

# Landbewirtschaftung – mit Wasser haushalten







# Landbewirtschaftung – mit Wasser haushalten

KTBL-Tagung am 26. und 27. März 2025

Herausgeber

Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL), Darmstadt

## Fachliche Begleitung

### Programmausschuss

Prof. Dr. Ralf Bloch | Prof. Dr. Dietrich Borchardt | Prof. Dr. Eberhard Hartung | Dr. Mathias Herbst |  
Dr. Veikko Junghans | Dr. Andrea Krähmer | Dr. Sandra Kruse | Dr. Jörg Rechenberg | Henning Stahl |  
Dr. Nataliya Stupak | Claudia Taeger

© KTBL 2025

### Herausgeber und Vertrieb

Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL)

Bartningstraße 49 | 64289 Darmstadt

Telefon +49 6151 7001-0 | E-Mail: [ktbl@ktbl.de](mailto:ktbl@ktbl.de)

[vertrieb@ktbl.de](mailto:vertrieb@ktbl.de) | Telefon Vertrieb +49 6151 7001-189

[www.ktbl.de](http://www.ktbl.de)

Herausgegeben mit Förderung des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft  
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages.

### Titelfoto

© [www.adobestock.com](http://www.adobestock.com) | Petra Ballhause



## Inhalt

|                                                                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Deutschland im Klimawandel – auf was müssen wir uns einstellen?                                                          |    |
| UDO BUSCH .....                                                                                                          | 5  |
| Prognose von multisektoralen Wasserbedarfen und -angeboten in Deutschland                                                |    |
| FLORIAN ZAUN, TANJA VOLLMER, THILO STRECK, TOBIAS WEBER, BIRGIT MARIA MÜLLER, SEBASTIAN STURM,<br>TIM AUS DER BEEK ..... | 10 |
| Naturnaher Landschaftswasserhaushalt: ein geeignetes Paradigma für den Umgang<br>mit Wasser im Klimawandel?              |    |
| DIETRICH BORCHARDT .....                                                                                                 | 13 |
| Was bringt die Nationale Wasserstrategie für den Landschaftswasserhaushalt?                                              |    |
| JÖRG RECHENBERG, MANUELA HELMECKE, BERND KIRSCHBAUM .....                                                                | 19 |
| Vorausschauende Planungsgrundlagen für das Grundwassermanagement in Niedersachsen                                        |    |
| AXEL LIETZOW .....                                                                                                       | 26 |
| Verbandliches Wassermanagement – Herausforderung der Zukunft                                                             |    |
| UWE ROTH .....                                                                                                           | 28 |
| Einzelbetriebliche Planungsprozesse zur Bewässerung                                                                      |    |
| SIMON KEUTMANN .....                                                                                                     | 30 |
| Anbausysteme im Klimawandel – Resilienz durch Diversifizierung?                                                          |    |
| MORITZ RECKLING .....                                                                                                    | 36 |
| Agroforstsysteme im Fokus: ein Beitrag zum Wasserhaushalt auf Feld-<br>und Landschaftsebene                              |    |
| WIEBKE NIETHER .....                                                                                                     | 40 |
| Grünlandwirtschaft und Futterbau in Zeiten von Wassermangel und<br>anderer Herausforderungen                             |    |
| MARTIN KOMAINDA .....                                                                                                    | 45 |
| Auswirkungen des Klimawandels auf die Bewässerung ausgewählter Gemüsekulturen                                            |    |
| JANA ZINKERNAGEL, MATTHEW SUOMI, NADINE SCHMIDT .....                                                                    | 51 |
| Künstliche Grundwasseranreicherung: Eine schnelle Anpassungsoption<br>für die Bewässerung?                               |    |
| THOMAS BAUMANN, LEA AUGUSTIN .....                                                                                       | 56 |
| Wasserwiederverwendung für die landwirtschaftliche Bewässerung in Deutschland –<br>Chancen und Herausforderungen         |    |
| BENEDIKT M. AUMEIER, JAVAD AHAMDI, JÖRG E. DREWES .....                                                                  | 61 |
| Grüne Gräben und Herausforderungen für einen klimaresilienten Landkreis                                                  |    |
| THOMAS KELLER .....                                                                                                      | 64 |
| Agroforst und Wasserrückhalt mit Keyline-Design – Einblicke in die Praxis                                                |    |
| PHILIPP GERHARDT .....                                                                                                   | 70 |
| Tropfbewässerung in Landwirtschaft und Gartenbau – Beispiele aus der Praxis                                              |    |
| MARTIN MÜLLER .....                                                                                                      | 74 |

|                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------|----|
| Inwertsetzung von Wasserdienstleistungen: Konzepte und Strategien in der Praxis  |    |
| ALEXANDRA DEHNHARDT .....                                                        | 79 |
| Zielkonflikte im Blick: der Umgang mit Wasser in der Land(wirt)schaft von morgen |    |
| CARLA SCHÖNFELDER .....                                                          | 84 |
| Mitwirkende .....                                                                | 84 |

## Deutschland im Klimawandel – auf was müssen wir uns einstellen?

Udo Busch

### 1 Einleitung

Das Jahr 2024 ist das bisher wärmste Jahr seit dem Beginn regelmäßiger Messungen, das in Deutschland, Europa und global beobachtet wurde. Die letzten drei Jahre zählen in Deutschland zu den wärmsten Jahren. Zudem wurde der bisherige Rekordwert der Jahresmitteltemperatur von 10,6 °C aus dem Jahr 2023 im Jahr 2024 um 0,3 K übertroffen (Friedrich et al. 2025). Sowohl die Häufung von neuen Temperaturrekorden als auch die Differenz zum bisherigen Rekord sind in der Klimageschichte Deutschlands außergewöhnlich.

### 2 Temperatur Deutschland

Mit einer Mitteltemperatur von 10,9 °C war das Jahr 2024 in Deutschland das bisher wärmste Jahr seit dem Beobachtungsbeginn 1881. Im Jahr 2014 wurde überhaupt das erste Mal eine Mitteltemperatur von über 10 °C für Deutschland registriert. 2024 überschritten bereits 7 Jahre diesen Schwellenwert (Tab. 1). Im Vergleich zum Zeitraum 1971 bis 2000 ergibt sich derzeit für Deutschland eine Abweichung von etwa +1,7 K.

Tab. 1: Die 10 wärmsten Jahre für Deutschland seit 1881

| Jahr | Temperatur in °C |
|------|------------------|
| 2024 | 10,9             |
| 2023 | 10,6             |
| 2022 | 10,5             |
| 2018 | 10,5             |
| 2020 | 10,4             |
| 2014 | 10,3             |
| 2019 | 10,3             |
| 2000 | 9,9              |
| 2007 | 9,9              |
| 2015 | 9,9              |

Schaut man auf die Auswertung der Klimaprojektionen (Abb. 1) zeigt sich, dass sich der Trend zu immer höheren Temperaturen in Abhängigkeit von den CO<sub>2</sub>-Emissionen weiter fortsetzen wird. Maximaltemperaturen bis 45 °C sind bis Ende des Jahrhunderts in Deutschland möglich.

Abgebildet sind die **positiven** und **negativen** Abweichungen der Lufttemperatur vom vieljährigen Mittelwert 1971 – 2000 sowie die zu erwartende Zunahme bis 2100

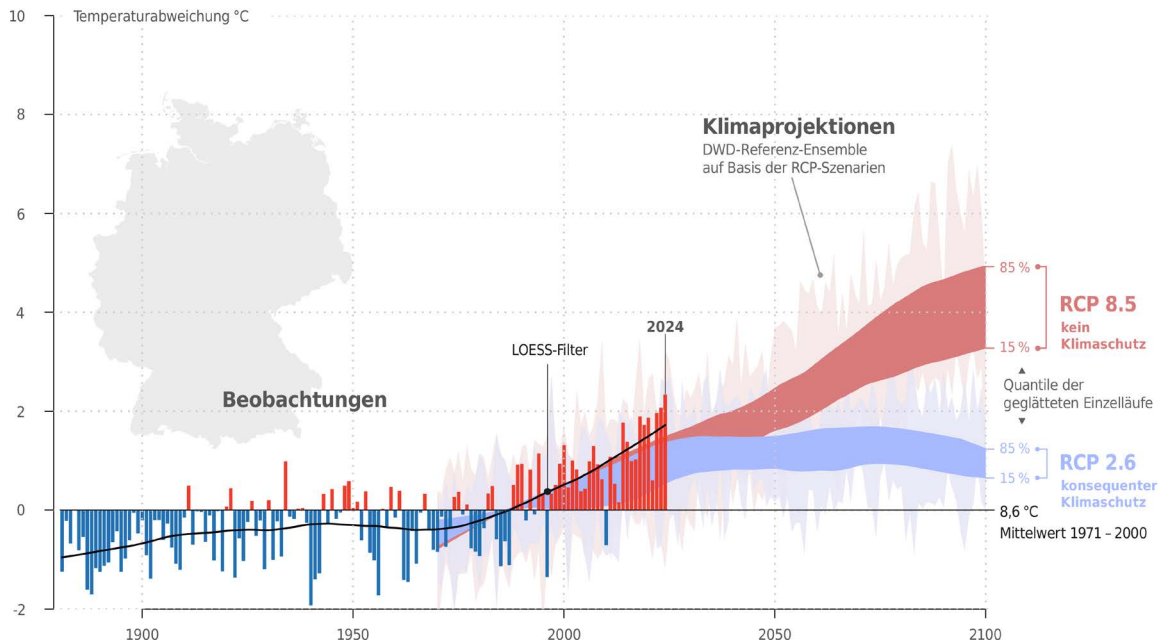


Abb. 1: Abweichungen der Lufttemperatur für Deutschland in Bezug zur Mittelungsperiode 1971 bis 2000; dargestellt ist die Beobachtung von 1881 bis 2024 und die Klimaprojektion bis 2100

### 3 Niederschlag und Bodenfeuchte in Deutschland

Nach einer Reihe von deutlich zu trockenen Jahren, wurden in den beiden letzten Jahren sehr hohe Niederschlagssummen beobachtet. So wurde wiederholt der bisherige Rekord der Niederschlagssumme für zwölf aufeinanderfolgende Monate überboten. Hinsichtlich des Niederschlags war das Jahr 2024 überdurchschnittlich ergiebig, mit ca. 900 mm fielen 14% mehr als im langjährigen Mittel.

