneubildung beitragen.

Ein großer Teil der Entwässerungsstrukturen ist nicht reguliert, sodass (potentielles) Grundwasser zum einen in Zeiten mit geringen Niederschlägen (z. B. Trockenperioden) und zum anderen in Zeiten, in denen keine landwirtschaftliche Nutzung passiert (z. B. Winter), abgeführt wird. In den norddeutschen Marschen wird Wasser aus der Entwässerung bisher häufig ungenutzt ins Gewässer abgeschlagen oder über die Siele ins Meer geleitet. Der Teil, der nicht mehr durch den natürlichen hydraulischen Gradienten bei Tideniedrigwasser ins Meer fließen kann, muss zusätzlich durch Pumpensysteme transportiert werden. Dieser Teil wird zukünftig, bedingt durch den klimatischen Wandel (Meeresspiegelanstieg, Sturmfluten, Starkregen), ansteigen, vor allem in den Wintermonaten durch die Niederschlagsverschiebung vom Sommer in den Winter (Bormann et al. 2018).

Durch eine gezielte, witterungs- und nutzungsabhängige Steuerung der Entwässerung können die Auswirkungen von Trockenperioden abgeschwächt und der ggf. vorhandene Bewässerungsbedarf minimiert werden, wodurch die Grundwasservorkommen geschont werden. Wie Untersuchungen z. B. in den niedersächsischen Marschen (z. B. González et al. 2023) und in den Beregnungsgebieten im Nordosten Niedersachsens (Ostermann 2022) zeigen, kann überschüssiges Wasser in dafür geeigneten Retentionsräumen zurückgehalten und im Bedarfsfall für eine Grundwasseranreicherung, Bewässerungszwecke oder sogar zur Trinkwasseraufbereitung genutzt werden. Die damit verbundenen positiven Effekte gehören zu den wichtigsten wasserwirtschaftlichen Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel (Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz 2022).

Kriterium	Bewertung aus sektoraler Sicht
Aufwand	gering bis hoch
Kosten	gering bis hoch
Zeithorizont für Umsetzung	kurz- bis langfristig
Wechselwirkungen mit (siehe Kapitel 2.1)	l.1, l.2, l.5, f.1, f.2

Die aufgezählten Wechselwirkungen können zu Zielkonflikten aufgrund der Flächenkonkurrenz, z. B. durch Gewässerrenaturierung oder Vernässungen, aber auch zu Synergien durch eine höhere Wasserverfügbarkeit und Grundwasserneubildung führen.

1.10) Wiederverwendung von aufbereitetem Abwasser

Aufbereitetes Abwasser wird üblicherweise Oberflächengewässern zugeleitet. Das Abwasser kann – je nach Grad der Aufbereitung – Spurenstoffe wie Arzneistoffe, Haushalts- und Industriechemikalien, Pflanzenschutzmittel und Biozide sowie pathogene Keime enthalten. Eine Eliminierung ist durch den Einsatz einer 4. Reinigungsstufe in kommunalen Kläranlagen möglich.

Aus diesem Grund ist die Verwendung von aufbereitetem Abwasser zur Niedrigwasserstützung oder gar zu Zwecken der Grundwasseranreicherung oder der landwirtschaftlichen Bewässerung mit großer Vorsicht zu betrachten.

Zwar kann die Einleitung von aufbereitetem Abwasser in Oberflächengewässer insbesondere bei abflussschwachen Gewässern einen wichtigen Beitrag zur Stützung von Niedrigwasserabflüssen leisten, eine direkte Einleitung in zur Trinkwassergewinnung genutzte Grundwasserleiter ist jedoch in der Regel ausgeschlossen.

Die Wiederverwendung im Bereich Landwirtschaft spielt derzeit in Deutschland eine untergeordnete Rolle. In anderen Mitgliedstaaten und in Israel ist dies anders. Die Europäische Gemeinschaft hat dazu die Verordnung (EU) 2020/741 vom 25. Mai 2020 über Mindestanforderungen für die Wasserwiederverwendung herausgegeben, welche ab dem 26. Juni 2023 unmittelbar in allen Mitgliedstaaten gilt. Eine nationale Umsetzung ist in Deutschland dennoch notwendig. Die in der Verordnung vorgegebenen Anforderungen sind für den Schutz der Gesundheit von Mensch, Tier und Pflanze nicht ausreichend. Zur Rechtsumsetzung der Wasserwiederverwendung in der Landwirtschaft erfolgen derzeit Abstimmungen auf Bundes- und Länderebene, die Mitte 2023 abgeschlossen sein müssen. Wesentliche Barrieren bei der Wasserwiederverwendung sind die Unsicherheit bei den Entscheidungsträger*innen bezüglich der Wahrung der öffentlichen Gesundheit sowie der Qualität von beeinflussten Grund- und Oberflächenwässern sowie von Böden. Erschwerend hinzu kommen bestehende Unsicherheiten bezüglich der wasserrechtlichen Verankerung, der mangelnden Effizienz und generellen Zuverlässigkeit eingesetzter Aufbereitungsverfahren, des vergleichsweise großen Überwachungsbedarfs der Anlagen und betroffener Umweltkompartimente sowie eine Öffentlichkeit, die dem Konzept der Wasserwiederverwendung nicht immer positiv gegenübersteht.

Kriterium	Bewertung aus sektoraler Sicht
Aufwand	hoch
Kosten	hoch
Zeithorizont für Umsetzung	mittelfristig
Wechselwirkungen mit (siehe Kapitel 2.1)	l.1, l.2, l.5, f.1, f.2, a.1, a.3, a.4

Die aufgezählten Wechselwirkungen können zu Zielkonflikten durch den erhöhten Eintrag von Schadstoffen und zu Synergien aufgrund der erhöhten Wasserverfügbarkeit führen.

1.11) Anreicherung von Grundwasser durch Infiltration bzw. Wiederaufspiegelung des Grundwassers/Stützung von Grundwasserbrunnen

Die gezielte Anreicherung von Grundwasser (Managed Aquifer Recharge; MAR) zur Erhöhung des gesamten gewinnbaren Dargebots sowie zur Stabilisierung des Dargebots über das gesamte Jahr hinweg, wird seit vielen Jahrzehnten in Deutschland im Rahmen der Trinkwasserproduktion praktiziert. Das Konzept ist flexibel und kann auf viele Trinkwassergewinnungen angewendet werden, wo eine Anreicherung bisher noch nicht erfolgt. Die häufigste in Deutschland verwendete Methode ist die Uferfiltration, bei der durch fließgewässernahe Brunnen das geförderte Grundwasser durch einen Anteil an Oberflächenwasser ergänzt wird (Dillon et al., 2019; Sprenger et al., 2017). Durch die Brunnen wird der hydraulische Gradient so beeinflusst, dass Wasser aus einem Fluss in den durch die Brunnen bewirtschafteten Grundwasserleiter

einströmt. Bei der Gewinnung von Trinkwasser macht die Uferfiltration in Deutschland rund 16 % aus. Die Methode der Uferfiltration wird vor allem entlang des Rheins, der Ruhr und in den Regionen um Berlin/Potsdam und Dresden betrieben (u. a. Furrer et al., 2000).

Alternativ kann Flusswasser verwendet werden, um damit gezielt Grundwasservorkommen anzureichern. Dazu wird Wasser aus dem Fließgewässer entnommen und zur Versickerung eingesetzt. Prominente Beispiele für diese in Deutschland zweithäufigste MAR-Methode sind die von der Gelsenwasser AG betriebene Wassergewinnung Haltern und das von der Hessenwasser GmbH & Co. KG bewirtschaftete Hessische Ried, in dem die Anreicherung zur Trinkwassergewinnung und zur Erhaltung der wasserabhängigen Ökosysteme erfolgt (Weber und Mikat 2011).

Kriterium	Bewertung aus sektoraler Sicht
Aufwand	mittel
Kosten	mittel
Zeithorizont für Umsetzung	mittelfristig
Wechselwirkungen mit (siehe Kapitel 2.1)	I.1, f.1, f.2

Die Maßnahme kann die Wasserverfügbarkeit erhöhen, birgt jedoch auch das Risiko einer Kontamination des Bodens und des Grundwasserkörpers durch unerwünschte Einträge von Spurenstoffen wie z. B. Arzneimittelrückstände, Haushalts- und Industriechemikalien, Pflanzenschutzmittel, Biozide, Keime oder andere Schadstoffe.

1.12) Absicherung zukünftiger Wassergewinnungsgebiete

Der Weg zur Klimaanpassung, Nachhaltigkeit und Wassersicherheit erfordert insbesondere ein Umdenken im Hinblick auf die Fläche. Ein wesentlicher Aspekt ist hier die Landesplanung, mit der potentielle Gewinnungsgebiete gesichert werden können.

Kriterium	Bewertung aus sektoraler Sicht
Aufwand	mittel
Kosten	gering bis mittel
Zeithorizont für Umsetzung	langfristig
Wechselwirkungen mit (siehe Kapitel 2.1)	I.1, I.2, I.5

Die aufgezählten Wechselwirkungen können aufgrund möglicher rechtlicher Einschränkungen der Flächen bzw. der Flächenbewirtschaftung zu Zielkonflikten mit Land- und Forstwirtschaft führen.

2) Maßnahmen Pflanzenbau

Im Folgenden werden Maßnahmen des Pflanzenbaus zur Anpassung an den Klimawandel und deren Wechselwirkungen mit den Sektoren Wasserwirtschaft, Forstwirtschaft sowie Aquakultur/Binnenfischerei beschrieben. Die Liste umfasst

sowohl die gewöhnlichen bereits umgesetzten als auch die potenziellen Maßnahmen, erhebt jedoch nicht den Anspruch auf die Vollständigkeit. Während die im Folgenden genannten Maßnahmen je nach Standort notwendig für die Klimaanpassung sein können, sollten auch immer kleinere, einfache und bereits mögliche Maßnahmen umgesetzt werden.

2.1) Bodenbewirtschaftung

Angepasste Bodenbewirtschaftungsmaßnahmen können physikalische und chemische Eigenschaften des Bodens verbessern sowie Oberflächenabfluss (Erosion) reduzieren. Somit kann die Wasserretentionsfähigkeit verbessert werden.

Die Bodenbearbeitung spielt für den Bodenschutz eine große Rolle und sollte grundsätzlich weniger intensiv betrieben werden. Hierbei kann auf eine konservierende Bodenbearbeitung zurückgegriffen werden, wenn möglich in der Verbindung mit einer Direktsaat. Dieses Vorgehen senkt zusätzlich die Gefahr einer Verdichtung, kann jedoch mit zusätzlichem Herbizideinsatz einhergehen. Der Verzicht von bodenwendender Bearbeitung bietet folgende Vorteile für den Boden:

- Schutz der Bodenoberfläche durch Pflanzenreste
- Stabile und wenig verschlämmte Bodenstruktur
- Erhöhtes Aufkommen von Grobporen (bessere Durchlüftung)
- Gut strukturierte Böden fördern die Infiltration und verhindern damit eine stärkere Wassererosion durch Abflüsse

Zur konservierenden Bodenbearbeitung gehört auch der Einsatz von Zwischenfrüchten, um den Boden vor Erosion und Evaporation zu schützen. Der gleiche Effekt kann mit Mulchbedeckungen u. Ä. erreicht werden. Untersaat, Agroforst, Mischkulturen und ähnliche Anbauvarianten bieten aufgrund der längeren Vegetationsperiode und einer höheren Bewuchsdichte Schutz vor Evaporation und Erosion. Die Maßnahmen zur Dauerbegrünung erhöhen allerdings auch den Befall von Schaderregern (siehe Maßnahme 2.4 „Angepasster Pflanzenschutzmitteleinsatz“).

Auch der Einsatz des Pflugs ist in manchen Produktionssystemen, wie z. B. dem ökologischen Landbau, u. a. aus phytosanitären Gründen unverzichtbar, allerdings müssen insbesondere hier auf besonders gefährdeten Standorten gezielte Erosionsschutzmaßnahmen umgesetzt werden. Diese gewinnen generell aufgrund von Bodenverlusten durch Wassererosion bei Starkregenereignissen an Bedeutung.

Auch der Humuserhalt und -aufbau steuert einen wichtigen Beitrag zum Bodenschutz bei, indem die Wasseraufnahme- und -speicherkapazität, sowie die Bodenfruchtbarkeit gesteigert werden. Der Klimawandel und die damit einhergehenden Veränderungen beeinflussen die Humusdynamik im Boden, beispielsweise kann der Anstieg der Temperatur die Mineralisation und damit den Humusabbau beschleunigen.

Kriterium	Bewertung aus sektoraler Sicht
Aufwand	gering bis mittel
Kosten	gering bis mittel
Zeithorizont für Umsetzung	kurz- bis langfristig

Kriterium	Bewertung aus sektoraler Sicht
Wechselwirkungen mit (siehe Kapitel 2.1)	w.1, w.2, w.3

Unterschiedliche Maßnahmen im Rahmen der Bodenbewirtschaftung können grundsätzlich positive Effekte auf die Fähigkeit des Bodens, Wasser zu speichern, haben. Dementsprechend sind positive Wechselwirkungen mit der Wasserwirtschaft zu erwarten. Das Maß dieser Effekte ist allerdings begrenzt und hängt stark vom Bodentyp und den damit einhergehenden Eigenschaften ab. Weiterhin kann ein- und dieselbe Maßnahme, je nach Standortbedingungen, sowohl positive als auch negative Auswirkungen auf den Bodenwasserhaushalt haben. Ein Zwischenfruchtanbau beispielsweise ist bei niedrigen Niederschlagsmengen nicht zielführend, da die Zwischenfrüchte dem Boden Wasser entziehen, sodass den darauffolgenden Hauptkulturen weniger Feuchtigkeit zur Verfügung steht.

Es ist davon auszugehen, dass die Bodenbewirtschaftungsmaßnahmen allein nicht ausreichend sind, um intensive Trockenheitsperioden zu überwinden. Die Maßnahmen sollten aber ein wichtiger Bestandteil eines betrieblichen Wassermanagementkonzeptes sein und gehören zur guten landwirtschaftlichen Praxis.

2.2) Bewässerung im Pflanzenbau

Bewässerung ist eine der wirksamsten Maßnahmen um die Wasserversorgung von Pflanzen zu ermöglichen. Dabei ist auf einen effizienten Einsatz des Wassers zu achten. Dieser kann durch verschiedene Ansätze erfolgen.