Nach der Periode der sehr trockenen Jahre von 2011 bis 2022 konnte sich der Grundwasserspeicher in den letzten beiden Jahren wieder auffüllen. Nur wenige Regionen verzeichneten im Jahresverlauf ein Niederschlagsdefizit (Regionen in Sachsen, Brandenburg, Baden-Württemberg). Im Nordwesten und Südosten lag der Niederschlagsüberschuss großflächig sogar bei 25%, vereinzelt sogar bei 50%.

Sieht man sich die Zeitreihe für den mittleren Niederschlag (Abb. 2) seit 1881 an, zeigt sich lediglich ein geringer Trend für den Jahresniederschlag. Dies ändert sich, wenn man sich die Entwicklung getrennt nach Jahreszeiten ansieht, hier erkennen wir für den Winter eine deutliche Zunahme und für den Sommer eine leichte Abnahme. Eine Veränderung können wir auch beim Auftreten von Starkregen und Trockenphasen beobachten. Beide haben in den letzten Jahren zugenommen. Klimaprojektionen zeigen, dass sich die beobachteten Tendenzen bis zum Ende des Jahrhunderts weiter fortsetzen werden.

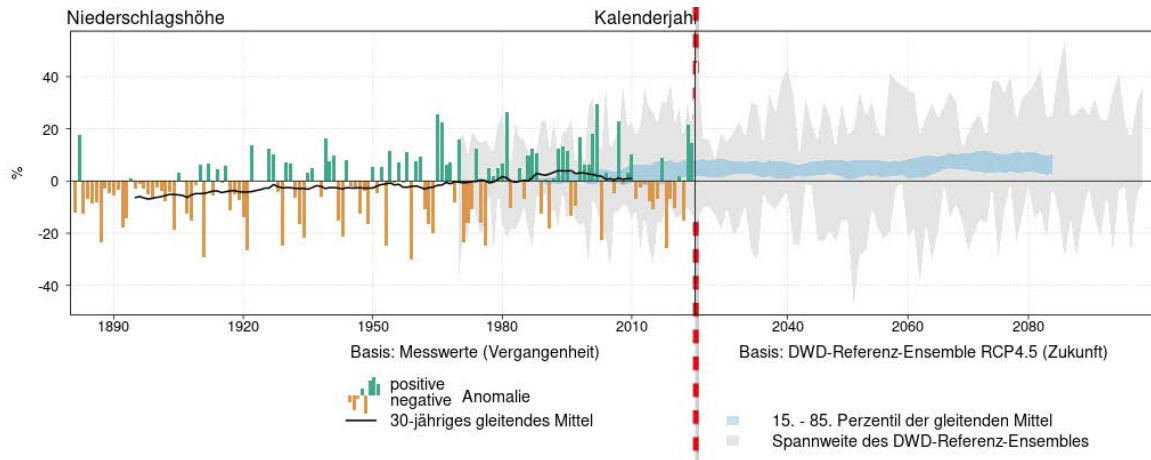
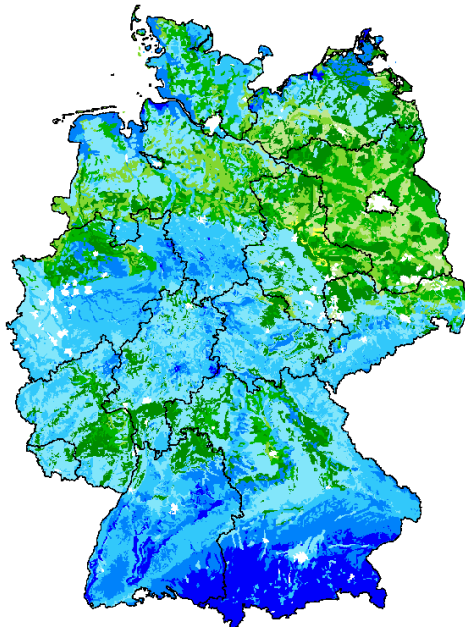


Abb. 2: Abweichungen der Jahressummen des Niederschlags für Deutschland 1881 bis 2024 von der vieljährigen mittleren Niederschlagssumme 1971 bis 2000; dargestellt ist die Beobachtung von 1881 bis 2024 und die Klimaprojektion bis 2100 (© DWD)

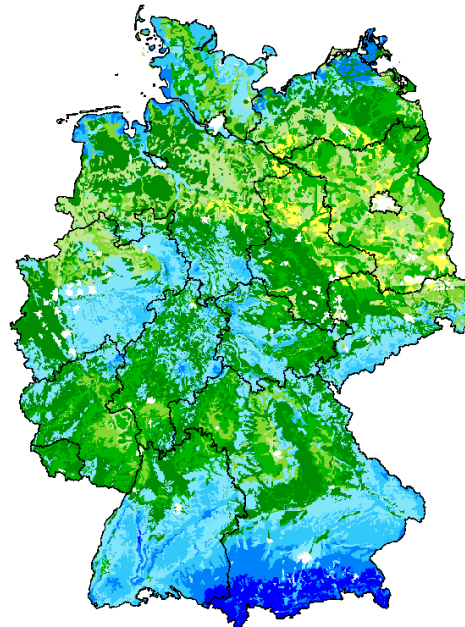
Infolge der Zunahme der Verdunstung zeigt die Bodenfeuchte für Deutschland während der Sommerperiode ein deutliches Bild. Im Vergleich zur Periode 1961 bis 1990 ist die Bodenfeuchte deutschlandweit zurückgegangen (Abb. 3). Auch die Anzahl der Tage, an denen die Bodenfeuchte regional unter 30% nFK liegt, hat deutlich zugenommen.

Mittlere Bodenfeuchte unter Gras (April bis August)  
lokaler Boden, 0 bis 60 cm Tiefe, Mittel 1961 - 1990



10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120 % nFK  
Deutscher Wetterdienst (erstellt 31.01.25 13:32 UTC)  
© GeoBasis-DE / BKG (2022)

Mittlere Bodenfeuchte unter Gras (April bis August)  
lokaler Boden, 0 bis 60 cm Tiefe, Mittel 1991 - 2020



10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120 % nFK  
Deutscher Wetterdienst (erstellt 31.01.25 12:19 UTC)  
© GeoBasis-DE / BKG (2022)

Abb. 3: Mittlere Bodenfeuchte unter Gras – Vergleich der langjährigen Mittel 1961 bis 1990 und 1991 bis 2020 für Deutschland

## 4 Phänologie

Die Pflanzenentwicklung im Verlauf eines Jahres ist stark durch die vorherrschende Witterung geprägt. Die im Jahresablauf wiederkehrenden Entwicklungserscheinungen werden durch das phänologische Beobachtungsnetz des Deutschen Wetterdienstes erfasst. Diese phänologischen Daten sind für die Forschung, das Klimamonitoring und die Klimafolgenforschung von enormer Bedeutung.

Der Klimawandel verändert den phänologischen Zyklus vieler Pflanzen. Phänologische Langzeitbeobachtungen, wie sie in Deutschland teilweise seit mehr als 100 Jahren durchgeführt werden, zeigen deutliche Veränderungen in der phänologischen Entwicklung.

Eine enorme Verfrühung der Vegetation wird im Frühjahr festgestellt (Abb. 4). Der Beginn des Vollfrühlings, welcher durch die Apfelblüte charakterisiert ist, hat sich um etwa 2 Wochen nach vorne verlegt – so treten frostempfindliche Phasen früher im Jahr auf (Busch 2024, Plückhahn et al. 2023, BLE 2017). Trotz der globalen Erwärmung kommt es jedoch weiterhin zu den für den Frühling so typischen Kaltlufteinbrüchen mit negativen Temperaturen. Sie sind zwar im Allgemeinen seltener geworden, treffen nun aber auf weiterentwickelte Pflanzen.

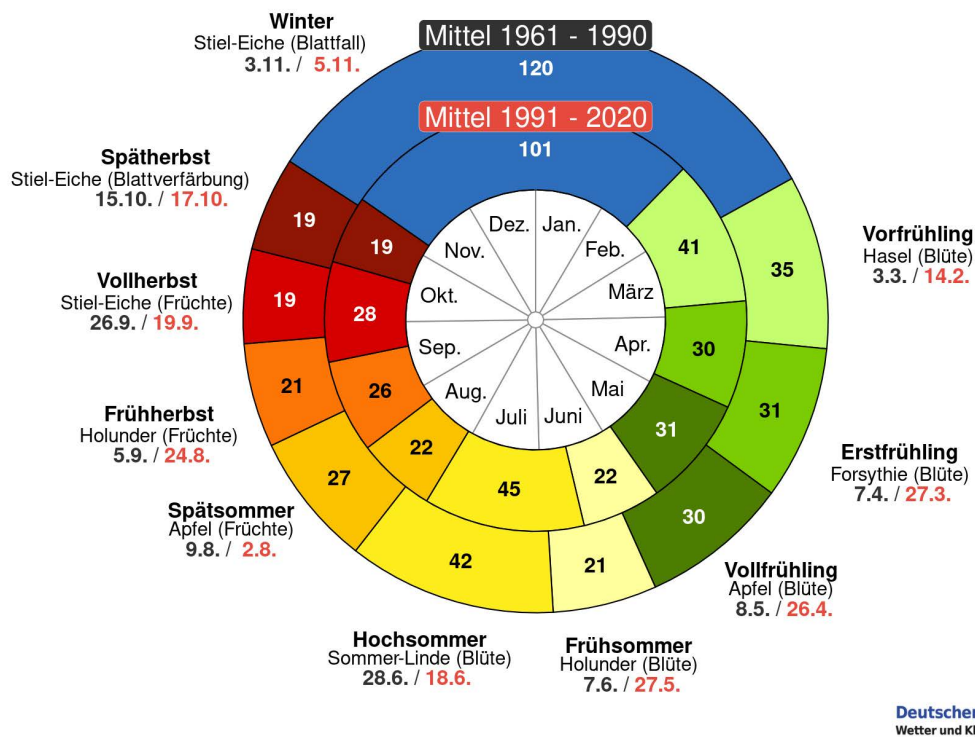


Abb. 4: „Phänologische Jahreszeiten“ – Vergleich der langjährigen Mittel 1961 bis 1990 und 1991 bis 2020 für Deutschland

## 5 Zusammenfassung und Ausblick

- Die Erwärmung in Deutschland beträgt aktuell +1,7 K in Bezug auf die Referenzperiode 1971 bis 2000.
- Im Winter beobachten wir in Deutschland eine Niederschlagszunahme und im Sommer eine geringe Abnahme.
- Die Anzahl von Sommertagen steigt, die Anzahl von Frosttagen nimmt ab.
- Länger andauernde Trockenperioden im Sommer führen zu Hitzestress bei den Pflanzen und verursachen Ertragsreduzierungen, Starkniederschläge können zu Bodenerosion führen.
- Klimamodelle zeigen, dass die mittlere Temperatur in Abhängigkeit von den CO<sub>2</sub>-Emissionen weiter steigen wird, bis Ende des Jahrhunderts sind maximale Temperaturen von bis zu 45 °C in Deutschland möglich.
- Die Modelle zeigen auch, dass sich die Tendenz der Niederschlagszunahme im Winter und der -abnahme im Sommer fortschreiben und intensivieren wird.

## Literatur

Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) (2017): Agrarmeteorologie 1651, Bonn

Busch, U. (2024): 10. Fachtagung BIOMET des Fachausschusses Biometeorologie der DMG e.V. 19.–21.03.2024 in Offenbach. Programm und Zusammenfassungen. In: Annalen der Meteorologie 53, <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:101:1-2024031511490609425764>, Zugriff am 03.02.2025

Friedrich, K.; Niermann, D.; Haeseler, S.; Bissolli, P.; Imbery, F. (2025): Klimatologischer Rückblick 2024. [www.DWD.de](http://www.DWD.de), Zugriff am 03.02.2025

Plückhahn, B.; Brömser, A.; Janssen, W.; Krauthan, E. (2023): Globale Erwärmung – höheres Risiko für Spätfrostschäden? [www.DWD.de](http://www.DWD.de), Zugriff am 03.02.2025

## Prognose von multisektoralen Wasserbedarfen und -dargeboten in Deutschland

FLORIAN ZAUN, TANJA VOLLMER, THILO STRECK, TOBIAS WEBER, BIRGIT MARIA MÜLLER, SEBASTIAN STURM, TIM AUS DER BEEK

### 1 Einleitung

Der Klimawandel und andere dynamische Veränderungen, wie der demografische Wandel, stellen die öffentliche Wasserversorgung in Deutschland vor Herausforderungen. Das im Rahmen des DVGW-Zukunftsprogramms Wasser durchgeführte Forschungsprojekt „WatDEMAND“ („Multi-sektorale Wasserbedarfsszenarien für Deutschland und Abschätzung zukünftiger Regionen mit steigender Wasserknappheit“) trägt durch bundesweite, regionalisierte Prognosen von Wasserbedarfen in den Sektoren Haushalte und Kleingewerbe, Industrie und Landwirtschaft zu einem bundesweiten Überblick von Regionen bei, die zukünftig vermehrt Wasserengpasssituationen erfahren könnten. Dafür wurden in einem Top-down-Ansatz multi-sektorale Wasserbedarfsprognosen für die Zeitscheiben 2021 bis 2050, 2036 bis 2065 und 2069 bis 2098 auf Ebene der Landkreise und kreisfreien Städte erstellt und mit Szenarien zur Grundwasserneubildung verschnitten, um potenzielle zukünftige Wasserengpassregionen abzuleiten. Der Fokus auf die Grundwasserneubildung ist gerechtfertigt, da in der bundesweiten Betrachtung die Trinkwassergewinnung aus Grundwasser gegenüber anderen Wasserarten deutlich überwiegt.

### 2 Projekt WatDEMAND

Im Rahmen des Projekts WatDEMAND wurden je nach Bedarfssektor zwei oder drei Szenarien berechnet, nachfolgend wird jeweils das Szenario mit den höchsten prognostizierten Wasserbedarfen dargestellt. Die Ergebnisse der einzelnen Sektoren wurden dann miteinander verrechnet, um den Gesamtbedarf zu ermitteln. Im Weiteren wird dies als das „Standardszenario“ bezeichnet. Für den Wasserbedarf „Haushalte und Kleingewerbe“ wurde das Szenario mit den relevanten Randbedingungen und Annahmen für Bevölkerungsentwicklung (gleichbleibend), Klimawandel (Zunahme an Sommertagen und heißen Tagen), technische Innovation (Pro-Kopf-Bedarf konstant), Wasserpreis (langfristige Inflation) und Haushaltsgröße (abnehmend) erstellt.

Der industrielle Bedarf geht von einer moderaten Dynamik der Industrieentwicklung aus – Einsparungen durch Kreislaufführung werden durch Mehrverbräuche bei Neuansiedlungen auf Bundesebene in etwa ausgeglichen. Dominierende Trends im industriellen Wasserbedarf sind deutlich rückgehende Kühlwasserbedarfe bei den Kraftwerken und nachgelagert eine steigende Wasserstoffproduktion. Der landwirtschaftliche Bedarf wird durch eine zunehmende Bewässerung dominiert. Industrielle und landwirtschaftliche Bedarfe sind stark lokal bis regional geprägt.

Die großräumigen WatDEMAND-Ergebnisse sind in jedem Sektor nach wissenschaftlich begründeten Kriterien aus bestehenden Daten und statistischen Informationen abgeleitet und somit nachvollziehbar. Die Genauigkeit der Aussagen kann durch detailliertes lokales/regionales Wissen, z. B. Wasserentnahmerechte, Industriebedarfe und industrieller Entwicklung in Vor-Ort-Untersuchungen verbessert werden. Aus



diesem Grund sollten die Wasserbedarfsprognosen aus WatDEMAND ausschließlich für die Trendabschätzung und Vergleiche der Wasserbedarfe auf überregionaler Ebene verwendet werden. Die Aussagen zu regionalen und bundesweiten Durchschnitten dürfen nicht in dem Sinne fehlinterpretiert werden, dass regional sehr wohl starke Zunahmen (z. B. in wachsenden Ballungsräumen) oder Abnahmen (bei Bevölkerungsabwanderung oder Produktionseinstellung) auftreten können. WatDEMAND kann lokale Detailstudien, z. B. Bedarfsnachweise für die Beantragung von Wasserentnahmerechten im Haushalts- und Kleingewerbesektor auf Basis des DVGW W 410 nicht ersetzen.

Der Gesamtwasserbedarf im Sektor „Haushalte und Kleingewerbe“ in Deutschland beträgt im Referenzzeitraum 1998 bis 2019 im Mittel ca. 3,7 Mrd. m<sup>3</sup>/a. Im Standardszenario kommt es beim Gesamtwasserbedarf im Sektor „Haushalte und Kleingewerbe“ in Deutschland zu einem Anstieg auf rd. 3,9 Mrd. m<sup>3</sup>/a bis zur Mitte und 4,1 Mrd. m<sup>3</sup>/a bis zum Ende des Jahrhunderts. Hauptfaktoren der Entwicklung des Wasserbedarfs in diesem Sektor ist die Bevölkerungsentwicklung sowie die Zunahme des Wasserbedarfs an Sommertagen und heißen Tagen. Die Bandbreite der Änderungen in einzelnen Landkreisen umfasst Rückgänge von ca. 2 Mio. m<sup>3</sup>/a bis zu Zunahmen von ca. 50 Mio. m<sup>3</sup>/a in einzelnen Kreisen.

Für den industriellen Wasserbedarf für Produktions- und Personalzwecke ist im Standardszenario insgesamt mit einem leichten Anstieg, um ca. 3 % zu rechnen. Im Referenzzeitraum 2007 bis 2019 beläuft sich der industrielle Wasserbedarf für Produktions- und Personalzwecke im Mittel auf ca. 2,96 Mrd. m<sup>3</sup>/a. Bis zum Ende des Jahrhunderts wird mit einem gleichbleibenden Bedarf von ca. 3,06 Mrd. m<sup>3</sup>/a für ganz Deutschland gerechnet. Gleichzeitig verringert sich der Kühlwasserbedarf, der hauptsächlich aus Oberflächengewässern gedeckt wird, im gleichen Zeitraum von 21 auf 6 Mrd. m<sup>3</sup>/a.