Alternative Anbauverfahren wie geschlossene Systeme ermöglichen das Auffangen des Drän- und Sickerwassers und der darin enthaltenen Nährstoffe, die dem System wieder zugeführt werden können. Gleichzeitig können so Nährstoffeinträge in das Grundwasser reduziert werden. Aus betriebswirtschaftlicher Sicht spart der Betrieb Kosten für Wasser und Dünger ein. Allerdings haben solche Systeme auch hohe Investitions- und Betriebskosten. Dieses Anbauverfahren findet überwiegend im geschützten Anbau statt, kann aber auch im Freiland bei bestimmten Sonderkulturen (z. B. Erdbeeren in Stellagen im Folientunnel oder Containerkulturen in Baumschulen) zum Einsatz kommen (bodenlose Kulturführung). Der Einsatz von Tropfbewässerungssystemen und computergesteuerten intelligenten Bewässerungsstrategien kann darüber hinaus einen erheblichen Beitrag dazu leisten, Zusatzwassereinsatz einzusparen, erzeugt aber ebenfalls höhere Kosten.

Es wird geprüft, ob eine moderate Bewässerung (Defizitbewässerung) bei unterschiedlichen Kulturen, besonders für den Obst- und Weinbau (Dauerkulturen) ein wassersparendes Bewirtschaften ermöglicht. Eine mögliche Umsetzung für Gemüsebaukulturen ist nach derzeitigem Kenntnisstand auszuschließen. Bei dieser Praxis ist das Ziel, die Wassernutzungseffizienz der Kulturpflanzen zu steigern, indem der Wasserhaushalt auf die Wachstumsphasen angepasst wird, ohne den Ertrag und die Qualität stark zu beeinträchtigen. Zusätzlich sollten hierfür neue Technologien zum Monitoring eingesetzt werden, um fundierte Entscheidungen treffen zu können.

Weiterhin spielen sowohl die Bodenbewirtschaftung (siehe Maßnahme 2.1 „Bodenbewirtschaftung“) als auch der Einsatz geeigneter Sorten (siehe Maßnahme 2.9 „Anbau von trockenstresstoleranten Sorten“) eine große Rolle, um ein wassersparendes Bewirtschaften zu ermöglichen.

Aufgrund des steigenden Niederschlagdefizits während der Vegetationsperiode wird die Zusatzbewässerung an Bedeutung gewinnen. Daher müssen sowohl wasser- als auch energieeffiziente Infrastrukturen geschaffen werden, die eine Bewässerung ermöglichen, um den Anbau in Zukunft weiterhin zu sichern. So kann beispielsweise mit einem Niederdrucksystem in Form einer Tropfbewässerung gearbeitet werden. Zusätzlich lässt sich die Bewässerungssteuerung anpassen, um die Wassernutzungseffizienz zu steigern. Dafür ist eine fortschreitende Technik aus Digitalisierung und einer Entwicklung von Prognosemodellen unabdingbar. Derzeit wird häufig auf die Geisenheimer-Bewässerungssteuerung in Verbindung mit Bodensensoren und Wetterdaten zurückgegriffen. Es gibt bereits Systeme, mit denen teilflächenspezifisch bewässert werden kann (z. B. das GeoSenSys Projekt¹). Der Bewässerungsbedarf wird hierbei durch die Verknüpfung der Geisenheimer-Bewässerungssteuerung, Bodensaugspannungsmessungen, spektraler Vegetationsindices und neuronaler Netze abgeleitet.

Kriterium	Bewertung aus sektoraler Sicht
Aufwand	mittel bis sehr hoch (abhängig von der Infrastruktur)
Kosten	mittel bis sehr hoch (abhängig von der Infrastruktur)
Zeithorizont für Umsetzung	kurz- bis mittelfristig
Wechselwirkungen mit (siehe Kapitel 2.1)	w.1, w.2, w.3, w.4, a.4

Die Steigerung der Bewässerung erhöht den Wasserverbrauch im Pflanzenbau und kann – je nach Quelle des Bewässerungswassers – zu Zielkonflikten mit der Wasserwirtschaft in Bezug auf Grundwasser- und Oberflächenwassermengen führen. Zusätzlich können negative Auswirkungen auf aquatische Biotope und Fauna zu Zielkonflikten mit der Binnenfischerei führen. Gleichwohl kann der Einsatz von wassersparenden Bewässerungstechniken wiederum Synergien mit der Wasserwirtschaft ermöglichen. Eine bedarfsgerechte Bewässerung fördert die Nährstoffaufnahme von Kulturpflanzen und reduziert somit die Auswaschung von Nährstoffen.

Soll eine zunehmende Bewässerung mit Wasser aus alternativen Quellen (aufbereitetes Abwasser oder zwischengespeichertes Niederschlags- bzw. Oberflächenwasser) erfolgen, wird die Maßnahme als positiv gegenüber der Wassermengenbewirtschaftung betrachtet. Allerdings werden aktuell die Wasserqualitäten von aufbereitetem Abwasser als problematisch insbesondere für den Anbau von Frischgemüse und -obst eingestuft (siehe Maßnahme 1.10 „Wiederverwendung von aufbereitetem Abwasser“).

¹ GeoSenSys – Georeferenziertes Sensor-gestütztes Daten Management-System zur teilflächenspezifischen Bewässerung und Düngung von Freilandgemüse

<https://www.geoinformationsdienst.de/gid/forschung/geosensys/geosensys-uebersicht>

Wenn möglich, erzielen geschlossene Systeme, ein geschützter Anbau und die Defizitbewässerung positive Wechselwirkungen mit der Wasserwirtschaft, indem zum einen der Wasserverbrauch im Pflanzenbau reduziert und die Qualität des Grund- und Oberflächenwassers erhalten bzw. verbessert wird

2.3) Einsatz von gesteuerten Drainagen und Vorflut

Der Einsatz von gesteuerter Drainage oder Controlled Drainage (CD) und gesteuerter Vorflut ermöglicht eine Regulierung bzw. die Steuerung des Durchflusses. Somit kann eine kontrollierte Wasserhaltung in der Fläche betrieben und eine ausreichende Wasserversorgung der Pflanzenbestände während Trockenperioden sichergestellt bzw. eine Verzögerung der Bewässerung angestrebt werden. Gleichzeitig kann die Fläche während nasser Perioden (besonders im Winter) weiterhin nutzbar gehalten werden. Zeitweise können höhere Bodenwassergehalte auch unterhalb des Wurzelbereiches gehalten werden und so für denitrifizierende Verhältnisse sorgen, um Nitrat abzubauen (Jouni et al. 2018; Merta 2023). Somit gelangt weniger Nitrat in das Grundwasser, gleichzeitig wird allerdings mehr molekularer Stickstoff (N₂) und klimaschädliches Lachgas (N₂O) in die Atmosphäre abgegeben (Ballantine und Tanner 2013). Wenn das Abflusswasser zusätzlich in einen Drainteich o. ä. Vorrichtungen abgeleitet wird, kann der Austrag von Nährstoffen durch den Abbau durch Organismen weiter reduziert werden und der Abfluss aus der Fläche über die Vorfluter wird verzögert. Die Umsetzung einer solchen Drainage ist stark abhängig von der Topografie der Fläche, die nahezu eben sein muss (Merta 2023).

Kriterium	Bewertung aus sektoraler Sicht
Aufwand	mittel bis hoch
Kosten	mittel bis hoch
Zeithorizont für Umsetzung	kurz- bis mittelfristig
Wechselwirkungen mit (siehe Kapitel 2.1)	w.1, w.2, w.3, w.4, a.2

Die Maßnahme kann positive Wechselwirkungen mit der Wasserwirtschaft in Bezug auf die Wassermenge haben, wenn sie zur Grundwasseranreicherung beiträgt (siehe Maßnahme 1.9 „Verbesserter Wasserrückhalt“) und den Bewässerungsbedarf reduziert. Wechselwirkungen mit der Binnenfischerei müssen zudem betrachtet werden, da Laichplätze gefährdet sein könnten.

2.4) Angepasster Pflanzenschutzmitteleinsatz

Aufgrund steigender Temperaturen, veränderter Niederschlagsverteilungen und zunehmender Extremwetterlagen beeinflusst der Klimawandel auch das Auftreten von Schadorganismen, ihre Schadwirkung und damit den notwendigen Pflanzenschutz.

Die Grundsätze des integrierten Pflanzenschutzes mit angepassten Fruchtfolgen, optimaler Bodenbearbeitung, der Wahl krankheitsresistenter Sorten u. a. müssen konsequent umgesetzt werden, um substantiell ertragswirksame Schädigungen durch Schadorganismen zu minimieren, sodass eine möglichst hohe Wassernutzungseffizienz der Pflanzenproduktion gesichert und ineffektive Evapotranspiration minimiert wird.

Im Hinblick auf den chemischen Pflanzenschutz ist im Zusammenhang mit dem Water-Food-Nexus hinsichtlich des angepassten Pflanzenschutzmitteleinsatzes besonders relevant, dass das Risiko und mögliche negative Auswirkungen des Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln auf die angrenzenden Ökosysteme, besonders die aquatischen Ökosysteme (inkl. Aquakulturen), sowie die menschliche Trinkwassernutzung minimiert bzw. verhindert werden. Durch die zunehmende Klimavariabilität und unvorhersehbare Witterungsereignisse kann die Wirksamkeit gezielter Pflanzenschutzmaßnahmen gegen biotischen Stress nicht in jedem Fall sicher abgeschätzt werden. Zudem können zunehmende Starkregenereignisse zu Run-off und einem erhöhten Risiko von Eintragungen in angrenzende Gewässer führen. Die Erhöhung der Informationsdichte (räumlich und zeitlich) zur aktuellen Befallssituation auf den Flächen mittels moderner Methoden wie drohnenbasierter Bestandserfassung und Nutzung digitaler Entscheidungsunterstützungstools wie Prognosemodellen kann hierbei helfen. Eine Erhöhung der Intensität des Pflanzenschutzmitteleinsatzes stellt vor dem Hintergrund der Farm to Fork-Strategie und verschiedener nationaler Initiativen keine Option dar. Die effektive Umsetzung des integrierten Pflanzenschutzes als primäre Anpassungsmaßnahme ist somit entscheidend, um eine Minimierung des Risikos für aquatische Ökosysteme und das Trinkwasser sowie eine Minimierung von Ertragsverlusten bzw. die Sicherung hoher Wassernutzungseffizienz zu erreichen und gleichzeitig die Pflanzenbestände gesund zu erhalten. So können auch unter den erschwerten Bedingungen des Klimawandels Zielkonflikte minimiert werden.

Kriterium	Bewertung aus sektoraler Sicht
Aufwand	gering bis mittel
Kosten	gering bis mittel
Zeithorizont für Umsetzung	kurzfristig
Wechselwirkungen mit (siehe Kapitel 2.1)	w.3, w.4, a.2

2.5) Optimierte Nährstoffmanagement

Die zunehmenden Herausforderungen des Klimawandels erfordern eine standortangepasste Optimierung des Nährstoffmanagements. Die zunehmende Klimavariabilität beeinflusst die gasförmigen Stickstoffverluste bei der Aufbringung von Düngermitteln, sowie für die Nährstoffausbringung entscheidende agrarphänologische Phasen und damit die zeitliche Aufnahme von Nährstoffen. Gleichzeitig kann während Trockenperioden und ohne Bewässerung der ausgebrachte Nährstoff nicht von der Pflanze aufgenommen werden. Zusätzlich begünstigen starke Niederschläge und zunehmend milde Winter Auswaschungen und Oberflächenabflüsse von Nährstoffen.

Die Wahl der Düngerform, insbesondere bei Stickstoffdüngern, sowie der Ausbringungszeitpunkt haben einen großen Einfluss auf die Pflanzenverfügbarkeit sowie die Auswaschungsgefahr von Nährstoffen.

Bei Wirtschaftsdüngern erhöht sich bei hohen Temperaturen im Frühjahr und bei Frühjahrstrockenheit sowie fehlender oder zu später Einarbeitung in den Boden das Verlustrisiko von gasförmigen Stickstoffverlusten in Form von Ammoniak. Dies kann

zu einer Abnahme der Stickstoffnutzungseffizienz der Wirtschaftsdünger führen, und sollte unbedingt verhindert werden.

Um die gasförmigen Stickstoffverluste bei flüssigen Wirtschaftsdüngern weiter zu minimieren, sind die verlustmindernde Ausbringtechnik sowie die unmittelbare Einarbeitung vorgeschriebene Praktiken. Darüber hinaus sind in stehenden Pflanzenbeständen Verfahren zur pH-Wert-Absenkung der flüssigen organischen Dünger durch die Zugabe von Säuren effektiv und können zu einzelnen Applikationsterminen die Ammoniakemission minimieren. Bei kommerziellen Verfahren wird oft Schwefelsäure eingesetzt. In seltenen Fällen (bei zu großem Einsatzumfang) kann dies zu einem Überangebot von Schwefel und damit zu einem erhöhten Risiko von Schwefelkonzentrationen im Sickerwasser führen.

Aus rechtlicher Sicht ist die Menge und der Zeitpunkt des Einsatzes von Nährstoffen, insbesondere für Stickstoff und Phosphat, in der Landwirtschaft reglementiert (siehe Düngeverordnung (DüV)), um Austräge in die Umwelt so weit wie möglich zu vermeiden. Dies schließt die Vorgaben zu verlustmindernder Ausbringtechnik sowie zur unmittelbaren Einarbeitung von Wirtschaftsdüngern mit ein. Unter anderem verbietet die DüV späte Ausbringungstermine im Jahr sowie die Ausbringung auf gefrorenen Böden. Dies führt oftmals zu einer Konzentration der Düngungsmaßnahmen im späten Frühjahr. Durch die Zunahme von ausgeprägten Frühjahrstrockenheiten nimmt die Nutzungseffizienz von Wirtschaftsdüngern/Düngern tendenziell ab. Aus Effizienzgründen ist die späte Frühjahrsdüngung nach wie vor einer Herbstdüngung vorzuziehen. Aus diesem Grund werden Managementmodelle, welche auf Basis von Wettervorhersagen (regionalisierte Niederschlagsprognosen) Bewässerung und Düngung abdecken, immer wichtiger für ein nachhaltiges Nährstoffmanagement. Hierzu zählen eine angepasste Düngeplanung und die optimalen Zeitpunkte für Düngeapplikationen. Derzeit unterliegen derlei Prognosen noch vielen regionalen und standortabhängigen Unsicherheiten.