Die bewässerte landwirtschaftliche Fläche wird sich in Deutschland aufgrund des Klimawandels im Standardszenario bis zum Ende des Jahrhunderts knapp verdreifachen. In der Folge stellt sich eine knappe Verdreifachung der Bewässerungsmengen ein, die sich bei Berücksichtigung einer möglichen zusätzlichen Auflauf- und Zwischenfruchtbewässerung auf den Faktor 3,3 erhöht, sodass der Wasserbedarf von 0,35 auf 1,2 Mrd. m<sup>3</sup>/a steigt.

Simulationen der Grundwasserneubildung auf Grundlage von Klimaprojektionen zeigen im Ensemblemedian und bezogen auf 30-jährige Mittelwerte der Zeitscheiben 2021 bis 2050, 2036 bis 2065 und 2069 bis 2098 unter Annahme des RCP 8.5 gleichbleibende oder leicht steigende Grundwasserneubildungsraten in weiten Teilen Deutschlands. Regional begrenzt, vor allem im Südwesten Deutschlands, können jedoch auch sinkende Grundwasserneubildungsraten auftreten. Im 25. Perzentil des Modellensembles treten unter RCP 8.5 meist gleichbleibende oder zunehmende Grundwasserneubildungsraten auf. Der Südwesten Deutschlands ist jedoch auch in diesem Szenario von einem deutlichen Rückgang der Grundwasserneubildung geprägt.

Um für die regionale Wasserversorgung nachteilige Entwicklungen in Bezug auf die Bilanz zwischen vorwiegend aus Grundwasser gedecktem Wasserbedarf und Grundwasserneubildung zu erkennen, wurde der Risiko-Index Wasserbilanz RIWB als Indikator definiert. Der RIWB ist allerdings in Regionen mit einem höheren Anteil an Oberflächenwasserversorgung nur bedingt aussagekräftig. In den Prognosezeiträumen 2021 bis 2050 und 2036 bis 2065 bleibt der RIWB für die Mehrheit der Landkreise und kreisfreien Städte „weitgehend gleich“. In der zweiten Hälfte des Jahrhunderts erhöht sich das Risiko für zunehmenden Wasserstress in einzelnen Regionen, es nimmt der Anteil an einem steigenden RIWB von zunächst 10 auf 33 % zu.

Die Ergebnisse der Top-down-Prognosen in WatDEMAND wurden mit fünf regionalen Wasserbedarfsprognosen (Standorte Niedersachsen, Berlin, Rhein-Main-Gebiet, Nienburg/Weser und Grevenbroich/Niederrhein) verglichen. Die Prognoseergebnisse von WatDEMAND und Regionalprognosen weichen zum Teil

deutlich voneinander ab, unterstützen jedoch eine klare Identifikation der wesentlichen Treiber in den verschiedenen Sektoren. Für Haushalte und Kleingewerbe sind abweichende Bevölkerungsprognosen die wesentliche Ursache für unterschiedliche Ergebnisse. Insofern ist auf Qualität, Breite und Aktualität der verwendeten Studien besonders zu achten. Im Industriebereich ist die bundesweite Datenlage nicht ausreichend, sodass eine lokale bis regionale Bewertung in jedem Falle erfolgen muss. Auch für den landwirtschaftlichen Wasserbedarf ist die Datenlage schlecht, selbst den zuständigen Behörden sind häufig nur die Wasserrechte, nicht aber die tatsächlichen Entnahmen bekannt. Prognoserechnungen zum zukünftigen landwirtschaftlichen Bedarf sind im bundesweiten Durchschnitt plausibel, für regionale Aussagen fehlen aber die belastbaren Informationen zu Bewässerungskulturen, zukünftigen Flächenbedarfen, Änderungen im Anbau von Feldfrüchten und Bewässerungstechnik. Als Fazit sind regionale Wasserbedarfsprognosen für die rational begründete Anpassung des Versorgungssystems unverzichtbar.

### 3 Zusammenfassende Ergebnisse

Die wichtigsten Trendaussagen auf Bundesebene aus WatDEMAND sind:

- Der Wasserbedarf für Haushalte und Kleingewerbe wird unter der Annahme einer deutschlandweit gleichbleibenden Bevölkerung von 3,7 auf bis zu 4,1 Mrd. m<sup>3</sup>/a leicht zunehmen.
- Der industrielle Bedarf für Produktionszwecke und die Belegschaft wird über alle Industriezweige deutschlandweit grundsätzlich als stabil bei etwa 3 Mrd. m<sup>3</sup>/a eingeschätzt. Signifikante Mehrbedarfe können vor Ort bei einer Ansiedelung von neuen Produktionsstandorten entstehen. Eine Minderung des Kühlwasserbedarfs bei den Kraftwerken steht zukünftig ein neuer Bedarf der H<sub>2</sub>-Elektrolyse gegenüber, der aber deutlich geringer ausfällt. Regionale Standortentscheidungen sind auch hier der entscheidende Treiber.
- Landwirtschaftlicher Bewässerungsbedarf wird sich mit der erwarteten Verdreifachung der Bewässerungsflächen in etwa um den Faktor 3,3 erhöhen und erreicht dann zum Ende des Jahrhunderts bis zu 1,2 Mrd. m<sup>3</sup>/a. Regionale Standortbedingungen der Landwirtschaft sind hier entscheidende Auslöser.
- Das in Deutschland verfügbare Wasserdargebot, extrapoliert mit den erwarteten Änderungen durch den Klimawandel, reicht im bundesdeutschen Schnitt aus, die erwarteten Bedarfe in allen Sektoren bis ins Jahr 2100 zu decken. Regional können abhängig von Bevölkerungsentwicklung, Industrieansiedlungen und Landwirtschaft jedoch durchaus saisonale oder dauerhafte Engpässe auftreten, für die die regionale Wasserinfrastruktur mitlaufend angepasst werden muss. Temporär werden Dürren zukünftig häufiger und intensiver auftreten und Engpässe erzeugen, im langjährigen Mittel können die Wasserbedarfe jedoch gedeckt werden.

## Naturnaher Landschaftswasserhaushalt: ein geeignetes Paradigma für den Umgang mit Wasser im Klimawandel?

DIETRICH BORCHARDT

### 1 Einleitung

Die Auswirkungen des Klimawandels werden in Mitteleuropa zunehmend messbar und manifest mit erheblichen Auswirkungen auf verschiedenste Lebens- und Wirtschaftsbereiche. Klimaprojektionen deuten zudem auf eine weitere Zunahme von Extremwetterereignissen mit einem erhöhten Risiko von Dürreperioden, gepaart mit Hitzewellen, wie in den Jahren 2003, 2018 bis 2020, oder regionalen Starkregen, wie beim Hochwasser im Ahrtal 2021 oder in Nordwestdeutschland im Winter 2023/2024, hin. Bei einer durchschnittlichen globalen Erwärmung von weiteren 1,5, 2 oder 3 °C werden die Auswirkungen des Klimawandels auch auf den regionalen Wasserhaushalt noch gravierender (Samaniego et al. 2018).

Gleichzeitig verändern sich die Wassernutzungen teilweise erheblich: zurückgehend etwa durch den Wegfall des Kühlwasserbedarfs thermischer Kraftwerke, den Rückgang des Bergbaus, den geringeren Bedarf im verarbeitenden Gewerbe und in der öffentlichen Wasserversorgung. Ansteigend hingegen im Hinblick auf den Bewässerungsbedarf in der Landwirtschaft, untertägige und oberirdische saisonale Wärmespeicher, die thermische Nutzung der Oberflächengewässer, die Wasserstoffproduktion und die Wärmepufferung in den Städten (BMUV 2023). Deren Auswirkungen gilt es so zu begrenzen, dass gleichzeitig die Integrität des Wasserkreislaufs, der ökologische Zustand der Fließ- und Standgewässer, deren ökologische Funktionsfähigkeit und die aquatische Biodiversität gesichert werden.

Wasser- und Ressourcenwirtschaft stehen damit vor großen Herausforderungen, die mit Erfahrungswissen nicht zu bewältigen sein werden. Es wird eine vorausschauende, sektorenübergreifende Bewirtschaftung des Wasserkreislaufs und damit des Landschaftswasserhaushaltes erforderlich, mit neuartigen Wasserinformationssystemen und technisch-regulativen Anpassungen.

### 2 Wasserhaushalt

#### 2.1 Natürliche Wasserspeicher und Wasserflüsse

Treffen feuchte Luftströme auf Land, werden sie durch Gebirge, Vegetationsflächen, Sonneneinstrahlung u. a. m. auf vielfältige Weise beeinflusst, gebremst und abgelenkt. Entscheidend für die terrestrischen Wasserkreisläufe ist, in welchem Maße die Transportkapazität der Atmosphäre für Wasser verändert wird, wie viel des transportierten Wasserdampfes regional kondensiert und als Niederschlag auf die Landoberflächen fällt. Über Landmassen teilt sich das Wasser entlang der natürlichen Wasserflüsse zwischen den unterschiedlichen Wasserspeichern, wie dem Wasserdampf in der Atmosphäre, der Bodenfeuchte, den Oberflächengewässern, dem Grundwasser und dem in Tiere und Pflanzen gebundenen Wasser auf. Um dieses komplexe Geschehen zu veranschaulichen, wurde das Konzept des „blauen“ und „grünen“ Wassers entwickelt.

Das Wasser in Flüssen und Seen, das Grundwasser und das in den Gletschern gespeicherte Wasser wird als „blaues Wasser“ bezeichnet. Dieses macht nur einen Teil des Süßwasservorkommens der Erde aus (circa

3% des global vorhandenen Wassers ist überhaupt Süßwasser), davon wiederum ist nur ein geringer Anteil für den Menschen nutzbar, steht als Bodenfeuchte der Vegetation zur Verfügung oder bildet die Seen und Flüsse als Ökosysteme (Abb. 1).

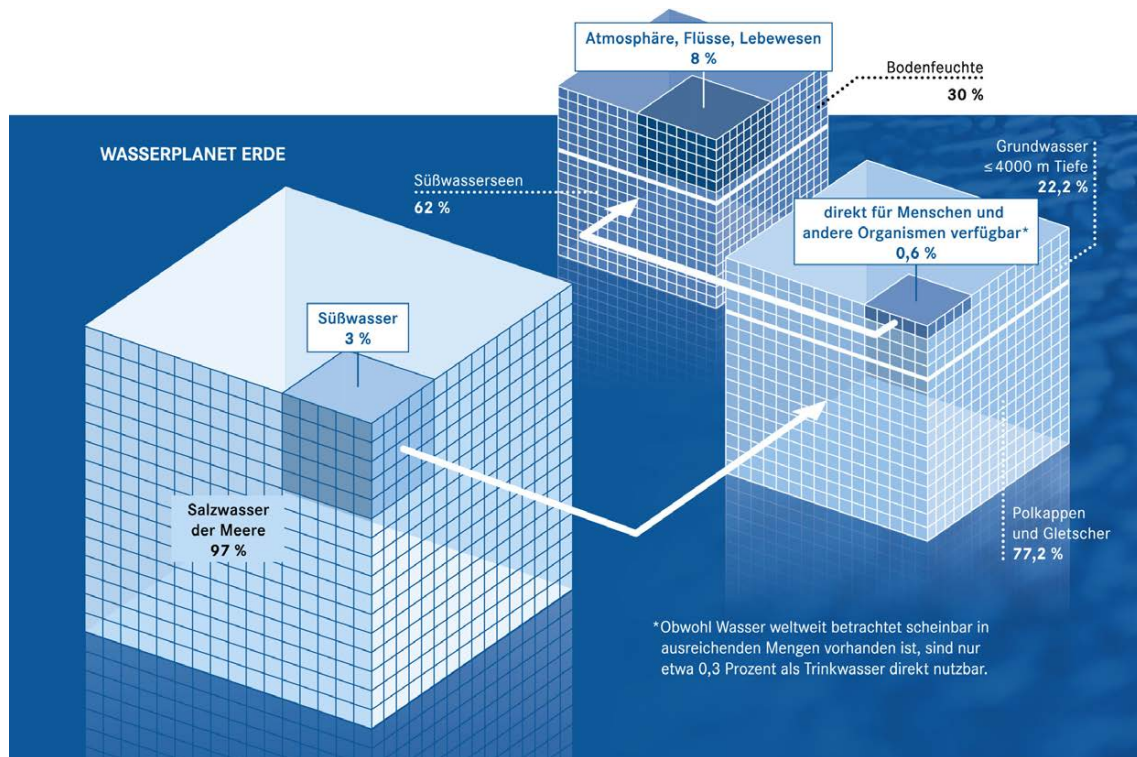


Abb. 1: Aufteilung des globalen Wassers in seine Anteile an Salzwasser und Süßwasser (© Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ)

Global regnen geschätzt rund  $117.600 \text{ km}^3$  Wasser pro Jahr über Land ab, das entspricht etwa dem fünffachen Volumen der gesamten Ostsee. Doch daraus werden aber nur rund  $12.000 \text{ km}^3$  nutzbares Süßwasser, also etwa 1/10, weil der überwiegende Teil des Niederschlags verdunstet ( $71.800 \text{ km}^3$ ) oder in die Ozeane fällt. Der verbleibende Niederschlagsüberschuss über den Landgebieten speist die Flüsse und in ihrem Verlauf über die weit verzweigten Fließgewässernetze andere Standgewässer, wie Seen und Talsperren sowie viele wasserabhängige Ökosysteme, wie Feuchtgebiete und Flussauen. In geringerem Umfang gelangen Niederschlagsabflüsse auch über das Grundwasser in die Meere.

Weil die „blauen Wasserflüsse“ auf der Landoberfläche den Gefällegradienten auf der Erdoberfläche folgen, verteilen sie sich und bilden hydrologische Einzugsgebiete, die durch Wasserscheiden voneinander abgegrenzt sind. Sie bilden damit ein Gebiet bzw. eine Fläche, aus der ein Gewässersystem seinen gesamten Abfluss bezieht und es an einem definierten Punkt, dem Auslauf des Einzugsgebietes, wieder weitergibt. Dies kann an der Mündung zu einem nächstgrößeren Fließgewässer der Fall sein oder an der Mündung eines großen Stromes in das Meer.

„Blaues Wasser“ nimmt innerhalb eines Einzugsgebietes natürlicherweise immer einen gerichteten Weg und strebt auf dem kürzesten Wege dem Gefälle folgend dem Gebietsauslass zu. Dadurch bekommt jeder Ort in Bezug auf Wasser eine Eigenschaft, die er ohne das „blaue Wasser“ nicht hätte: er hat Ober-

lieger, aus denen „sein“ Wasser stammt und jeder andere Ort unterhalb von ihm wird zu seinem „Unterlieger“. Dieser fundamentale Zusammenhang hat viele Konsequenzen. Zu den wichtigsten zählt, dass „blaues Wasser“ dadurch mehrfach genutzt werden kann, aufgrund der Mehrfachnutzung aber auch Nutzungskonkurrenzen bis hin zu Nutzungskonflikten entstehen können. Aufgrund dieser Zusammenhänge ist eine nachhaltige Wassernutzung nur möglich, wenn sie den Wasserkreislauf als Ganzes berücksichtigt, einzugsgebietsbezogen erfolgt, die Ober-Unterlieger-Perspektive einbezieht und die Nutzungsansprüche der Menschen, der Wirtschaft mit den Belangen der natürlichen Umwelt ausgleicht.

Der vergleichsweise größere Teil des Wassers, der in Pflanzen und im Boden steckt, wird „grünes Wasser“ genannt. Der „grüne Wasserfluss“ unterscheidet sich fundamental vom „blauen Wasserfluss“, weil der durch die Verdunstung entstehende Wasserdampf in die Atmosphäre gelangt, dort durch Wind und Luftbewegungen über die Einzugsgebietsgrenzen hinweg verfrachtet wird, und erst an anderen, unter Umständen weit entfernten Orten wieder als Niederschlag niedergeht. „Grünes Wasser“ hat in diesem Sinne zwar Oberlieger, aber keine Unterlieger und kann dementsprechend in demselben Einzugsgebiet in der Regel nicht oder nur in geringem Umfang mehrfach genutzt werden.

Ansatzpunkt und Herausforderung eines nachhaltigen Umgangs mit Wasser ist trotzdem, das große Potenzial an „grünem Wasser“ besser verfügbar zu machen oder das Niederschlagswasser als „grünes Wasser“ in Boden und Pflanzen oder als „blaues Wasser“ gezielt zu speichern. Ein Ansatz einer so gedachten „Wasserernte“ ist, die direkte Verdunstung aus dem Boden zu vermindern und die Speicherkapazität von Boden, der Vegetation, von Oberflächengewässern und des Grundwassers für Wasser zu erhöhen und auf diese Weise Zeiten mit Wasserüberschuss zu strecken und Zeiten mit Wasserdefiziten zu verkürzen (Konzept der „Schwammlandschaft“, „Schwammstädte“ oder der „Blau-Grünen-Infrastrukturen“).

## 2.2 Wasserkreislauf und Wassermengen

Ein zentraler Aspekt des Wasserkreislaufs ist seine dynamische Natur. Er wird durch die Prozesse Niederschlag, Verdunstung, Versickerung, Speicherung sowie Abfluss und Versickerung gesteuert, welche eng mit den Landnutzungsarten verknüpft sind – in Deutschland werden etwa 50 % der Landesflächen landwirtschaftlich genutzt, 30 % sind Wälder und 15 % entfallen auf Siedlungen und Verkehr. Dabei spielt der Wasserkreislauf eine zentrale Rolle für die Ressourcennutzung und den Erhalt ökologischer Funktionen.

Ausgeprägt ist die regionale Heterogenität des Wasserhaushalts: In Deutschland schwankt der Niederschlag zwischen rund 500 mm (z.B. in Mitteldeutschland) und bis zu 2.000 mm in den Voralpen. Diese Unterschiede führen zu einer entsprechend variierenden Wasserverfügbarkeit und beeinflussen den Wasserabfluss, die Bodenfeuchte und die Grundwasserneubildung sowie die Verdunstung.

Der Klimawandel verstärkt zunehmend diese Variabilität und führt zu häufigeren Extremwetterereignissen, wie Dürren und Hochwassern (Samaniego et al. 2018). Dies wird insbesondere anhand der Niederschlags- und Temperaturdaten der letzten Jahre deutlich, die in der letzten Dekade häufigere Extremwetterlagen mit regionalen Starkniederschlägen im Wechsel mit überregionalen Trockenperioden, wiederholt gepaart mit Hitzewellen, in bisher ungekannten jahreszeitlichen Verteilungen, Dauern, Eintrittswahrscheinlichkeiten und Auswirkungen zeigen.