Um die Auswaschungsgefahr weiter zu reduzieren, können die mit Nitrifikationsinhibitoren stabilisierten Dünger eingesetzt werden. Darüber hinaus ermöglichen der Einsatz moderner Technik und die fortschreitende Digitalisierung (GPS- und Sensortechnik etc.) eine immer präziser werdende, an die Kulturen angepasste, Nährstoffzufuhr.

Kriterium	Bewertung aus sektoraler Sicht
Aufwand	gering bis sehr hoch (abhängig von der Maßnahme)
Kosten	gering bis mittel
Zeithorizont für Umsetzung	kurz- bis mittelfristig
Wechselwirkungen mit (siehe Kapitel 2.1)	w.3, w.4, a.4

Ein optimiertes Nährstoffmanagement kann Synergien mit der Wasserwirtschaft in Bezug auf die Qualität des Grund- und Oberflächenwassers und auch mit der Binnenfischerei in Bezug auf aquatische Biotope und freilebende aquatische Fauna erzielen.

2.6) Anpassung der Fruchtfolgen

Neben dem Anbau standortangepasster und trockenstresstoleranter Sorten mit angepasstem Abreifeverhalten (siehe Maßnahmen 2.9 „Anbau von Trockenstresstoleranten Sorten“) bietet die Diversifizierung der Fruchtfolge unter Einbindung alternativer Ackerkulturen Potenziale zur Klimaanpassung. Eine breitere Fruchtfolge mit einem ausgewogenen Anteil an Sommerungen und Winterungen sowie Blatt- und Halmfrüchten, ist aus Sicht des integrierten Pflanzenbaus notwendig, sowohl im Hinblick auf die Stabilität der Anbausysteme, die Bodenfruchtbarkeit als auch für die Beikrautregulierung und weitere phytosanitäre Aspekte (siehe Maßnahme 2.4 „Angepasster Pflanzenschutzmitteleinsatz“). Ausgewogene und vielfältige Fruchtfolgen können zum Humuserhalt und -aufbau beitragen, mit positiven Effekten auf die Bodenfruchtbarkeit und das Wasserhaltevermögen (siehe Maßnahme 2.1 „Bodenbewirtschaftung“). Zu den Kulturen, deren Anbauwürdigkeit sich bei steigenden Durchschnittstemperaturen erhöhen wird, zählen u.a. Sorghumhirsen und Kichererbsen. Diese Kulturen versprechen auch im Hinblick auf die Trockenstresstoleranz und Wassernutzungseffizienz Vorteile in der Fruchtfolge. Rotkleegrasbestände reagieren sensibler auf ausbleibende Niederschläge als Luzernegrasgemenge, sodass der Anbau von Luzerne im Futterbau eine wichtige Anpassungsmaßnahme darstellen kann. Der Anbau von Zwischenfrüchten kann auf der einen Seite zum Humuserhalt und -aufbau und zum Erosionsschutz beitragen. Auf der anderen Seite benötigt die Zwischenfrucht auch Wasser, was in trockenen Jahren zur Verschärfung von Trockenstress in der Hauptkultur führen kann.

Anbaudiversifizierung kann auch in Form der Mischkultur oder einer Untersaat erfolgen, indem mehrere Kulturpflanzen gleichzeitig auf einer Fläche angebaut werden (siehe Maßnahme 2.1 „Bodenbewirtschaftung“).

Eine Umstellung auf Agroforst kann die Evaporation mindern und dadurch auch positive Auswirkungen auf den Bodenwasserhaushalt haben. Unklar ist, ob die Gehölze oder Kulturpflanzen davon profitieren und wie die Wasserkonkurrenz zu bewerten ist.

Kriterium	Bewertung aus sektoraler Sicht
Aufwand	gering bis mittel
Kosten	gering
Zeithorizont für Umsetzung	kurzfristig
Wechselwirkungen mit (siehe Kapitel 2.1)	w.1, w.2, w.3, w.4

Das Maßnahmencluster kann den Bewässerungsbedarf reduzieren und somit positive Wechselwirkungen mit der Wasserwirtschaft in Bezug auf das Wassermengenmanagement erzielen, sofern trockenstresstolerante Arten oder Sorten eingesetzt werden. Ob und in welchem Maß diese positiven Effekte erzielt werden können, ist stark vom Standort, von der Maßnahmenkombination und von der Witterung abhängig.

2.7) Angepasstes Management von Niederungen und Retentionsräumen

In Gebieten, in denen in der Vergangenheit Entwässerungssysteme angelegt wurden, um die landwirtschaftliche Nutzung zu ermöglichen, wie insbesondere Niederungsgebiete, ist die Wasserwirtschaft und Bodennutzung in Zukunft besonders stark von veränderten Klimabedingungen betroffen (siehe Maßnahme 1.5 „Speicherung vom Wasser“ und Maßnahme 1.10 „Wiederverwendung von aufbereitetem Abwasser“). Die notwendigen Anpassungsmaßnahmen betreffen hier insbesondere auch die Landwirtschaft.

Zur Anpassung an den Klimawandel ist die Schaffung von Retentionsräumen unerlässlich. Je nach Höhenlage ergeben sich durch deren Bereitstellung differenzierte Bewirtschaftungsmöglichkeiten für die Landwirtschaft: Besonders tiefliegende Flächen werden kurz- bis mittelfristig nicht mehr landwirtschaftlich genutzt werden können und entfallen in die Sukzession oder es entstehen neue Gewässer. In den Übergangsbereichen ist auf den nassen Flächen eine extensive Nasswiesenwirtschaft möglich, mittels derer Biomasse von geringerer Rauhfutterqualität produziert wird. Die Bereiche zwischen den nassen Flächen und den Oberliegern stehen als saisonale Retentionsräume für Extremwetterereignisse zur Verfügung. Diese Flächen können zukünftig unter gewissen Einschränkungen weiterhin landwirtschaftlich genutzt werden.

Für Nutzer von Niederungsgebieten und Retentionsräumen werden attraktive Angebote benötigt, um die Akzeptanz von möglichst vollständigen Vernässungen hin zu ganzjährig oberflächennahen Wasserständen zu fördern. Akzeptanzfördernde Angebote für Vernässungsmaßnahmen umfassen entsprechende landwirtschaftliche Förderprogramme (z. B. AUKM), die Schaffung von Absatzmärkten für die auf nassen Böden erzeugten Produkte, die monetäre Inwertsetzung der erzielten Umweltleistungen sowie auch vereinfachte Verfahren der Flurbereinigung und des Flächentauschs.

Kriterium	Bewertung aus sektoraler Sicht
Aufwand	hoch
Kosten	hoch
Zeithorizont für Umsetzung	langfristig
Wechselwirkungen mit (siehe Kapitel 2.1)	w.3, w.4

Wechselwirkungen bestehen unter anderem mit der Wasserwirtschaft. Wasserwirtschaftliche Anlagen (z.B. Schöpfwerke, Siele) sind unter dem Aspekt des Klimawandels und den damit zusammenhängenden Klimaprognosen einzurichten, um die Nutzungseinschränkungen für den Pflanzenbau und die notwendigen Retentionsräume auf das Mindestmaß zu begrenzen. Die wasserwirtschaftlichen Anlagen und die möglichen Flächennutzungen müssen die Maßgaben des Klimaschutzes beachten. Synergien ergeben sich auch durch einen größeren Wasserrückhalt in der Fläche, wodurch sich zu saisonalen Trockenphasen auch Möglichkeiten für Bewässerungen ergeben.

2.8) Ausweitung des Flächentauschs

Die Anbaudiversifizierung ist eine wichtige Klimaanpassungsmaßnahme, die u. a. dem Risikosplitting im Betrieb dient. Sie stellt spezialisierte Betriebe vor die Herausforderung, sich mit neuen Anbauverfahren und Methoden auseinanderzusetzen. Gleichzeitig gewährleistet die Spezialisierung Effizienz und hohe Erträge in der Landwirtschaft, sodass durch den Ausbau von Betriebskooperationen und Flächentausch die Vorteile beider Herangehensweisen miteinander verknüpft werden können. Dort, wo es räumlich möglich ist, bieten insbesondere Betriebskooperationen zwischen der Tierhaltung und dem Marktfruchtbau die Möglichkeit, klimawandelangepasste Kulturen wie z. B. Luzerne und Mais, in die Fruchtfolgen zu integrieren und somit die Anbaudiversität und die Bodenfruchtbarkeit maßgeblich zu fördern. Kurzfristig wird hierdurch die Nutzungselastizität der gesamten Betriebsfläche erhöht. Mittelfristig bieten die positiven Vorfruchtwirkungen Möglichkeiten, den Nährstoffbedarf für die Folgefrüchte wie auch den Krankheitsdruck und damit verbundene Pflanzenschutzmittel-aufwendungen zu reduzieren. Zudem kann ein Flächentausch zwischen Betrieben unterschiedlicher Kulturen die Nährstoffeffizienz verbessern, indem die Flächen zwischen Kulturen mit kleinem Wurzelraum (Gemüse) und Kulturen mit einem großen Wurzelraum gewechselt werden. Hierdurch ergibt sich eine höhere Flexibilität im Betriebsablauf und Extremwetterphasen können besser kompensiert werden.

Kriterium	Bewertung aus sektoraler Sicht
Aufwand	gering bis mittel
Kosten	gering
Zeithorizont für Umsetzung	kurzfristig
Wechselwirkungen mit (siehe Kapitel 2.1)	w.1, w.2, w.3, w.4

Da ein Flächentausch unter anderem zur Anbaudiversifizierung und Minderung des Betriebsmitteleinsatzes führt, können ferner positive Wechselwirkungen mit der Wasserwirtschaft in Bezug auf Wasserqualität und Wassermenge erwartet werden. Das Maß dieser Effekte ist schwer einschätzbar, wird aber unzureichend sein, um als alleinige Maßnahme die Wasserqualität zu verbessern.

2.9) Anbau von trockenstresstoleranten Sorten

Auch die Sortenwahl hat einen Einfluss auf den Wasserbedarf einer Kultur. Die Züchtung neuer Sorten, welche toleranter gegenüber Trockenstress und erhöhter Sonneneinstrahlung sowie ggf. höheren Temperaturen sind, ist von hoher Relevanz. Da die Anforderungen an eine trockenstresstolerante Sorte stark vom Zeitpunkt des Auftretens, der Dauer und der Intensität des Trockenstress abhängen, ist es sehr herausfordernd, nach geeigneten Merkmalen zu selektieren. Derlei Merkmale, welche stark abhängig von Umwelteinflüssen sind, weisen meist eine geringere Heritabilität (Erblichkeit) auf und bedeuten daher einen erhöhten Züchtungsaufwand. Die Sorten sollten sowohl unter frühem als auch spätem Trockenstress ertragsstabil sein und auch in den klimatisch guten Jahren wettbewerbsfähige Erträge liefern. Moderne Züchtungsmethoden wie die Marker-gestützte Selektion und der Einsatz von In-vitro Kulturen können den Selektionsprozess unterstützen und die Präzisionszüchtung

ermöglichen. Bei der Präzisionszüchtung wird bei der Wahl der Kreuzungspartner das Erbgut der potentiellen Partner vorher analysiert. Bei dieser Methode entstehen keine transgenen Organismen wie bei der grünen Gentechnik. In Zukunft könnten auch die Möglichkeiten des Genome-Editing berücksichtigt werden, um die Herausforderungen anzugehen. Die klassische Züchtung muss ebenfalls weiterhin eingesetzt werden, um in einem langjährigen Prozess (beispielsweise dem Evolutionsrumschen) an den Klimawandel angepasste Populationen zu schaffen.

Aufgrund der genetischen Komplexität von abiotischen Eigenschaften wie der Trockenstresstoleranz sind Erfolge ungewiss, besonders bei Kulturen, die nicht bei physiologischer Reife geerntet werden. Daher sind Investitionen in die Züchtungsforschung essentiell um die Wahrscheinlichkeit auf Erfolge zu erhöhen. Unter anderem ist es hierzu erforderlich, Genome unterschiedlicher Kulturen zu sequenzieren. Bisher ist nur von wenigen Kulturpflanzen das gesamte Genom bekannt (zuletzt Weizen und Kartoffel). Dies hängt zum einen an der Komplexität und schierem Größe dieser Genome (viele Kulturpflanzen haben ein vielfach größeres Genom als der Mensch).

Kriterium	Bewertung aus sektoraler Sicht
Aufwand	hoch
Kosten	hoch
Zeithorizont für Umsetzung	langfristig
Wechselwirkungen mit (siehe Kapitel 2.1)	w.1, w.2, w.3, w.4

Der Anbau von trockenstresstoleranten Sorten reduziert den Bewässerungsbedarf und führt somit zu positiven Wechselwirkungen mit der Wasserwirtschaft.

3) Maßnahmen Tierhaltung

Im Folgenden werden Maßnahmen der Tierhaltung zur Anpassung an den Klimawandel und deren Wechselwirkungen mit den Sektoren Wasserwirtschaft, Forstwirtschaft und Aquakultur/Binnenfischerei beschrieben. Die Liste umfasst sowohl die gewöhnlichen, bereits umgesetzten als auch die potentiellen Maßnahmen, erhebt jedoch nicht den Anspruch auf die Vollständigkeit. Während die im Folgenden genannten Maßnahmen je nach Standort notwendig für die Klimaanpassung sein können, sollten auch immer kleinere, einfache und bereits mögliche Maßnahmen umgesetzt werden.

In Bezug auf die Auswirkungen der Tierhaltung auf Wasserressourcen soll an diese Stelle erwähnt werden, dass bewirtschaftetes Grünland mit seiner gegenüber Ackerland höheren Infiltrationskapazität verstärkt zum Wasserrückhalt in der Fläche und damit zu einem naturnahen Wasserhaushalt beiträgt. Die Effekte einzelner Klimaanpassungsmaßnahmen sind in den folgenden Unterkapiteln diskutiert.

3.1) Futterreserven in der Tierhaltung

In extremen Trockenjahren kann standortabhängig die Ertragsleistung und Futterqualität drastisch abnehmen, was zu verminderten Futterreserven in der Tierhaltung führen kann. Daher ist auf eine an die sich ändernden Klimabedingungen

und deren Folgen angepasste Herdengröße, auf ausreichende Futterreserven sowie auf eine Minderung der Futterverluste – z. B. durch Optimierung von Lagerkapazitäten sowie der Methoden der Futterkonservierung – zu achten.

Die Menge der zu berücksichtigenden Futterreserven ist unter anderem abhängig von den zu erwartenden Ertragsausfällen in Extremjahren (abhängig vom Standort und Bodenbedingungen), von der Tierzahl sowie von dem Leistungsniveau der Tiere. Für die zusätzliche Lagerung von Silagen ist zusätzlicher Lagerplatz einzuplanen, rechtliche Anforderungen bei der Lagerung auf landwirtschaftlichen Flächen zu beachten (LAWA 2019).

Die Auswirkungen des Klimawandels werden sich in der Tierhaltung durch einen Mehrbedarf an Wasser zur Bewässerung von Futterpflanzen zeigen (siehe Maßnahme 2.2 „Bewässerung im Pflanzenbau“). Aufgrund von klimabedingten, ungünstigen Wachstumsbedingungen und dadurch entstehendem Wachstumsstress (verändertes Auftreten von Schädlingen/Unkräutern, Schimmelpilzbefall), kann es zu einer vermehrten Bildung antinutritiver Pflanzeninhaltsstoffe kommen. Hier wäre die weitere Sensibilisierung der Tierhalter*innen sowie ein an diese Problematik angepasstes Weidemanagement anzustreben. Mögliche Maßnahmen wären der Anbau von angepassten Pflanzenbeständen (Einsatz von speziellem Saatgut), die widerstandsfähiger gegenüber Tritt- und Klimaschäden sind.

Kriterium	Bewertung aus sektoraler Sicht
Aufwand	mittel
Kosten	mittel bis hoch
Zeithorizont für Umsetzung	kurzfristig
Wechselwirkungen mit (siehe Kapitel 2.1)	w.1, w.2, w.3, w.4

Wechselwirkungen bestehen im Zusammenhang mit der Flächenverfügbarkeit zur Herstellung von Futterreserven, der Bewässerung von Futterpflanzen zur Ertragssicherung sowie mengenmäßig wie qualitativ ausreichenden Verfügbarkeit von Tränkwasser für Nutztiere. Durch die Anbaudiversifizierung lässt sich eine höhere Nutzungselastizität der Erträge erreichen. Aufgrund verminderter Qualität und Verfügbarkeit von Futtermitteln und Tränkwasser kann es zu Leistungseinbußen und einer Verminderung der Tiergesundheit kommen.

Unter Berücksichtigung der vorhandenen Ressourcen wäre eine standortabhängige Anpassung der Tierbestände und oder Futterzukauf erforderlich.

3.2) Angepasste Haltungskonzepte

Es ist zukünftig verstärkt auf einen ausreichenden Luftaustausch und Kühlung in Stallanlagen zu achten. Steigende mittlere Jahrestemperaturen belasten den Metabolismus vieler Nutztierassen, wodurch es zu vermehrtem Hitzestress und in Folge dessen zu einer geringeren Leistung der Tiere kommen kann. Je höher die Umgebungstemperatur sowie die Mast-/Milchleistung ist, desto höher ist auch die Wasseraufnahme (Beede 1992; Meyer et al. 2002), weshalb die Installation ausreichender Tränkestellen gewährleistet sein muss. In Extremjahren kann der

Wasserverbrauch der Tiere um 10 – 15 % pro Tag im Vergleich zu „normalen Jahren“ ansteigen. Das Bereitstellen des erhöhten Bedarfs an Tränkwasser wird größtenteils über die Trinkwasserversorgung erfolgen, da die Qualitätssicherung in der Tierversorgung eine große Rolle spielt und eigene Brunnen demnach strengen Kontrollen unterliegen. Aufgrund erschwerter Genehmigungsverfahren ist davon auszugehen, dass es nicht zum vermehrten Schlagen neuer Brunnen kommen wird.

Bei langanhaltenden Wärmeperioden kann der erhöhte Kontakt zum Außenbereich die Kühlung innerhalb der Stallanlagen erschweren. Zusätzlich installierte Ventilatoren, Lüfter und Wasserzerstäuber (Berieselungssysteme) bieten bei Hitze Abkühlung. Bei Berieselungssystemen ist jedoch zu beachten, dass es im Stallinneren durch die Wasserverdunstung zu einem Anstieg der relativen Luftfeuchtigkeit kommen kann. Dadurch wiederum nimmt die Transpirationsleistung der Tiere ab. Aus diesem Grund sollte die Berieselung nur bei geringer relativer Luftfeuchtigkeit als Kühlungsmöglichkeit genutzt werden. Des Weiteren sollte vermieden werden, dass zu große Wassertropfen aus den Ventilen abgegeben werden und es zum Nachtropfen kommt. Über die Verdunstungskälte kann eine Absenkung der Temperatur von bis zu 8 Grad Celsius im Stall erreicht werden. In geschlossenen Stallsystemen ist über einen angemessenen Luftaustausch für eine ausreichende Klimatisierung zu sorgen. Zusätzlich zu den steigenden Anforderungen an das Tierwohl sind bei der Konzeption neuer Ställe erhöhte Anforderungen an das Nährstoffmanagement zu beachten, da in Folge des Klimawandels steigende Temperaturen bei offenen Stallanlagen zusätzliche gasförmige Stickstoffverluste insbesondere durch Ammoniak bedingen, wodurch die Eutrophierung von nahegelegenen Ökosystemen bzw. Oberflächengewässern begünstigt werden kann.

Für die auf der Weide gehaltenen Tiere besteht mit steigenden Temperaturen neben dem erhöhten Bedarf an Tränkwasser auch der Bedarf an ausreichend großen Schattenplätzen (Überdachung, Baumreihen, ggf. Agro-Forst, Knicks/Wallhecken) auf den Flächen. Zukünftig können Agri- und Freiflächenphotovoltaik beim Witterungsschutz bzw. beim Auffangen von Regenwasser (siehe Maßnahme 1.6 „Stärkung des Grundwasserschutzes“) eine Rolle spielen. Zusätzlich sollte auf eine Anpassung der Länge der Triebwege sowie der Auf- und Abtriebstermine und -zeiten hinsichtlich der Temperaturen geachtet werden. Im Zuge des Klimawandels bedarf es eines angepassten und flexiblen Weidemanagements. Hier können digitale Tools die Planung der Managementmaßnahmen auf dem Betrieb deutlich erleichtern.

Neben extremer Hitze können die Zunahmen von Starkregenereignissen zusätzliche Anforderungen an die Haltungsverfahren mit sich bringen. Durch das Aufweichen und Verschlammen von beispielsweise Triebwegen erhöht sich die Gefahr von Nährstoffausträgen in Grund- und Oberflächengewässer. Diese Gefahr kann durch wechselnde Triebwege verringert werden. Bei befestigten Außenauslaufflächen sind erhöhte Abflussraten zu berücksichtigen. Ein ausreichender Abfluss mit entsprechend dimensionierten Lagerbehältern sind für die nicht überdachten Außenbereiche von Stallanlagen zu berücksichtigen. Bei nassen Bodenverhältnissen besteht bei den oben genannten Unterständen (Schutzzone), aber auch bei Tränkestellen, eine erhöhte Gefahr von Nährstoffausträgen. Besonders häufig besuchte Plätze sind ggf. zu befestigen oder innerhalb der Fläche in regelmäßigen Zeitabständen zu verlagern.

Kriterium	Bewertung aus sektoraler Sicht
Aufwand	hoch
Kosten	hoch
Zeithorizont für Umsetzung	mittelfristig
Wechselwirkungen mit (siehe Kapitel 2.1)	w.1, w.2, w.3, w.4, a.4

Tierwohl- und klimaangepasste Stall- bzw. Haltungskonzepte beeinflussen die gasförmigen Stickstoffverluste in die Umwelt und damit die Dispositionen in zum Beispiel Oberflächengewässer, was die Qualität der Oberflächengewässer sowie aquatische Biotope und freilebende aquatische Fauna beeinträchtigen kann.

3.3) Vorbeugung von Krankheiten und Seuchen

Kranke Tiere ziehen immer Einbußen mit sich, angefangen bei der Leistung der Tiere aufgrund verminderter Mast-/Milch-/Legeleistung, hin zu Einbußen für den Tierhalter bzw. die Tierhalterin (Tierarztkosten, vermehrte Arbeitszeit aufgrund der Versorgung kranker Tiere u. v. m.). Das Vorbeugen von Tierkrankheiten und –seuchen mittels geeigneter Maßnahmen (z. B. bedarfsgerechte Fütterung, optimierte Haltungsbedingungen, Einhaltung von Biosicherheitsmaßnahmen) trägt maßgeblich zum Tierschutz bei.

Geringe Niederschlagsmengen und eine niedrige relative Luftfeuchtigkeit im Stall führen zu einer vermehrten erregerehaltigen Staubbildung. Trockene Luft beeinflusst das Windaufkommen im und außerhalb des Stalls, wodurch Staub schneller verbreitet wird. Hohe Niederschlagsmengen und bzw. oder hohe relative Luftfeuchte können hingegen zu einem erhöhten Erregerdruck führen. Daher ist bei der Prävention von Tierkrankheiten und –seuchen auf ein optimales Stallklima zu achten. Ebenso könnten Windfangvorrichtungen (z. B. bei Außenklimaställen) sowie die Ausrichtung von Stallgebäuden dazu beitragen, das Krankheitsrisiko zu reduzieren.

Infolge der Wiedervernässung und Renaturierung von Mooren (siehe Maßnahme 1.4 „Wiedervernässung organischer Böden“) ist mit einer Zunahme des Parasitendruckes (insbes. blutsaugende Insekten) zu rechnen. Dies kann sich negativ auf die Tiergesundheit auswirken bzw. einen zusätzlichen Arzneimitteleinsatz erfordern und auch die Übertragung von Zoonosen begünstigen..

Zur Vorbeugung von Krankheiten ist unterstützend eine stetige, züchterische Verbesserung von Gesundheit und Robustheit anzustreben. Ein möglicher Merkmalsantagonismus zwischen Leistung und Gesundheit muss hierbei jedoch berücksichtigt werden.

Kriterium	Bewertung aus sektoraler Sicht
Aufwand	mittel
Kosten	hoch
Zeithorizont für Umsetzung	mittelfristig
Wechselwirkungen (siehe Kapitel 2.1)	w.3, w.4, a.3, a.4

Die an die Tiere verabreichten Arzneimittel werden verstoffwechselt oder z. T. wieder ausgeschieden und bei den Weidetieren direkt und bei der Stallhaltung indirekt durch Ausbringung der Gülle in die Umwelt eingetragen. Dadurch kann die Qualität des Grundwassers und Oberflächenwassers beeinträchtigt werden.

Das Umweltbundesamt empfiehlt Grenzwerte für Tierarzneimittel in Grundwasser zu etablieren, analog zum Grenzwert für Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffe (0,1 µg/l) (UBA 2014).

4) Maßnahmen Forstwirtschaft

Wälder bedecken etwa ein Drittel der Fläche von Deutschland. Sie regulieren den Wasserhaushalt, sichern die Trinkwasserversorgung, kühlen die Landschaft, schützen vor Erosion und Lawinen, reinigen die Luft, sind Senken für Kohlenstoff, tragen zum Erhalt der Biodiversität bei und liefern nachwachsende Rohstoffe. Zudem dienen Wälder der Erholung. Das gehäufte Auftreten langanhaltender trockener und sehr warmer Witterungsverläufe mit geringem bzw. sehr wenigem Niederschlag verringert die Vitalität unserer Wälder, erhöht das Risiko von Kalamitäten und beeinträchtigt Funktionen sowie Leistungen der Wälder im Naturhaushalt. Waldbauliche Maßnahmen zur Anpassung der Wälder an die Auswirkungen des Klimawandels sollten daher darauf abzielen, die Vitalität, Stabilität und Vielfalt von Waldbeständen zu fördern. Bei der Planung und Implementierung solcher Anpassungsmaßnahmen ist aber unbedingt das Zusammenspiel von Klima, Topographie, Boden und Bestand an den jeweiligen Standorten unter gegenwärtigen und prognostizierten Bedingungen zu beachten. Nachfolgend werden die Handlungsoptionen der Forstwirtschaft zur Anpassung an den Klimawandel und deren Wechselwirkungen mit den Sektoren Wasserwirtschaft, Landwirtschaft und Aquakultur/Binnenfischerei beschrieben.

4.1) Waldumbau

Nicht standortgerechte Wälder, insbesondere Nadelbaumreinbestände sind durch die Auswirkungen von Klimaveränderungen besonders gefährdet. Der Waldumbau, d. h. die aktive Entwicklung von strukturierten Laub- und Mischwäldern und die Berücksichtigung natürlicher Anpassungspotenziale von Baumarten und Waldgesellschaften erhöhen die Resilienz von Wäldern. Dabei sind auch die Potenziale nicht standortsheimischer Baumarten sowie solche Waldgesellschaften und Waldbausysteme zu berücksichtigen, die heute in entfernten Standortsregionen Klimaverhältnisse aufweisen, auf welche sich laut Szenarien unsere Standorte klimatisch hin entwickeln. Generell können Mischwälder aufgrund von Baumarten- und Strukturvielfalt Störungen leichter ausgleichen und sind gegenüber abiotischen und biotischen Störungen auch weniger anfällig (Ruhm 2017). Zudem wird durch die Umwandlung von Nadel- in Mischwälder die Interzeption im Kronenraum verringert. Die abnehmende Interzeption geht einher mit einer verstärkten Infiltration von Regenwasser in den Waldboden. Dadurch erhöhen sich die pflanzenverfügbaren Bodenwasservorräte. Daraus resultiert eine verbesserte Wasserversorgung der Bestände. Die Wasserversorgung der Bestände wird außerdem durch die mit dem Waldumbau induzierte Zunahme der bodenbiologischen Aktivitäten verbessert. Die dadurch ausgelösten Ab- und Umbauprozesse der organischen Auflage führen zu einer die Infiltration und Wasserspeicherung begünstigenden Bodenstruktur (von

Wilpert et al. 2020). Gleichwohl ist zur Versorgung der Volkswirtschaft mit dem nachwachsenden Rohstoff Holz ein Mindestanteil an Nadelholz in den Mischwäldern zu erhalten.

Kriterium	Bewertung aus sektoraler Sicht
Aufwand	hoch, auch auf Versorgung mit geeignetem forstlichen Vermehrungsgut achten
Kosten	hoch
Zeithorizont für Umsetzung	langfristig abzusichernder Prozess, Daueraufgabe
Wechselwirkungen mit (siehe Kapitel 2.1)	w.1, w.3

Der oben umrissene Waldumbau erhöht nicht nur die Resilienz der Bestände, sondern wirkt sich durch Minderung der Interzeption von Niederschlagswasser im Kronenraum und den verbesserten Infiltrationseigenschaften der Böden sowie geringeren Schadens- oder gar Kahlfächenauswirkungen positiv auf den Landschaftswasserhaushalt aus.