Dabei gilt Deutschland mittlerweile als relativ stark vom Klimawandel betroffenes Land und die Auswirkungen werden zunehmend messbar und manifest mit erheblichen Auswirkungen auf verschiedenste Lebens- und Wirtschaftsbereiche (insbesondere Wasserversorgung, menschliche Gesundheit, Forstwirtschaft, Landwirtschaft, Energiewirtschaft, Verkehrswirtschaft und Natur- bzw. Gewässerschutz).

Die volkswirtschaftliche Dimension dieser hydrologischen Klimawandelfolgen im Wasserkreislauf ist erheblich und eng mit den Schäden durch Hitze, Dürre und Hochwasser verbunden. Die extremwetter-

bedingten Schäden werden nach einer aktuellen Studie allein für Deutschland von 2000 bis 2021 auf mindestens 6,6 Mrd. € jährlich geschätzt, mit einer direkten Schadenshöhe von über 114 Mrd. € und mehr als 30 Mrd. € indirekter Schäden (Trenczek et al. 2022).

### 2.3 Wasserkreislauf und Wasserqualität

Damit der Wasserkreislauf und die Süßwasserökosysteme nachhaltig funktionieren können, sind sowohl eine ausreichende Wassermenge als auch eine hinreichende Qualität der Wasserressourcen erforderlich und die Wasserqualität ist wiederum mitentscheidend für die Wassermengen, die für bestimmte Nutzungen zur Verfügung stehen. Diese gegenseitige Abhängigkeit verstärkt sich gegenwärtig wegen des raschen demografischen Wandels, den dynamischen ökonomischen Entwicklungen, der immer intensiveren Landnutzung, dem Umbau der Energiewirtschaft und nicht zuletzt durch den Klimawandel.

Deutschland steht bei der Wasserqualität beispielhaft vor weiterhin großen Herausforderungen. Obwohl die menschengemachten Einträge von Schad- und Nährstoffen in den vergangenen Jahrzehnten zum Teil deutlich zurückgegangen sind und man davon ausging, durch die flächenhaft eingeführte Abwasserreinigung, den Kläranlagenausbau und den im Wesentlichen freiwilligen Maßnahmen in der Landwirtschaft die wichtigsten Probleme gelöst zu haben, bleibt die Belastung vieler Oberflächengewässer und des Grundwassers immer noch sehr hoch (Finckh et al. 2024). Daher werden eine Mehrzahl der national oder europaweit gesetzten Umweltziele verfehlt, mit entsprechenden Konsequenzen für die Umwelt und möglichen Vertragsverletzungsverfahren vor dem Europäischen Gerichtshof (EuGH). Die Krise besteht dabei nicht nur in den nach wie vor zu hohen Nährstoff- und Pestizideinträgen aus der Landwirtschaft, sondern auch in denen aus Alt- und Ewigkeitslasten – und es kommen kontinuierlich neue chemische Substanzen aus verschiedenen Industrie- und Wirtschaftsbereichen, der Haushalte, Krankheitserreger sowie Antibiotikaresistenzen hinzu.

Zudem ist es nicht ausgemacht, dass im Zusammenspiel mit dem Klimawandel, insbesondere bei ausgeprägten Niedrigwasserperioden und gleichzeitig immer wärmer werdenden Gewässern, die Aufnahme-, Abbau- und Transportkapazitäten des Wasserkreislaufs für weitere vom Menschen verursachte Stoffeinträge ausreichen werden, auch für nach dem Stand der Technik gereinigtes kommunales und industrielles Abwasser (Yang et al. 2022).

### 2.4 Wasserkreislauf und Gewässerökosysteme

Über die quantitativen und qualitativen Aspekte des Wasserkreislauf und deren Veränderungen hinaus, muss auf die damit verbundenen Gefährdung der Gewässer als Ökosysteme verwiesen werden, weil in Süßgewässerökosystemen im Vergleich zum Land oder den Meeren der Verlust an Biodiversität überproportional ist.

Auch hier ist Deutschland im Vergleich zu vielen anderen Ländern besonders stark von der Biodiversitätskrise betroffen und gemessen an ökologischen Indikatoren befinden sich nur 8% der Fließgewässer, 25% der Seen und keines der Übergangs- oder Küstengewässer derzeit in einem „guten ökologischen Zustand“ (BMUV/UBA 2022), obwohl dieses Umweltziel gemäß der im Jahr 2000 eingeführten EU-Wasserrahmenrichtlinie eigentlich schon 2015 erreicht worden sein sollte. Dieser Zustand ist mehr als 25 Jahre praktisch unverändert und verglichen mit den Meeres- und Landökosystemen war der Artenverlust im Süßwasser in diesem Zeitraum mindestens doppelt so hoch. Damit trägt die ökologische Wasserkrise maßgeblich zum Biodiversitätsverlust bei.



### 3 Naturnaher Landschaftswasserhaushalt

Die Auswirkungen des Klimawandels werden in Mitteleuropa zunehmend messbar und manifest mit erheblichen Auswirkungen auf verschiedenste Lebens- und Wirtschaftsbereiche. Klimaprojektionen deuten zudem auf eine weitere Zunahme von Extremwetterereignissen (z. B. Dürreperioden, Starkniederschlagsereignisse) hin, auch mit Wirkungen auf den regionalen Wasserhaushalt (Samaniego et al. 2018).

Gleichzeitig verändern sich die Wassernutzungen teilweise erheblich (siehe Kap. 1): Diese Auswirkungen gilt es so zu steuern, dass die Integrität des Wasserkreislaufs, der ökologische Zustand der Fließ- und Standgewässer, deren ökologische Funktionsfähigkeit und die aquatische Biodiversität gesichert werden.

Dabei wird eine vorausschauende, sektorenübergreifende Bewirtschaftung der Wasserressourcen notwendig, die etablierte Zielorientierungen erweitert, neuartige Wasserinformationssysteme entwickelt und technisch-regulative Anpassungen vornimmt.

„Naturnaher Landschaftswasserhaushalt“ ließe sich in diesem Kontext folgendermaßen definieren:

- Der regionale Wasserhaushalt in genutzten Landschaften entspricht „vollständig oder nahezu vollständig“ dem Wasserhaushalt zugehöriger natürlicher Referenzgebiete mit seinen charakteristischen Wasserbilanzgrößen.
- Die Werte für Schlüsselkomponenten der Wasserqualität gehen nicht über Bereiche hinaus, innerhalb derer die Integrität und Funktionsfähigkeit der aquatischen Ökosysteme gewährleistet sind.
- Die Auswirkungen klimabedingter hydrologischer Extreme (Hochwasser, Dürren, kombinierte Ereignisse) können ohne nachhaltig schädigende Folgen für Mensch und Natur beherrscht werden.

Um den Landschaftswasserhaushalt nach diesen Zielsetzungen nachhaltig zu sichern, ist es notwendig, den naturnahen Wasserhaushalt zu fördern und langfristige Anpassungsmaßnahmen zu implementieren. Dazu zählen die Schaffung von Landschaften mit gezielter Abflussverzögerung, Wasserspeicherung und Grundwasserneubildung, die Renaturierung von Gewässern, die Erhaltung von Feuchtgebieten und die Schaffung von Schwammlandschaften, da diese Wasser besser speichern können. Mitigationsmaßnahmen zur Begrenzung der globalen Erwärmung auf 1,5 bis 2 °C müssen auf regionaler Ebene mit Anpassungsmaßnahmen kombiniert werden, um die negativen Folgen des Klimawandels auf den Wasserhaushalt zu bewältigen.

Zusätzlich zur Bewirtschaftung der Wasserressourcen sind moderne Monitoring-Technologien und Datenquellen, insbesondere aus der satellitengestützten Fernerkundung, wie die Satellitengravimetrie, von zentraler Bedeutung, um Wasserdefizite besser frühzeitig zu erkennen und darauf reagieren zu können. Mit einer auf diesen Grundlagen und mit diesen Instrumenten ausgerichteten regionalen Wasserbewirtschaftung kann der Landschaftswasserhaushalt auch unter den Herausforderungen des Klimawandels nachhaltig gesichert werden.

## Literatur

- BMUV (2023): Nationale Wasserstrategie. Kabinettsbeschluss vom 15. März 2023. Berlin, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz, <https://www.bmuv.de/download/nationale-wasserstrategie-2023>, Zugriff am 11.03.2025
- BMUV/UBA (2022): Die Wasserrahmenrichtlinie – Gewässer in Deutschland 2021. Fortschritte und Herausforderungen. Bonn, Dessau, <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/die-wasserrahmenrichtlinie-gewaesser-in-deutschland>, Zugriff am 11.03.2025
- Finckh, S.; Carmona, E.; Borchardt, D.; Büttner, O.; Krauss, M.; Schulze, T.; Yang, S. (2024): Mapping chemical footprints of organic micropollutants in European streams. *Environ. Int.* 183, <https://doi.org/10.1016/j.envint.2023.108371>
- Samaniego, L.; Thober, S.; Kumar, R.; Wanders, N.; Rakovec, O.; Pan, M.; Zink, M.; Sheffield, J.; Wood, E. F.; Marx, A. (2018): Anthropogenic warming exacerbates European soil moisture droughts. *Nature Climate Change* 8, pp. 421–426, <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0138-5>
- Trenczek, J.; Lühr, O.; Eiserbeck, L.; Sandhövel, M. (2022): Übersicht vergangener Extremwetterschäden in Deutschland. Methodik und Erstellung einer Schadensübersicht. Projektbericht „Kosten durch Klimawandelfolgen“ im Auftrag Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
- Yang, S.; Büttner, O.; Kumar, R.; Basso, S.; Borchardt, D. (2022): An analytical framework for determining the ecological risks of wastewater discharges in river networks under climate change. *Earth Future* 10(10), e2021EF002601



## Was bringt die Nationale Wasserstrategie für den Landschaftswasserhaushalt?

JÖRG RECHENBERG, MANUELA HELMECKE, BERND KIRSCHBAUM

### 1 Ausgangssituation

Mit einer Mitteltemperatur von 10,9 °C war das Jahr 2024 in Deutschland das bisher wärmste Jahr seit dem Beobachtungsbeginn 1881. Für 2014 wurde überhaupt das erste Mal eine Mitteltemperatur von über 10 °C registriert. Mit dem Jahr 2024 überschritten mittlerweile aber bereits sieben Jahre diesen Schwellenwert. Im Vergleich zum vieljährigen Mittelwert der internationalen klimatologischen Referenzperiode 1961 bis 1990 ergibt sich für das Jahr 2024 eine Abweichung von +2,7 K, zum aktuellen Vergleichszeitraum 1991 bis 2020 eine Abweichung von +1,6 K (Friedrich et al. 2025).