4.2) Durchforstung

Durchforstungen haben generell das Potenzial, die Bodenwasserverfügbarkeit für den bleibenden Baumbestand zu erhöhen, da durch Baumentnahmen die Bestockungsdichte verringert und damit die Konkurrenz der Bäume um Bodenwasser gemindert wird. Gezielte Baumentnahmen erhöhen zudem die Einzelbaumstabilität und -vitalität und dadurch die Resilienz gegenüber Störungen (Ruhm 2017). Ein weiterer positiver Effekt von Durchforstungen ist die damit verbundene Auflichtung, welche die Naturverjüngung befördern kann. Spezielle Lichtdurchforstungen sind am geeignetsten in Beständen, bei denen im Unterwuchs bereits Jungwuchs im Dickungsstadium vorhanden ist oder in dichten Nadelholzbeständen mit kahlen Böden (Reusser 2013). Auflichtungen bei Beständen mit Krautvegetation und v. a. verdämmenden Grasdecken können dagegen nachteilig für den pflanzenverfügbaren Bodenwasservorrat sein, da die zusätzlich auf den Boden einwirkende Licht- und Wärmemenge das Wachstum der Krautschicht stimuliert. Überhöhte, jagdlich nicht ausreichend regulierte Bestände an verbeißendem und schälendem Schalenwild befördern diesen nachteiligen Prozess. In solchen Fällen konkurrieren die Krautschicht und Grasdecken verstärkt mit dem Jungwuchs um Wasser, wodurch der Gesamtwasserverbrauch pro Flächeneinheit ansteigt. Außerdem können zu starke Auflichtungen von Laubwäldern insbesondere in Hitzeperioden ohne Niederschlag die ehemals kühlende Wirkung dieser Bestände in der Landschaft erheblich mindern (Thom et al. 2020). Obendrein können solch stark durchforstete Wälder durch die Freistellung der Bäume und dem dadurch verstärkten Wachstum in Jahren mit normalen Niederschlagsaufkommen trockengefährdeter sein, da diese Bäume aufgrund der dann größeren Krone mehr Wasser benötigen (Mausolf et al. 2018). Grasdecken erhöhen zudem Interzeptionsverluste.

Kriterium	Bewertung aus sektoraler Sicht
Aufwand	gering (Grundlage von Forstwirtschaft)

Kriterium	Bewertung aus sektoraler Sicht
Kosten	sehr gering (Deckungsbeitrag durch Holzvermarktung)
Zeithorizont für Umsetzung	permanent (kurz-, mittel- und langfristig)
Wechselwirkungen mit (siehe Kapitel 2.1)	w.1

Durchforstungen können kurz- bis mittelfristig zur Verbesserung der Tiefenversickerung und damit zur Erhöhung der Grundwasserneubildung beitragen.

4.3) Management von Humusauflagen und Totholz

Abgestorbene Biomasse, das heißt Totholz, Streuauflagen und Humus erfüllen wichtige ökosystemare Funktionen und sind deshalb essenzielle Bestandteile von Wäldern. Der Waldboden bis in 90 cm Tiefe inklusive der Humusschicht enthält mit 119 Tonnen Kohlenstoff je Hektar mehr als die Hälfte des im gesamten Wald gespeicherten Kohlenstoffs (BMEL 2018). Im oberen Mineralboden nimmt der Kohlenstoffvorrat in Deutschlands Wäldern jährlich um 0,4 Tonnen Kohlenstoff je Hektar zu (BMEL 2018). Nur etwa ein Prozent des gesamten, gespeicherten Kohlenstoffvorrates entfällt auf Totholz. Die Erhöhung des Totholzanteils unterschiedlicher Baumarten, Stärkeklassen und Zersetzungsstufen ist ein sehr wesentlicher Faktor für die Erhöhung der Biodiversität in Wäldern, da viele spezialisierte Insekten- und Pilzarten auf Totholz unterschiedlicher Qualität und in ausreichender Menge angewiesen sind (Vogel et al. 2020). Humusanreicherung in Mineralböden ist mit einer Erhöhung der Wasserspeicherfähigkeit von Waldböden verbunden (Renger et al. 2009). Unter gleichen Klimabedingungen erhöhen humusreichere Böden daher die Resilienz von Wäldern, da sie gegenüber humusärmeren Böden in Trockenphasen länger Wasser bereitstellen können. Humusauflagen können durch ihr hohes Porenvolumen im Vergleich zum Mineralboden deutlich mehr Regenwasser speichern. Trocknen diese aber im Sommer aus, ist insbesondere unter Nadelwald die Humusauflage extrem benetzungsgehemmt. In solchen Fällen wird der in sommerlichen Starkregenereignissen durchtropfende Bestandesniederschlag nicht in der Humusauflage gespeichert, sondern durch präferenzielle Fließvorgänge in den Ober- und Unterboden verfrachtet (Wessolek et al. 2007). In diesem Zusammenhang ist zu erwähnen, dass ausgetrocknete Humusauflagen die Verdunstung des im Mineralboden gespeicherten Bodenwassers stark einschränken, da die grobporigen Humusauflagen wie kapillare Sperrschichten wirken (Heinkele et al. 2020). Unter humiden Bedingungen werden durch die Humusauflage bis zu 18 Prozent des jährlichen Gesamtniederschlages wieder verdunstet, was zu höherer Luftfeuchte und Kühlungseffekten in Bodennähe beiträgt (Floriantic et al. 2022). In hängigem Gelände kann aber bei sommerlichen Starkregenereignissen die Benetzungshemmung (insbesondere bei Fichten- und Kiefernbeständen) der Humusauflage die Entstehung von Oberflächenabfluss begünstigen und somit zu Sturzfluten beitragen. Der Beitrag des Totholzes zum Wasserhaushalt beschränkt sich auf eine im Vergleich zum Boden wesentlich geringere Speicherleistung. Das Holz frisch abgestorbener Bäume, insbesondere in Nadelbaumforsten trocknet ohne Bodenkontakt (stehendes Totholz) von anfangs 60 Prozent Holzfeuchte und mehr auf unter 20 Prozent Holzfeuchte ab.

Im liegenden Totholz ähnelt die Bodenfeuchtedynamik der des oberen Mineralbodens (Green et al. 2022). Liegendes Totholz sorgt deshalb zusammen mit den Schattwirkungen für mikroklimatische Variabilität und trägt damit zur Vielfalt von Mikrohabitaten als Voraussetzung für Biodiversität bei. Unter den Bedingungen des Klimawandels sorgen zunehmende Trockenperioden jedoch für starke Veränderungen. Längere Trockenperioden führen dazu, dass auch Humusaufgaben und Totholz stärker und länger austrocknen und wichtige der oben genannten Funktionen nur noch eingeschränkt wirken oder zeitweise verloren gehen. Unter diesen Bedingungen verwandeln sich Humus- und Streuaufgaben in leicht entzündbares Material mit hoher Brandlast auch in Gebieten, die bisher nur in die niedrigste Waldbrandgefahrenklasse C eingeordnet waren (Plothe 2023). Dies betrifft insbesondere auch Fichtenwälder außerhalb ihres natürlichen Verbreitungsgebietes, z. B. in den unteren Berglagen und im Hügelland. Die durch Stürme und Borkenkäferkalamitäten geschwächten oder abgestorbenen Bestände enthalten mächtige Streuaufgaben und je nach Behandlung auch große Mengen Feinreisig und Äste bis hin zu stärkeren Dimensionen und Mengen von Totholz, dessen Zersetzung bei Austrocknung sehr stark verlangsamt ist (Kipping et al. 2022). Daher ist es wichtig, für Wälder mit steigenden Zündrisiken und Brandlasten Strategien zur Waldbrandprävention zu entwickeln und umzusetzen, einschließlich der Evaluierung der korrekten Einstufung in Waldbrandgefahrenklassen. Da Waldbrände fast ausschließlich durch Unachtsamkeit, Fahrlässigkeit oder gar Vorsatz von Menschen ausgelöst werden (Müller 2019) besteht die wichtigste Maßnahme jedoch darin, im Wald tätige Menschen und Erholungssuchende für die erhöhte Waldbrandgefährdung zu sensibilisieren. Das betrifft die Durchsetzung des bestehenden Rauch- und Feuerverbot im Wald als auch den vorausschauenden Umgang mit heiß laufenden Fahrzeugteilen und Maschinen. Waldbauliche Maßnahmen zur Waldbrandprävention werden weiter unten vorgestellt.

Kriterium	Bewertung aus sektoraler Sicht
Aufwand	gering (Aufklärungskampagnen)
Kosten	gering
Zeithorizont für Umsetzung	mittelfristig
Wechselwirkungen mit (siehe Kapitel 2.1)	keine

4.4) Management von Waldböden

Das Management von Land und Böden bestimmt u. a., inwieweit Wasser in den Boden infiltriert und im Boden gespeichert wird. Bei der Befahrung im Wald mit schwerer Forsttechnik ist durch konsequente Anwendung der Befahrungsrichtlinien in allen Waldeigentumsformen (z. B. 40 Meter Rückegassenabstand, witterungs- und bodenfeuchteabhängige Befahrung, Verwendung bodenschonender Technik) und vor allem in den Hochwasserentstehungsgebieten eine Oberbodenverdichtung zu vermeiden; in den ‚Hotspots‘ dieser Gebiete ist die Nutzung alternativer Holzernte- und Rücketechnologien zu prüfen und gegebenenfalls einzusetzen. Bodenstrukturverbesserung erhöht die Durchlässigkeit und das Speichervermögen der Waldböden. Beispielsweise fördert die Kalkung versauerter Waldstandorte oder – wie bereits weiter oben erwähnt – die Umwandlung von Nadel- in Mischbestände die

bodenbiologischen Aktivitäten und damit eine die Infiltration und Wasserspeicherung begünstigende Bodenstruktur (von Wilpert et al. 2020).

Kriterium	Bewertung aus sektoraler Sicht
Aufwand	mittel bis sehr hoch (Kalkung)
Kosten	mittel bis sehr hoch
Zeithorizont für Umsetzung	mittelfristig
Wechselwirkungen mit (siehe Kapitel 2.1)	w.1, w.3

Standortangepasstes Bodenmanagement kann zu einer Verbesserung der Tiefenversickerung und damit zur Erhöhung der Grundwasserneubildung beitragen.

4.5) Verbesserung der Wasserretention von Wäldern

Die klimawandelbedingte Zunahme von Extremwetterereignissen wird die Wahrscheinlichkeit von lokal begrenzten Starkregenereignissen mit voraussichtlich ansteigender Dauer und Intensität erhöhen. Dies vergrößert die Gefahr von Hochwasser und Überflutungen. Daher sollte das Waldmanagement in Hochwasserentstehungsgebieten darauf abzielen, den Wasserrückhalt und Erosionsschutz zu erhöhen, den Abfluss zu verzögern, sowie das Risiko von Erdrutschen, Muren und Verklausungen zu minimieren (Schüler et al. 2007; Schwitter und Bucher 2009). Es gilt, lokal bzw. regional entsprechende Konzepte zur Verbesserung der Wasserretention auf forstwirtschaftlichen Flächen zu erarbeiten und die Umsetzung der erforderlichen Maßnahmen zu unterstützen. Dabei ist verstärkt darauf zu achten, welche hydrologischen Wirkungen waldbauliche Maßnahmen in Hochwasserentstehungsgebieten haben können. Um erfolgreich waldbauliche Maßnahmen zum Hochwasserschutz zu implementieren, müssen die Abflussprozesse am Planungsort bekannt sein (Schüler et al. 2007). Durch die Verschneidung von digitalen Informationen zur Forstlichen Standortkartierung (Bodenwasserhaushaltsverhältnisse, Bodenart, Bodenform) und zur Geomorphologie können Flächen der Hochwasserentstehung identifiziert werden (z. B. Kalamitätsflächen nach Borkenkäferbefall oder nach Sturmereignissen). Auf dieser Grundlage lassen sich örtlich gezielte Empfehlungen zur Minderung von Hochwasserentstehung entwickeln, wie z. B. Belassen der verbliebenen Gehölzvegetation sowie von Ast- und Reisigmaterial und zügige Wiederbewaldung mit dem Ziel, den Oberflächenabfluss in hängigem Gelände zu vermindern und verzögern (Schüler et al. 2007). Schutzwaldpflege in Hochwasserentstehungsgebieten sind Maßnahmen zur Gefahrenprävention. Hierzu zählen beispielsweise Vorkulturbau mit Mischbaumarten bei fehlender adäquater Naturverjüngung, Holzeinschlag zur Förderung der Verjüngung oder zur Stabilisierung der Bestände, Jungwaldpflege, Erosionsschutz entlang von Gerinnen durch die Etablierung von Vegetation oder die Reduktion von Schwemmholz in Gewässernähe. Abflussspitzen in bewaldeten Einzugsgebieten sind eng verbunden mit der für die Waldbewirtschaftung benötigten Infrastruktur: Diese beinhaltet das Waldwegenetz mit den begleitenden Seitengräben, Rückegassen und eventuell vorhandene Entwässerungs- und Grabensysteme (Schüler et al. 2007). Wegeinventuren in Hochwasserentstehungsgebieten sind somit ein grundlegendes Element für die Planung von Hochwasserminderungsmaßnahmen.

Maßnahmen beim Wegebau sind beispielsweise die Überschirmung von Gräben oder die Etablierung von Wegprofilen, die eine breitflächige Entwässerung in den angrenzenden Wald ermöglichen (Schüler et al. 2007).

Kriterium	Bewertung aus sektoraler Sicht
Aufwand	hoch
Kosten	hoch
Zeithorizont für Umsetzung	mittelfristig
Wechselwirkungen mit (siehe Kapitel 2.1)	w.1, w.2, w.3, w.4

Maßnahmen zur Erhöhung der Wasserretention von Wäldern wirken sich prinzipiell positiv auf den Landschaftswasserhaushalt aus. Einerseits werden Abflussspitzen gedämpft und etwaiger Oberflächenabfluss minimiert, andererseits erhöht sich die Vitalität der Waldbestände, die Grundwasserneubildung und die Qualität des Oberflächenwassers.