Die Jahre 2018, 2019, 2020 und 2022 waren durch eine ausgeprägte Trockenheit gekennzeichnet. So wurde zum Beispiel 2018 ähnlich wie 2003 über viele Monate eine negative klimatische Wasserbilanz erfasst (Riedel et al. 2021). Zwar hat seit 1881 die mittlere jährliche Niederschlagsmenge in Deutschland um rund 8 Prozent zugenommen, doch verteilt sich dieser Anstieg nicht gleichmäßig auf die Jahreszeiten. Vielmehr sind insbesondere die Winter deutlich nasser geworden, während die Niederschläge im Sommer zurückgegangen sind (UBA 2024). Im Jahr 2022 betrug das sommerliche Niederschlagsdefizit 40 Prozent im Vergleich zur Referenzperiode 1961 bis 1990. Daraus resultierte die geringste Bodenfeuchte unter Gras seit 1961. Über das gesamte Jahr 2022 gesehen, fielen im Deutschlandmittel rund 670 Liter pro Quadratmeter (l/m<sup>2</sup>). Das war ein Minus von etwa 15 Prozent verglichen mit der Referenzperiode 1961 bis 1990 (789 l/m<sup>2</sup>) (DWD 2022). Infolge des veränderten Niederschlaggeschehens und einer höheren Verdunstung aufgrund des Temperaturanstiegs wurden deutliche Auswirkungen auf den Wasserhaushalt beobachtet. Dies zeigte sich auch in niedrigen Grundwasserspiegeln. Mittlerweile sind diese – zumindest im oberflächennahen Bereich – wieder weitgehend aufgefüllt, nachdem die Jahre 2023 und 2024 niederschlagsreich waren (Friedrich et al. 2025). Das hydrologische Winterhalbjahr von November 2023 bis April 2024 war in Deutschland das nasseste seit Messbeginn (DWD 2024).

Für die zukünftige Entwicklung zeigen die Ergebnisse von Klimaprojektionen für Deutschland einen weiteren Anstieg der Jahresmitteltemperatur von 1 bis 2 °C für die nahe Zukunft (2031 bis 2060). Die Wasserbedarfe werden sich in der Zukunft aufgrund des Klimawandels und sozio-ökonomischen Entwicklungen mengenmäßig, räumlich und zeitlich verändern. Beispielsweise wird für die landwirtschaftliche Bewässerung von Feldfrüchten eine Zunahme der Bewässerungsbedürftigkeit und -würdigkeit für viele Regionen Deutschlands vorhergesagt (Stein et al. 2024).

Wenn weniger Wasser zur Verfügung steht und neue Nutzungsansprüche (wie zum Beispiel weitere landwirtschaftliche Bewässerung oder Wasserstoffproduktion) hinzukommen, werden zukünftig mehr Personengruppen als heute um eine knapper werdende Ressource konkurrieren. Davon wird auch der Landschaftswasserhaushalt massiv beeinflusst. Deshalb muss sichergestellt werden, dass die Bedürfnisse der wasserabhängigen Ökosysteme (Feuchtgebiete, Wälder) auch bei der zukünftigen Bewirtschaftung der Wasserressourcen berücksichtigt werden. Alle Wassernutzerinnen und -nutzer sind deshalb aufgefordert, die Wasserressourcen zu schonen, d. h. mit Wasser sparsam umzugehen und das entnommene Wasser so effizient wie möglich zu verwenden sowie die Gewässer und das Grundwasser nicht zu verschmutzen. Um

dies zu gewährleisten, muss der Staat die Rahmenbedingungen für eine klimaangepasste Wasserbewirtschaftung setzen. Dafür hat die Bundesregierung mit der Verabschiedung der Nationalen Wasserstrategie (NWS) am 15.03.2023 die Grundlage geschaffen.

## 2 Die Nationale Wasserstrategie

### 2.1 Hintergrund und Ziele

Ausgangspunkt der Arbeiten an einer Nationalen Wasserstrategie (NWS) war für das Bundesumweltministerium und das Umweltbundesamt die Erkenntnis, dass die deutsche Wasserwirtschaft vor großen Herausforderungen steht: Vom Klimawandel verursachte Extremereignisse wie Starkregen und Hochwasser auf der einen Seite und Trockenheit und Dürre auf der anderen Seite, demografische Entwicklungen, Landnutzungsänderungen, technologische Neuerungen, verändertes Konsumverhalten, alternde Infrastrukturen und Fachkräftemangel bedeuten umfassende Veränderungen für Wasserversorgung, Abwasserentsorgung und den Schutz der Wasserressourcen, die nicht allein durch lokale Maßnahmen bewältigt werden können.

In der Nationalen Wasserstrategie werden die Visionen und die Ziele bis zum Jahr 2050 beschrieben. Daneben sind wesentliche Aktionen benannt, die von Bund, Ländern und Kommunen, aber auch von Akteuren aus Wasserwirtschaft, Industrie und der Landnutzung in den kommenden Jahren vorrangig umgesetzt werden sollten, damit die erforderlichen Entwicklungen für die Realisierung der Visionen und Ziele bis 2050 eingeleitet werden (Geidel et al. 2021).

Langfristig soll der Zugang zu qualitativ hochwertigem Trinkwasser erhalten, der verantwortungsvolle Umgang mit Grund- und Oberflächengewässern gewährleistet und der natürliche Wasserhaushalt und die ökologische Entwicklung unserer Gewässer unterstützt werden. Die 78 Maßnahmen des Aktionsprogramms zur Nationalen Wasserstrategie sollen schrittweise bis 2030 umgesetzt werden.

Die Strategie gliedert sich in 10 strategische Themen:

- Den naturnahen Wasserhaushalt schützen, wiederherstellen und dauerhaft sichern – Wasserknappheit und Zielkonflikten vorbeugen
- Gewässerträgliche und klimaangepasste Flächennutzung im urbanen und ländlichen Raum realisieren
- Nachhaltige Gewässerbewirtschaftung weiterentwickeln – guten Zustand erreichen und sichern
- Risiken durch Stoffeinträge begrenzen
- Wasserinfrastrukturen klimaangepasst weiterentwickeln – vor Extremereignissen schützen und Versorgung gewährleisten
- Wasser-, Energie- und Stoffkreisläufe verbinden
- Leistungsfähige Verwaltungen stärken, Datenflüsse verbessern, Ordnungsrahmen optimieren und Finanzierung sichern
- Meeresgebiete (Nord- und Ostsee) intensiver vor stofflichen Einträgen vom Land schützen
- Bewusstsein für die Ressource Wasser stärken
- Gemeinsam die globalen Wasserressourcen nachhaltig schützen

Nicht alle, aber viele der strategischen Themen und der 78 Aktionen betreffen auch die „Wasserverfügbarkeit“ und den „Landschaftswasserhaushalt“.

## 2.2 Aktionen der Nationalen Wasserstrategie, die den Landschaftswasserhaushalt adressieren

Diverse Aktionen der NWS adressieren den „Landschaftswasserhaushalt“ und die Themen „Wasserverfügbarkeit, Trockenheit und Dürre“ direkt, insbesondere im strategischen Thema 1 „Den naturnahen Wasserhaushalt schützen, wiederherstellen und dauerhaft sichern – Wasserknappheit und Zielkonflikten vorbeugen“. Andere Aktionen haben darauf eher indirekte Auswirkungen. Die Aktionen können hier nicht alle dargestellt werden, die wichtigsten lassen sich wie folgt gruppieren:

### A: Aktionen zur besseren Steuerung der Wasservorräte und zum Ausgleich von Nutzerkonflikten

Benötigt werden eine bessere Kenntnis über die Ist-Situation und die zukünftigen Entwicklungen sowie Verfahren für den Ausgleich von Nutzungsinteressen. Dazu dienen vor allem folgende Aktionen:

#### Aktion 1: Prognosefähigkeit der Wasserhaushaltsanalysen verbessern

Dieser Aktion liegt die Erkenntnis zugrunde, dass man messen muss, was man steuern will. Es liegen zwar auf den verschiedenen Ebenen und bei verschiedenen Stakeholdern eine Vielzahl von wasserwirtschaftlich relevanten Daten vor, diese müssen jedoch für ein integriertes Wassermanagement noch transparenter zugänglich gemacht, teilweise ergänzt und teilweise zusammengeführt werden. Ziel der Aktion 1 ist es, eine umfassende, flächendeckende prognostische wasserwirtschaftliche Bilanzierung aufzubauen, die sowohl regionale wie überregionale Analysen und die Ableitung geeigneter übergeordneter Maßnahmen zur Gewährleistung eines möglichst naturnahen, regionalen Wasserhaushalts – unter Einbeziehung des Wasserbedarfs der wasserabhängigen Ökosysteme – ermöglicht und Grundlagen für die Bewertung von Einzelvorhaben bereitstellt.