4.6) Maßnahmen zur Waldbrandbekämpfung

Mit dem gehäuftem Auftreten langanhaltender Trocken- und Hitzeperioden nimmt das Risiko von Waldbränden zu. Deshalb müssen insbesondere in brandgefährdeten Gebieten Präventivmaßnahmen verstärkt werden. Zu unterscheiden sind kurzfristig umsetzbare technische Maßnahmen (z. B. Wundstreifen oder Pufferzonen) von langfristig wirkenden waldbaulichen Maßnahmen. Waldbauliche Maßnahmen zur Waldbrandbekämpfung zielen darauf ab, die Vegetation in Art, Menge, Struktur und damit in ihrer Verfügbarkeit als Brennmaterial zu beeinflussen. Durch Baumartenwahl, Bestandesstruktur und Erhöhung der Wasserspeicherkapazität der Böden soll durch waldbauliche Maßnahmen das Brandrisiko auf großen Flächen gesenkt werden. Nadelreinbestände, insbesondere Kiefernwälder brennen leichter als Laubbäume. Deshalb sollte der Laubholzanteil in Waldbrandrisikogebieten wenigstens ein Drittel betragen (Plothe 2023), sofern dies standörtlich möglich ist. Zudem sollten in Schutzstreifen und Waldbrandschutzriegeln „Leitereffekte“ durch Astung von Nadelbäumen vermieden werden. Birkenwälder gelten aufgrund der Lichtdurchlässigkeit und damit Ausbildung leicht brennbarer Bodenvegetation jedoch ebenfalls als Risiko. Die Entstehung und Ausbreitung von Waldbränden kann durch schnell umsetzbare Wund- und Schutzstreifensysteme sowie Waldbrandriegel gemindert werden (Bentele et al. 2023). Wund- und Schutzstreifensysteme werden zum Verhindern oder Aufhalten von Bodenfeuern an identifizierbaren Objekten (z. B. Straßen, Bahnlinien, Campingplätze, Truppenübungsplätze) konzipiert und unterhalten. Außerdem können diese Strukturen direkt zur Brandbekämpfung genutzt werden, beispielsweise für die Entfaltung der Feuerwehren oder für die Ablage von autonomen Bekämpfungseinrichtungen, wie Sprinkleranlagen (Bentele et al. 2023). Waldbrandriegel dienen dazu, anlaufende Vollfeuer in Bodenfeuer zu wandeln, sodass diese dann durch Wundstreifensysteme angehalten und grundsätzlich oder effektiver bekämpft werden können (Bentele et al. 2023). Wasser ist nach wie vor das Hauptlöschmittel bei Waldbränden. Daher sind in brandgefährdeten Gebieten Wasserentnahmemöglichkeiten zu kartieren und auszubauen. Dazu zählen die Anlage und Unterhalt von Löschteichen, Zisternen, Tiefbrunnen, Flachspiegelbrunnen,

Anschlüsse an Fernwasserleitungen als Löschwasserentnahmestelle im Wald bzw. in Waldnähe oder die Einrichtung von Entnahmestellen an größeren Fließgewässern. Zur Prävention gehören neben einem Waldwegebau, der im Brandfall von der Feuerwehr genutzt werden kann, auch die Ausweisung schützenswerter Areale und von Gefahrenorten (z. B. munitionsbelasteter Flächen) sowie regelmäßige gemeinsame Waldbegehungen (Brandverhütungsschauen) von Waldbesitzer*innen/ Förster*innen mit der ortsansässigen Feuerwehr zur Verbesserung der Ortskenntnis bei der etwaigen Waldbrandbekämpfung. Zudem ist anzustreben, dass die Bundesländer und Kommunen gemeinsam Löschflugzeuge und -hubschrauber anschaffen, die zentral stationiert werden und von nicht gewinnorientierten Organisationen oder Zweckverbänden betrieben und einsatzbereit gehalten werden sollten.

Kriterium	Bewertung aus sektoraler Sicht
Aufwand	mittel bis hoch
Kosten	mittel bis hoch
Zeithorizont für Umsetzung	mittelfristig
Wechselwirkungen mit (siehe Kapitel 2.1)	w.1, w.2

Zur Waldbrandbekämpfung müssen durch die Wasserwirtschaft Infrastrukturen zur Wasserbereitstellung und Wasserentnahme bereitgestellt werden.

4.7) Renaturierung von Waldmooren

Moore nehmen im Stoffhaushalt der Natur eine Sonderstellung ein. Diese leitet sich aus der ständigen Akkumulation von organischem Material im wachsenden Moor ab (Kuntze 1993). Die laufende Ansammlung von abgestorbenem Pflanzenmaterial ist an einen fortwährenden Anstieg des Grundwasserspiegels gebunden. Infolge des Sauerstoffmangels werden die mikrobiellen Umsetzungsprozesse der am Standort gebildeten Biomasse weitgehend unterbunden. Stickstoff und Kohlenstoff reichern sich an und werden dem Stoffkreislauf entzogen. Moore stellen somit bedeutende Nährstoffsinken dar. Natürliche Moorökosysteme besitzen aufgrund ihrer Nährstoffakkumulierung und Wasserspeicherung ausgeprägte Regelungsfunktionen im Landschaftshaushalt. Sie fungieren als Lebensraum für eine spezialisierte Flora sowie Fauna und zeichnen sich durch eine große biologische Vielfalt aus (Schwärzel 2000). Deshalb stellt die Wiedervernässung von Waldmooren eine effektive Maßnahme zum Schutz des Klimas, der Biodiversität und zum Wasserrückhalt in der Landschaft dar. Es ist jedoch sicherzustellen, dass Moorschutzmaßnahmen und Wiedervernässung drainierter Waldmoore tatsächlich zu günstigeren Zuständen führen und sich nicht dauerhaft negativ auf die Trinkwasserqualität auswirken. Beispielsweise können Revitalisierungsmaßnahmen von Mooren – das sind Auflichtungen von Wäldern, Anhebung des Grundwasserspiegels und damit verbundene Erdbewegungen durch Baumaßnahmen – zur Mobilisierung von Nährstoffen und organischen Verbindungen führen. Die mögliche Erhöhung des Eintrags von gelöstem organischem Kohlenstoff oder Nitrat und Phosphat in Vorflut kann die Wasserqualität beeinträchtigen. Mittel- bis langfristig tragen Wiedervernässungsmaßnahmen jedoch überwiegend zu einer Stabilisierung des Wasser- und Stoffhaushalts sowie zum Klimaschutz bei. Die hydrologischen und

ökologischen Folgen der Wiedervernässung von Waldmooren müssen vor Beginn von Wiedervernässungsmaßnahmen standortsdifferenziert abgeschätzt und in den Planungsprozess einbezogen werden.

Kriterium	Bewertung aus sektoraler Sicht
Aufwand	hoch
Kosten	hoch
Zeithorizont für Umsetzung	mittel- bis langfristig
Wechselwirkungen mit (siehe Kapitel 2.1)	w.1, w.2, w.3, w.4.

Maßnahmen zur Renaturierung von Waldmooren tragen insbesondere zur Erhöhung der Wasserretention von Wäldern sowie bei An- und Niedermoorböden zu einer höheren Vitalität und damit zu verminderten schadbedingten Aufflichtungen bei.

4.8) Bewässerung von Forstkulturen

In der Forstwirtschaft wird im Rahmen des Waldumbaus oder der Waldverjüngung aus vielen Gründen (u.a. Vorhandensein geeigneter, klimaresilienter Samenbäume, bessere Wurzelentwicklung, Kosten, Arbeitsaufwand, Waldökologie) auch auf Naturverjüngung gesetzt. Ist jedoch keine oder keine geeignete Naturverjüngung vorhanden, sind Pflanz- oder Saatmaßnahmen erforderlich, um Wälder umzubauen oder Schadflächen wiederaufzuforsten. In den ersten Jahren sind diese Forstkulturen besonders empfindlich gegenüber Hitze und Trockenheit. Bei Ausfällen droht nicht nur ein wirtschaftlicher Verlust, sondern auch eine längere Dauer der ungünstigen aufgerissenen Bestandssituation, die die Ausbreitung von langfristig hemmender Konkurrenzvegetation begünstigt. Insbesondere im (Klein-)Privatwald, wo die aufgewendete eigene Arbeitszeit oft nicht betriebswirtschaftlich kalkuliert wird, nimmt daher die Bewässerung von Anpflanzungen in Trockenphasen zu. Haupteinschränkungen bei der Bewässerung von Forstkulturen sind Wasserverfügbarkeit und die je nach Intensität der Bewässerung benötigte Bewässerungsinfrastruktur. Bevor es zur Bewässerung von Forstkulturen kommt, sollen im Vorfeld alle Maßnahmen getroffen werden, um den Wasserverbrauch zu reduzieren (LWF 2021). Diese Maßnahmen umfassen u. a. die Optimierung der Qualität der Pflanzung, die Verwendung standortgerechter und klimatoleranter Baumarten, die Pflanzung der Forstkulturen im Herbst statt im Frühjahr, die Optimierung der Logistik (z. B. Kühlung und Lagerung) usw. (ibid.). Bei erfolgreicher Maßnahmenkombination kann die Bewässerung von Forstkulturen auf ein- bis zwei Anwendungen pro Einzelpflanze im Pflanzjahr beschränkt werden. Die Bewässerung von Forstkulturen zur Kompensation des täglichen Verdunstungsanspruchs von Waldbeständen in Trockenperioden oder bei Wiederbewaldungen nach Kalamitäten ist aufgrund der hohen benötigten Wassermengen jedoch kaum vorstellbar und nicht zu empfehlen.

Kriterium	Bewertung aus sektoraler Sicht
Aufwand	mittel
Kosten	gering

Kriterium	Bewertung aus sektoraler Sicht
Zeithorizont für Umsetzung	kurzfristig
Wechselwirkungen mit (siehe Kapitel 2.1)	w.1, w.2

Ähnlich zur Maßnahme 2.2 „Bewässerung im Pflanzenbau“ kann Bewässerung von Forstkulturen – je nach Quelle des Bewässerungswassers – zu Zielkonflikten mit der Wasserwirtschaft in Bezug auf Grundwasser- und Oberflächenwassermengen führen.

5) Maßnahmen Aquakultur und Fischerei in Binnengewässern

Im Folgenden werden Maßnahmen der Aquakultur und Fischerei in Binnengewässern zur Anpassung an den Klimawandel und deren Wechselwirkungen mit den Sektoren Wasserwirtschaft, Landwirtschaft und Forstwirtschaft beschrieben. Die Liste umfasst sowohl die gewöhnlichen bereits umgesetzten als auch die potenziellen Maßnahmen, erhebt jedoch nicht den Anspruch auf die Vollständigkeit. Während die im Folgenden genannten Maßnahmen je nach Standort notwendig für die Klimaanpassung sein können, sollten auch immer kleinere, einfache und bereits mögliche Maßnahmen umgesetzt werden.

5.1) Herstellung standortangepasster Fischbestände

In Folge steigender Temperaturen und zunehmender Extremwetterlagen werden sich voraussichtlich besonders anpassungsfähige und wärmeliebende Fischarten stärker ausbreiten. Diese Tendenz erfordert die Entwicklung innovativer und an eine zukünftige Fischfauna angepasster Hegemaßnahmen. Die direkten und indirekten Hegemaßnahmen umfassen z. B. angepasste fischereiliche Nutzung bestimmter Arten, Schutz und Wiederherstellung von Laicharealen und Aufwuchsgebieten, sowie Besatzmaßnahmen für gefährdete und fischereilich genutzte Arten (Kompensation, Bestandsrestaurierung, Ertragssteigerung).

Kriterium	Bewertung aus sektoraler Sicht
Aufwand	hoch
Kosten	hoch
Zeithorizont für Umsetzung	mittelfristig
Wechselwirkungen mit (siehe Kapitel 2.1)	w.2, l.1, l.5

Die Maßnahme erfordert ggf. die hinreichende Durchgängigkeit der Fließgewässer sowie das Beibehalten bzw. die Wiederherstellung der Überschwemmungsgebiete. Es können Interessenkonflikte mit der Landwirtschaft infolge der erforderlichen Umstellung bzw. Einschränkung der Landnutzung entlang der Gewässern (Anlegen der Gewässerrandstreifen, Dünger- und Pflanzenschutzausbringung) entstehen.

5.2) Erhalt und Aufbau regional und klimaadaptierter sowie leistungsfähiger Laichfischbestände in der Aquakultur

Die Maßnahme sieht die Optimierung der Klimaanpassung etablierter Arten durch ein Zuchtprogramm vor, insbesondere für die Regenbogenforelle und andere Salmoniden;

entsprechende Aktivitäten in der marinen Aquakultur wie die Auswahl „neuer“ mariner Arten (z. B. Dicklippige Meeräsche, Wolfsbarsch).

Kriterium	Bewertung aus sektoraler Sicht
Aufwand	mittel
Kosten	mittel
Zeithorizont für Umsetzung	kurz- bis mittelfristig
Wechselwirkungen mit (siehe Kapitel 2.1)	keine

5.3) Optimierung des Wasserrückhalts und -managements in Teichgebieten, z. B. durch Teichverbundsysteme, Teich-Sömmerung, mehrjährigen Umtrieb usw.

Langanhaltende Dürreperioden und Temperaturextreme haben die fischereiliche Bewirtschaftung in vielen Teichgebieten in den letzten Jahren zum Teil stark eingeschränkt. Die Karpfenteichbewirtschafter*innen werden sich an die klimatischen Gegebenheiten anpassen und die traditionelle Bewirtschaftungsweise zumindest in Teilen ändern müssen, da das verfügbare Wasser zumindest regional und temporär nicht zum Ablassen (für die Fischentnahme) und die Wiederauffüllung (Bespannung) der Teiche reichen wird. Zukünftig wird das Management von Teichkettensystemen, in welchen das abgelassene Wasser für die Wiederauffüllung der tiefer liegenden Teiche genutzt wird, eine noch größere Rolle als bisher spielen.

Auch durch mehrjährigen Umtrieb, wobei Fische für zwei bis drei Jahre im Teich heranwachsen, ohne dass dieser abgelassen wird, kann Wasser in den Teichgebieten gehalten werden. Die Sömmerung von Teichen stellt eine weitere Möglichkeit dar, auf Wassermangelsituationen zu reagieren, indem man Teiche für ein oder mehrere Jahre aus der fischereilichen Nutzung nimmt, trockenfallen lässt und für alternative Bewirtschaftungsmethoden (Anbau Feldfrüchte, Blühwiesen, usw.) nutzt. Hierfür gibt es ein laufendes Projekt im Sächsischen Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (<https://www.landwirtschaft.sachsen.de/soemmerung-von-karpfenteichen-47626.html>), in welchem die Möglichkeiten zur Sömmerung von Karpfenteichen unter Berücksichtigung förderrechtlicher und naturschutzfachlicher Aspekte erprobt werden.

Bei der Teichbewirtschaftung in Kaskadensystemen wird das abgelassene Wasser der oberliegenden Teiche zur Befüllung der darunterliegenden genutzt. Prinzipiell wäre hier auch eine Mehrfachnutzung des Wassers möglich, indem das Wasser der untenliegenden Teiche mittels Pumpen (ggf. auch Einsatz von Grundwasser) wieder in die oberen Teiche befördert wird.

Weiterhin kann technischer Sauerstoff bei der Forellenerzeugung zur Verbesserung des Belüftungsregimes eingesetzt werden.

Kriterium	Bewertung aus sektoraler Sicht
Aufwand	hoch
Kosten	hoch
Zeithorizont für Umsetzung	mittelfristig
Wechselwirkungen mit (siehe Kapitel 2.1)	w.1, w.2, w.3, w.4

Bei der Einführung des Kaskadensystems in der Teichwirtschaft wird einerseits der Wasserrücklauf in Vorfluter und andererseits der Wasserverbrauch im Vergleich zum klassischen System reduziert. Zusätzlich werden auch die Einträge von Schlamm und Nährstoffen gemindert. Entsprechend können Synergieeffekte mit der Wasserwirtschaft in Bezug auf das Wasserdargebot sowie die Wasserqualität ausgenutzt werden.

5.4) Verdunstungsminderung und Temperaturverringering in Fließgewässern und in der Aquakultur durch Beschattung

Durch die Beschattung der Zuläufe von Fischteichen und Aquakulturanlagen sowie der eigentlichen Teiche/Anlagen kann die Temperatur des Wassers wirkungsvoll verringert werden. Im einfachsten Fall ist hierfür lediglich die Bepflanzung mit standortgerechten geeigneten Gehölzen notwendig. Durch diese kann eine gleichzeitige Verbesserung der Gewässermorphologie erreicht werden. Gleiches gilt für die Sicherung fischereilich genutzter Fischbestände in Fließgewässern. Auch hier führen mit Bäumen (Weiden, Erlen, usw.) bepflanzte Ufer, abhängig von Gewässerbreite und Wasserführung, zu einer signifikanten Wasserabkühlung, und fördern damit den Erhalt temperatursensitiver Fischarten (z. B. Bachforelle, Äsche). Die Hauptherausforderungen bei der Beschattung der Zuläufe von Fischteichen und Aquakulturanlagen stellen die Pflege von Gehölzen und der Schutz vor Fraßschäden dar. Entsprechend zieht die Maßnahme einen hohen Aufwand mit sich.

Fischhälteranlagen sind meist kleine Teiche oder speziell zu diesem Zweck errichtete Becken oder Kanäle, in denen Fische für den Verkauf vorgehalten werden oder z. B. Karpfen eine gewisse Zeit verbringen müssen, um im Teich potentiell aufgenommene unerwünschte Geruchs- oder Geschmacksstoffe (z. B. Geosmin) abgeben zu können. Diese meist relativ kleinen Anlagen können zur Temperaturabsenkung mit geeigneten Konstruktionen überdacht werden, welche zudem bestimmte Prädatoren (Kormoran, Graureiher, Silberreiher) fernhalten. Idealerweise können dazu Photovoltaik-Elemente als Überdachung genutzt werden, um damit Strom für die Netzeinspeisung oder für die Eigennutzung zu erzeugen. Bei der Eigennutzung spielen vor allem die technische Belüftung unter Verbesserung des Belüftungsregimes sowie das elektrische Pumpen von Wasser bei Kreislaufführung.

Der erzeugte Strom könnte zudem per Elektrolyse in kleinen dezentralen Anlagen in Sauerstoff und Wasserstoff umgewandelt, gespeichert und beispielsweise für die intensive Fischerzeugung in Kreislaufanlagen eingesetzt werden.

Die Nutzung von schwimmenden Photovoltaikanlagen (Floating-PV) wird ebenfalls praktiziert und könnte eine Verringerung von Verdunstung und Temperatur auf fischereilich genutzten Gewässern bewirken. Die Investitionskosten der Maßnahme sind als hoch einzuschätzen.

Kriterium	Bewertung aus sektoraler Sicht
Aufwand	hoch
Kosten	mittel bis hoch
Zeithorizont für Umsetzung	mittelfristig

Kriterium	Bewertung aus sektoraler Sicht
Wechselwirkungen mit (siehe Kapitel 2.1)	w.1, w.2, l.1

Da das Maßnahmencluster die Wasserverdunstung und entsprechend den Wasserverbrauch durch Aquakultur und Binnenfischerei reduziert, erzielt es positive Wechselwirkungen mit der Wasserwirtschaft in Bezug auf das Dargebot des Grund- und Oberflächenwassers. Durch möglicher Beschattung der anliegenden Feldern können die Erträge landwirtschaftlicher Kulturen negativ beeinflusst werden.

5.5) Verstärkte Mehrfachnutzung von Wasserressourcen in Form von Teilkreislaufanlagen

Bei der Forellenproduktion in Durchflussanlagen mit einfacher Wassernutzung nehmen die Probleme durch Wassermangel und warmes Zulaufwasser aus Fließgewässern zu. Dies führt zu Sauerstoffmangel und Temperaturstress bei den Fischen, wodurch es vermehrt zu Fischsterben und Notabfischungen kommt. Als technische Maßnahmen zur Abmilderung dieser Probleme kommen hier die Sauerstoffbegasung und Teilkreislaufführung des Wassers in Betracht, siehe auch Maßnahme 5.3 „Optimierung des Wasserrückhalts und -managements in Teichgebieten“. Das bereits verwendete Anlagenwasser wird dabei aufbereitet und dem System nochmals zugeführt. Dieser Prozess erfordert entsprechende Investitionskosten, die im Zusammenhang mit der Technisierung der Betriebe stehen. Geeignete digitale Steuerungs- und Frühwarnsysteme bezüglich Temperatur- und Sauerstoffmessungen sind hier ebenfalls zielführend.

Kriterium	Bewertung aus sektoraler Sicht
Aufwand	mittel
Kosten	mittel
Zeithorizont für Umsetzung	kurzfristig
Wechselwirkungen mit (siehe Kapitel 2.1)	w.2

Durch die Umsetzung der Maßnahme wird eine geringere Wassermenge aus den Gewässern entnommen, was positive Auswirkungen auf das Dargebot von Oberflächenwasser erzielt.

5.6) Verringerung des Wasserbedarfs in der Aquakultur durch Nutzung klimaresilienter Fischstämme und weniger sensibler alternativer Fisch- und Krebsarten

Die Züchtung und Nutzung temperatur- und/oder sauerstoffresilienter Fischstämme und Fischarten könnte eine weitere Option für die fischereiliche Bewirtschaftung von Gewässern darstellen, in denen die Nutzung traditioneller Stämme und Arten nicht mehr möglich ist, weil Temperaturen zu hoch oder Sauerstoffgehalte zu niedrig sind. Bisher ist diese Anpassungsmaßnahme nicht unter Praxisbedingungen erprobt worden und hat entsprechend geringe Priorität bei der Umsetzung.

Kriterium	Bewertung aus sektoraler Sicht
Aufwand	hoch
Kosten	hoch
Zeithorizont für Umsetzung	langfristig
Wechselwirkungen mit (siehe Kapitel 2.1)	keine

5.7) Bewässerungsteichwirtschaft

Die Bewässerungsteichwirtschaft stellt eine Maßnahme dar, die Synergien zwischen Teichwirtschaft, Landwirtschaft und Wasserwirtschaft erzielt. Durch Vertiefung der bestehenden Teiche oder Anlage neuer Erdteiche können zunehmende Niederschläge bzw. Hochwasser infolge von Starkregenereignissen aufgefangen und zwischengespeichert werden. Das durch Teichvertiefung erstandene zusätzliche Wasservolumen oder vorab festgelegte Wasservolumen bei Anlage neuer Erdteiche kann in der Vegetationsperiode für die Bewässerung landwirtschaftlicher Kulturen entnommen werden. Für eine ausführliche Darstellung dieser Maßnahme siehe Beispiel im Kapitel 3.1.

Kriterium	Bewertung aus sektoraler Sicht
Aufwand	mittel bis hoch
Kosten	mittel
Zeithorizont für Umsetzung	kurz- bis mittelfristig
Wechselwirkungen mit (siehe Kapitel 2.1)	w.1, w.2, l.1, l.2

Durch das Schaffen neuer Quellen des Bewässerungswassers weist die Maßnahme klare potenzielle Synergien mit der Landwirtschaft in Bezug auf Erträge und Qualität landwirtschaftlicher Produkte auf. Die Form der Wechselwirkungen bei der Bewässerungsteichwirtschaft hängt von dem Wasserdargebot in der Region sowie von der vorhergehenden Bewässerung landwirtschaftlicher Flächen ab. Sollte die Befüllung des zusätzlichen Volumens bei gutem Wasserdargebot oder gar bei Überflutungsgefahr erfolgen, kann diese Maßnahme positive Wechselwirkungen erzielen. Ebenfalls kann mit positiven Wechselwirkungen sowohl mit Landwirtschaft als auch Wasserwirtschaft gerechnet werden, wenn durch Umsetzung der Maßnahme die Grundwasserentnahmen für die Bewässerung reduziert werden. In einigen Fällen kann durch eine Vertiefung der Teiche und entsprechend höherem Wasserverbrauch das Dargebot vom Grund- bzw. Oberflächenwasser (je nachdem mit welchem Wasser die Teiche gefüllt werden) negativ beeinflusst werden, was Zielkonflikte zwischen einerseits der Aquakultur und der Landwirtschaft und andererseits der Aquakultur und der Wasserwirtschaft nach sich zieht oder verstärkt.

Anlage 2: Beschreibung der Gremien-Beispiele

1 Landesniedrigwasserkonzept (Brandenburg)

Das Land Brandenburg hat noch im Licht der Trockenjahre 2018 bis 2020 ein Landesniedrigwasserkonzept auf Flusseinzugsgebietsebene unter Einbeziehung der Landkreise, der kreisfreien Städte und der Gewässerunterhaltungsverbände erarbeitet und Anfang 2021 veröffentlicht. Es wird seither in Form einer Niedrigwassermanagementplanung umgesetzt.

Das Konzept setzt auf ein nachhaltiges Wasserressourcenmanagement als ganzheitlichen strategischen Ansatz zum Umgang und insbesondere zur Vorsorge vor Niedrigwasser. Ein*e dafür installierte*r Flussgebietsmanager*in erarbeitet mit den Fachbehörden des Landes und der Landkreise, den Wasser- und Bodenverbänden und den anderen regionalen Akteur*innen das wasserwirtschaftliche Gesamtsystem mit den wesentlichen Einflussgrößen und der Bewirtschaftung des Flussgebietes, erstellt Flussgebietssteckbriefe und entwickelt die Handlungsfelder für Anpassungsmaßnahmen. Es enthält drei wesentliche Bausteine bzw. Arbeitspakete: (i) Fachgrundlagen, (ii) Niedrigwasservorsorge und -management und (iii) fachübergreifendes Handeln.

Fachgrundlagen zu aktuellen hydrologischen Messwerten und zu Hochwassergefahrenwarnungen werden im Pegelportal landesweit in Echtzeit zur Verfügung gestellt. Die „Auskunftsplattform Wasser“ stellt zusätzlich wasserbezogene Daten für das ganze Land Brandenburg in einer interaktiven Kartenanwendung bereit. Es wird ein WebGIS-Werkzeug zur Grundwasserbilanzierung entwickelt. Weitere erforderliche fachliche Grundlagen (z. B. Anpassung Datenerfassung, erforderliche Messnetzanpassungen, Vervollständigung elektronisches Wasserbuch, Vollzugshinweise) werden tabellarisch im Landesniedrigwasserkonzept benannt, befinden sich in Erarbeitung oder werden bei Bedarf beauftragt.

Die Umsetzung des Landesniedrigwasserkonzeptes findet auf der Ebene der 16 Flussgebiete des Landes statt, indem für jedes Flussgebiet ein/eine sog. Flussgebietsmanager*in benannt wurde. Dessen Aufgabe ist, die Zusammenarbeit und die Arbeitsprozesse in den Flussgebieten anzuschließen, zu koordinieren und landesweit gleichermaßen voranzubringen. Der/die Flussgebietsmanager*in erbringt zu diesem Zweck Leistungen der Kommunikation, Projektsteuerung und Koordinierung bei der Erarbeitung flussgebietsbezogener Niedrigwasserkonzepte sowie für die Öffentlichkeitsarbeit und fachübergreifende Beteiligungsprozesse. Mit der Erarbeitung von Niedrigwasserkonzepten in den Flussgebieten sollen Bewirtschaftungsgrundsätze getroffen werden. Es wird darüber hinaus ein Programm notwendiger Maßnahmen zur Verbesserung des Landschaftswasserhaushaltes und zur Niedrigwasservorsorge gemeinsam aufgestellt und bearbeitet. Bei der Entwicklung und Qualifizierung entsprechender Förderprojekte unterschiedlichster Träger steht der/die Niedrigwasserkoordinator*in zur Seite. Sie/Er steuert die Erarbeitung, Vorbereitung und Umsetzung konkreter Maßnahmen fachlich, führt die jeweils nötigen Beteiligungs- oder Abstimmungsprozesse durch und moderiert die Lösungsfindung bei Zielkonflikten.

Insbesondere aus der Arbeit in den Flussgebieten ergeben sich fachübergreifende Fragen und Ansätze für die Vorsorge und den Umgang mit Niedrigwasser und Trockenheit. Diese fachübergreifenden Anforderungen werden in gemeinsamer Arbeit der Fachbereiche Forst, Landwirtschaft und Naturschutz definiert.

2 Pilotprojekt „Netzwerke Wasser“ (Niedersachsen)

Von 2016 bis 2022 wurde im Rahmen von zwei innerhalb der Deutschen Anpassungsstrategie (DAS) geförderten Projekten pilothaft ein Beitrag zur regionalen Klimafolgenanpassung an steigende Wasserbedarfe und Nutzungskonkurrenzen durch den Aufbau von regionalen Netzwerken in Zusammenhang mit der Schaffung von hochaufgelösten Datengrundlagen erprobt. Die Pilotprojekte wurden insbesondere durch zunehmendes Risiko von Ertragsverlusten durch Trockenheit sowie die Nutzungskonkurrenzen, die durch eine zukünftige Beregnung entstehen, geprägt. Das Ziel war daher, durch eine frühzeitige Vernetzung aller relevanten Wasser-Stakeholder mögliche Reibungsverluste im Klimaanpassungsprozess zu vermeiden. Projektpartner waren die Landwirtschaftskammer Niedersachsen (LWK) und das Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG) in enger Kooperation mit den teilnehmenden Landkreispartnerschaften (Celle und Heidekreis, Grafschaft Bentheim und Emsland, Rotenburg/Wümme und Verden, Vechta und Oldenburg, sowie Gifhorn und Altmarkkreis Salzwedel in Sachsen-Anhalt). Teil der Netzwerke waren die Unteren Wasserbehörden, Wasserver- und -entsorger, sowie viele Verbände, wie z.B. Umwelt- und Beregnungsverbände.

Von besonderer Bedeutung war der Wissens- und Informationsaustausch, um die identifizierte erforderliche Klimafolgenanpassung für die eigene und benachbarte Region erfolgreich zu bewältigen. Die Datengrundlage für Anpassungsmaßnahmen erstellte das LBEG. Diese beinhaltete aktuelle und zukünftige regional-spezifische Bewässerungsbedarfe. Damit konnten für die Landkreise maßgebliche Wissenslücken geschlossen werden. Die vermittelten Informationen wurden in Steckbriefen und Themenblättern zusammengefasst und im Internet allen Interessierten zur Verfügung gestellt. Die dauerhafte Bereitstellung der Informationen (Vorträge, Landkreissteckbriefe, Themenblätter, Ergebnisdaten) sowie die kostenfreie Datenübergabe der Prognose des potentiellen regionalspezifischen Bewässerungsbedarfs an die Netzwerke stellten wichtige Informationen und Planungsgrundlagen für die beteiligten Landkreise dar.

Mindestens genauso wichtig war die Vertrauensbildung innerhalb des Netzwerks, die dadurch entstand, dass Positionen, Bedarfe und Zwänge der Stakeholder formuliert werden konnten, sodass gegenseitig Verständnis und Akzeptanz entstand. Bewusst ausgiebige Imbisspausen waren ein wichtiger Bestandteil der Netzwerktreffen. Gemeinsame themenbezogene Exkursionen trugen zusätzlich sowohl zur Wissensbereicherung als auch zum gegenseitigen Kennenlernen und zur Vertrauensbildung bei.

Jeweils zum Abschluss der Projekte wurden die Methoden und Ergebnisse auf Abschlussveranstaltungen präsentiert, diskutiert und die erarbeiteten Datengrundlagen zum potenziellen regionalspezifischen Bewässerungsbedarf den Landkreisen zur Verfügung gestellt. Die Teilnehmenden der Netzwerke vereinbarten

auch nach Ende der Projekte eine extensivere Form der Fortsetzung dieses Kooperationsformats.

3 Allianz für den Gewässerschutz (Schleswig-Holstein)

Für Schleswig-Holstein ist der Schutz des Grundwassers von besonderer Bedeutung, da das Trinkwasser zu 100 Prozent aus dem Grundwasser gewonnen wird. Die großflächige Nitratbelastung der Grundwasserkörper hat dazu geführt, dass in den zurückliegenden Jahren zunehmend auf tiefere Wasserleiter zurückgegriffen werden musste und dass das nach WRRL geforderte Ziel zur „Schaffung eines guten chemischen Zustandes von Gewässern“ bis heute nicht erreicht wurde. Hauptursache für die Verfehlung dieses Umweltziels ist die diffuse Belastung des Grundwassers mit Nitrat aus der landwirtschaftlichen Flächennutzung, aber auch durch Pflanzenschutzmittel bzw. deren Abbauprodukte. Daher arbeiten in der Allianz das Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt, Natur und Digitalisierung (MELUND), der Bauernverband Schleswig-Holstein (BVSH), der Landesverband der Wasser- und Bodenverbände Schleswig-Holsteins (LWBV) sowie die Landesgruppe Norddeutschland des Bundesverbandes der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW) gemeinsam für den Gewässerschutz.

Im Besonderen zeichnet sich der Runde Tisch Nährstoffmanagement (RTN) als Kernelement der Allianz für den Gewässerschutz aus. Dieser tagt zweimal jährlich und führt die Mitglieder der Allianz zusammen, um aktuelle Themen rund um den Gewässerschutz, die Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie sowie der Nitratrichtlinie zu diskutieren und gemeinsam über die Ergebnisse aus den Arbeitsgruppen zu beraten. Für spezielle Fachfragen werden gezielt Referent*innen eingeladen.

4 Koordinierungsstelle „Zukunftsstrategie Wasserwirtschaft Nordbayern“

Die Koordinierungsstelle „Zukunftsstrategie Wasserwirtschaft Nordbayern“ (ZWN) an der Regierung von Unterfranken soll innerhalb der Gesamtstrategie „Wasserzukunft Bayern 2050“ für die zentrale Zukunftsaufgabe „Management von Trockenheit und Niedrigwasser“ Ansätze zum Umgang mit dem Thema Trockenheit und Dürre aufgreifen und voranbringen. Die Koordinierungsstelle schafft einen intensiven Austausch und eine enge Zusammenarbeit zwischen dem Umweltministerium, dem Landesamt für Umwelt, den Regierungen, sowie den Fachbehörden und Ämtern Nordbayerns.

Die ZWN organisiert regelmäßig eine ämter- und verwaltungsübergreifende Arbeitsgruppe, die sich mit der regionalen Abstimmung und Koordinierung der Wasserproblematik im trockensten Teil Bayerns befasst (vergleichbar des in Kapitel 4.3. dargestellten Wassermanagementkonzepts). Seit Herbst 2022 erfolgt regelmäßig eine Abstimmungsrunde (Turnus: alle vier bis sechs Wochen) zur Vorgehensweise mit den Vorhabenträgern der drei Weinbau-Pilotvorhaben, den beteiligten Wasserwirtschaftsämtern, den Landratsämtern, der Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau, dem Amt für Ländliche Entwicklung, dem Fränkischen Weinbauverband e.V. und der ZWN.

5 Informationsnetzwerk „Bewässerungsforum Bayern“

Das „Bewässerungsforum Bayern“ der Arbeitsgemeinschaft Landtechnik und Landwirtschaftliches Bauwesen in Bayern e.V. (ALB) wurde 2019 im Auftrag vom Bayerischen Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (StMELF) und dem Bayerischen Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz (StMUV), geschaffen und vernetzt diverse Akteur*innen der Landwirtschaft mit den Wasserwirtschaftsämtern. Es dient als neutrales Informationsnetzwerk für umfassende Informationen zur umweltschonenden und effizienten Bewässerung in Landwirtschaft, Garten- und Weinbau. Das Forum vernetzt damit alle Akteur*innen. Fachleute aus Forschung, Beratung, Bildung, staatlicher Verwaltung, Umwelt, Wasserwirtschaft, Gewerbe und landwirtschaftlicher Praxis suchen in acht Arbeitsgruppen zu unterschiedlichen Themen rund um die Bewässerung gemeinsam nach den bestmöglichen, machbaren und umweltgerechten Lösungen. Im Netzwerk sind das Bayerische Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (StMELF), das Bayerische Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz (StMUV), die Arbeitsgemeinschaft Landtechnik und Landwirtschaftliches Bauwesen in Bayern e.V. (ALB), die Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau (LWG), das Bayerische Landesamt für Umwelt (LfU), die Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), die Hochschule Weihenstephan-Triesdorf (HSWT), Ämter für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (ÄELF) und die Wasserwirtschaftsämter (WWA) vertreten.

Das Projekt ist Bestandteil des "Aktionsplans Bewässerung" der Bayerischen Staatsregierung und wird zu gleichen Teilen vom Landwirtschafts- und vom Umweltministerium finanziert. Ziel ist es, auf fachlich fundierter Grundlage und in ausgewogener Weise die Bewässerung in der Landwirtschaft zu optimieren. Gleichzeitig wird dabei besonders auf die Umwelt- und Gesellschaftsverträglichkeit geachtet. Vorbild sind bereits erfolgreich bestehende Foren der ALB. Dadurch soll die gesellschaftliche Akzeptanz erhöht und den Landwirt*innen, Gärtner*innen und Winzer*innen mehr Transparenz, bestmögliche Sicherheit und damit langfristige Perspektiven für den Anbau ihrer Kulturen geboten werden. In Arbeitsgruppen werden zu einzelnen Fachthemen Expert*innen- bzw. Praxiswissen gesammelt, abgestimmt und als Beratungs- und Informationsmaterial in Form von kompakten Beratungsblättern aufbereitet. Diese werden digital für Flächenbewirtschaftler*innen, Berater*innen und alle Interessierten auf der Homepage des ALB zur Verfügung gestellt.

6 Arbeitsgruppe „EG-WRRL und Landwirtschaft“ (Rheinland-Pfalz)

Die seit 2008 bestehende Arbeitsgruppe „EG-WRRL und Landwirtschaft“ koordiniert fachliche Abstimmungen zwischen der Wasserwirtschaft und der Landwirtschaft. Das Kernstück des Programms ist die regional- und betriebsspezifische Wasserschutzberatung landwirtschaftlicher, wein- und gartenbaulicher Betriebe. In diesem Sinne werden Maßnahmen zur Reduzierung stofflicher Einträge in Oberflächengewässer und ins Grundwasser abgestimmt. Weiterhin wird die Landwirtschaft bei der Erstellung ihrer Beiträge zu den Maßnahmenprogrammen unterstützt. Vertreten in der Arbeitsgruppe sind die Wasserwirtschaftsverwaltung,

Landwirtschaftsverwaltung und die Landwirtschaftskammer sowie Bauern- und Winzerverbände und Wasser- und Bodenverbände

Die Arbeitsgruppe ist Ansprechpartner für die Maßnahmenträger (Betriebe) und sorgt für den Informationsaustausch mit den Maßnahmenträgern. Sie wirkt bei der Abschätzung der Wirksamkeit von Maßnahmen sowie bei der Abstimmung über die Beschreibung und Begründung von Ausnahmetatbeständen mit. Das Beratungsangebot ist kostenfrei und beruht auf freiwilliger und kooperativer Basis. Zur Zielkulisse gehören die Grund- und Oberflächenwasserkörper, die in schlechtem Zustand sind, sowie Kooperationen in Wasserschutzgebieten bzw. definierten Einzugsgebieten zur Trinkwassergewinnung mit Wasserversorgungsunternehmen bzw. Getränkeherstellern. In 2022 wurden 22 Wasserschutz-Kooperationen mit etwa 2000 ha Fläche und 200 Betrieben etabliert. Weitere Vorhaben befinden sich in der Informations- oder Gründungsphase.

In Arbeit befindet sich die Einbindung sowohl der Wasserschutzberatung (Landwirtschaft) als auch der Landesforsten Rheinland-Pfalz (Wald und Forstwirtschaft) in die Erstellung von örtlichen Hochwasser- und Starkregenvorsorgekonzepten bzw. Hochwasserpartnerschaften und somit in das Netzwerk des Kompetenzzentrums Hochwasservorsorge und Hochwasserrisikomanagement (KHH) und des Informations- und Beratungszentrums Hochwasservorsorge (IBH). Inhaltlicher Schwerpunkt hierbei ist die Verbesserung des Wasserrückhalts in der Landnutzung als Maßnahme sowohl zur Erosionsvorsorge als auch zur Grundwasserneubildung (Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie und Mobilität Rheinland-Pfalz 2023).

7 Kooperationen zum Gewässerschutz in der Landwirtschaft (Rheinland-Pfalz)

Die „Kooperationen zum Gewässerschutz in der Landwirtschaft“ ist ein freiwilliger Zusammenschluss von kommunalen Wasserversorgungsunternehmen (WVU) bzw. Getränkeherstellern (GH) und landwirtschaftlichen Betrieben, die im jeweiligen Wasserschutzgebiet bzw. definiertem Grund- und Trinkwassereinzugsbereich Flächen bewirtschaften. Das vorrangige Ziel der Kooperationen ist die Begrenzung der Nitratbelastung von Grund- und Trinkwasser durch eine angepasste Flächenbewirtschaftung. Die Umsetzung von Maßnahmen durch pflanzenbauliche Betriebe erfolgt auf freiwilliger vertraglicher Basis.

Unter fachlicher Betreuung und Beratung durch die Wasserschutzberatung (WSB) der Dienstleistungszentren Ländlicher Raum (DLR) finden auf vertraglicher Basis die Umsetzung und Durchführung gewässerschonender Maßnahmen durch Landwirt*innen, Gärtner*innen und Winzer*innen auf landwirtschaftlichen Flächen statt. Die Anzahl etablierter Projekte umfasst derzeit 17 Wasserschutz-Kooperationen, mit denen in Rheinland-Pfalz auf ca. 4.500 ha vorbeugende Maßnahmen zur Begrenzung von primär Nitrat-, aber auch von Phosphat- und Pflanzenschutzmittelbelastung ergriffen werden.

8 Dialog im Rahmen der „Strategie zum Umgang mit Wassermangel“ (Baden-Württemberg)

Mit der ressortübergreifend abgestimmten Strategie zum Umgang mit Wassermangel („Wassermangelstrategie“) wird der in Baden-Württemberg bestehende

Handlungsbedarf beim Umgang mit Wassermangel aufgezeigt (Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden Württemberg 2022). Die Umsetzung dieser Strategie wird über eine ressortübergreifend zusammengesetzte Lenkungsgruppe gesteuert und begleitet. Ein detailliertes Arbeitsprogramm mit den anstehenden Aufgaben und Prioritäten ist erstellt. Das Umweltministerium wird den mit dieser Strategie begonnenen Dialog zum Umgang mit Wassermangel mit allen betroffenen Fachrichtungen und Verbänden fortführen.

Der Handlungsbedarf reicht über den der Wasserwirtschaft hinaus. Die Wassermangelstrategie enthält daher ein 12-Punkte Programm mit folgenden zentralen Elementen:

- Schutz der Ressource Wasser und Stärkung der Resilienz der Gewässerökosysteme
- Umweltmonitoring und Informationsbereitstellung
- Bewirtschaftung und Steuerung der Wassernutzungen
- Schärfung des Problembewusstseins
- Notfallplanung.