#### Aktion 2: Einrichtung eines Niedrigwasserinformationssystems (NIWIS) in Zusammenarbeit mit den Ländern

Bei der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) wird in Zusammenarbeit mit den Ländern ein bundesweites, nutzergruppenspezifisiertes Niedrigwasserinformationssystem (NIWIS) entwickelt, aufgebaut und dauerhaft betrieben. Damit wird der zunehmende Bedarf an fundierten, aufbereiteten Daten, Informationen und Analysen für die Beurteilung und Bewirtschaftung von Niedrigwasserereignissen adressiert. Der operationelle Start des Dienstes ist für 2025 geplant (BfG 2024).

#### Aktion 3: Einheitliche Definition von Kenngrößen zu Niedrigwasser und Wassermangel

Es sollen bundesweit einheitliche Definitionen von Indikatoren und Parametern zur Charakterisierung von Niedrigwasser, Trockenheit und Dürre erarbeitet werden. Dafür ist ein gemeinsames Verständnis über die Verwendung von Daten, Methoden und Standards (zum Beispiel Abstimmung von Klimaszenarien, Projektionszeiträumen, Schwellenwerten, Warnklassen) erforderlich. Einheitliche Kenngrößen bieten eine notwendige Grundlage zur Harmonisierung von Informations-, Prognose- und Warnsystemen. Dies ist eine Aufgabe, an der derzeit in diversen Bund-Länder-Arbeitsgruppen gearbeitet wird.

#### Aktion 4: Grundwasser-Echtzeitentnahmemonitoring aufbauen

Vielfach sind lediglich die genehmigten, aber nicht die tatsächlichen Wasserentnahmen bekannt. Insbesondere dort, wo Nutzergruppen keine Wasserentnahmeentgelte zahlen müssen, liegen dazu keine Daten vor und die Steuerung der Ressourcen ist schwierig. Erlaubnisfreie Entnahmen nach § 46 Wasserhaushaltsgesetz (WHG) werden ohnehin bisher nicht erfasst. Es soll deshalb ein repräsentatives, quantitatives Grundwasser-Echtzeitentnahmemonitoring der tatsächlich entnommenen Wassermengen entwickelt werden, das als Basis für ein risikoorientiertes Grundwassermanagement dienen soll.

### **Aktion 6: Leitlinie für den Umgang mit Wasserknappheit entwickeln**

Die vergangenen Trockenjahre 2018 bis 2020 und 2022 haben gezeigt, dass die Öffentlichkeit durchaus sensibel auf Warnungen der Behörden vor Wasserknappheit reagiert, aber sich bei verordneten Einschränkungen für die Priorisierung der Nutzungen ein fachlich abgestimmtes und nachvollziehbares Konzept wünscht. Deshalb soll mit einer bundesweit abgestimmten Leitlinie, die gemeinsam mit den Ländern und im Dialog mit den Interessengruppen entwickelt wird, ein einheitlicher Orientierungsrahmen für lokale oder regionale Priorisierungsentscheidungen geschaffen werden, der insbesondere sicherstellen soll, dass jederzeit ausreichende, möglichst ortsnahe Ressourcen für die Trinkwasserversorgung zur Verfügung stehen. Ergänzend werden Regeln und Kriterien für transparente Entscheidungen über gegebenenfalls erforderliche Nutzungspriorisierungen im Fall regionaler temporärer Wasserknappheit und Bodentrockenheit erarbeitet. Die besondere Bedeutung der Versorgung der Bevölkerung mit Trinkwasser (Vorrang der Trinkwasserversorgung) und anderer kritischer Bereiche der Daseinsvorsorge (zum Beispiel Lebensmittel- und Gesundheitsversorgung) sowie die ökologischen und ökonomischen Wasserbedarfe werden berücksichtigt. An diesem Konzept wird derzeit bereits gearbeitet. Die dort erzielten (Zwischen-)Ergebnisse sollen in Stakeholder-Dialogen mit der interessierten Öffentlichkeit diskutiert werden. Diese Aktion ist eng verbunden mit Aktion 48.

### **Aktion 48: Strukturen der Partizipation und Mediation schaffen – Empfehlungen zur regionalen Wasserverteilung nutzen**

Die Schaffung von Strukturen der Partizipation und Mediation (zum Beispiel Wasserbeiräte) wird geprüft. Diese sollen unter Beteiligung aller zuständigen Behörden (Kommune, Land, Bund) die Umsetzung der nationalen Vorgaben zur Wassernutzung begleiten, regionale Wasserverteilungen empfehlen und sich vor allem für die Akzeptanz und den Erfolg dieser Vorgaben einsetzen und damit zur Beschleunigung von Verfahren beitragen. Diesen Beteiligungsformen kommt die Aufgabe zu, auf einen Ausgleich zwischen den wasserwirtschaftlichen Interessen einschließlich der Trinkwasserversorgung und den Belangen der Land- und Forstwirtschaft, der Industrie, der Grundstückseigentümer, der Fischerei und Aquakultur, der Binnenschifffahrt, der Erholungsnutzung (Wassersport) und des Naturschutzes hinzuwirken.

### **B: Aktionen zur Sicherung der Wasserressourcen**

Ziel dieser Aktionen ist es, Wasser länger in der Landschaft zu halten, zu speichern, aber auch die vorhandenen Ressourcen so vor Verschmutzung zu schützen, dass sie für menschliche Nutzungen und die (Gewässer-)Ökologie uneingeschränkt zur Verfügung stehen. Das spielt besonders bei Extremereignissen (Starkregen, Hochwasser) eine Rolle, wenn es zu Mischwasserüberläufen, Abschwemmungen und aufgewirbelten verschmutzten Gewässersedimenten kommt. Folgende Aktionen adressieren diese Thematik:

### **Aktion 12: Verbesserung des Bodenschutzes, des Bodenwasserhaushalts und der Grundwasserneubildung**

Dazu wird derzeit das Bundesbodenschutzgesetz (BBodSchG) evaluiert und an die Herausforderungen des Klimaschutzes, der Klimaanpassung und den Erhalt der Biodiversität angepasst. Dabei werden die unterschiedlichen Nutzungen berücksichtigt. Dies beinhaltet auch die Betrachtung der natürlichen Bodenfunktion im Hinblick auf den Bodenwasserhaushalt, den Wasserrückhalt in der Fläche und die Grundwasserneubildung. Die Ergebnisse sind die Grundlage für eine Novellierung des BBodSchG in der nächsten Legislaturperiode.

#### **Aktion 20: Versiegelung reduzieren – Entsiegelungsprojekte stärken**

In einem Dialogformat unter Einbeziehung relevanter Stakeholder (Länder, Kommunen, Wirtschaft, Landwirtschaft, Verbände und andere) soll geprüft werden, wie Hemmnisse abgebaut und die bestehenden Gesetze und Förderinstrumente gegebenenfalls so weiterentwickelt werden können, dass die Bodenversiegelung reduziert und die Entsiegelung deutlich gesteigert werden kann. Von dem in der Deutschen Nachhaltigkeitsstrategie verankerten Flächenziel von durchschnittlich unter 30 Hektar Versiegelung pro Tag sind wir immer noch weit entfernt (DESTATIS 2022).

#### **Aktion 21: Flächenbedarfe für Auenentwicklung und Gewässerentwicklungskorridore ermitteln und planerisch verankern**

Der Flächenbedarf für Auenentwicklung und Gewässerentwicklungskorridore ist von den zuständigen Wasserwirtschafts- und Naturschutzverwaltungen unter fachlichen Gesichtspunkten sowie unter Berücksichtigung eines nachhaltigen Wassermengen- und Sedimentmanagements, der Ansprüche des Naturschutzes und der Wasserwirtschaft zu ermitteln. Für eine vorsorgliche Standortsicherung für raumbedeutsame Maßnahmen der Gewässerentwicklung wird der Regionalplanung die notwendige Flächengröße der Korridore entlang der Fließgewässer von der zuständigen Wasserwirtschaftsverwaltung bekannt gemacht, um diese planerisch zu berücksichtigen.

#### **Aktionen 25 bis 40: Risiken durch Stoffeinträge minimieren**

Eine Vielzahl von Aktionen zum Schutz der Gewässer vor Stoffeinträgen enthält das strategische Thema 4 „Risiken durch Stoffeinträge minimieren“. Diese zielen allesamt darauf ab, die Gewässer (Grundwasser, Flüsse, Seen und Meere) so schadstofffrei wie möglich zu halten. Dies dient zum Schutz der im und um die Gewässer lebenden Tiere und Pflanzen. Außerdem soll dies sicherstellen, dass die Gewässer weiterhin für menschliche Nutzungen ohne Gesundheitsbedenken, zum Beispiel als Ressource für die Trinkwassergewinnung, landwirtschaftliche, gewerbliche und industrielle Verwendungen oder als Badegewässer zur Verfügung stehen.

#### **Aktionen 41 bis 44: Wasserinfrastrukturen klimaangepasst weiterentwickeln – vor Extremereignissen schützen und Versorgung gewährleisten**

Diese Aktionen umfassen die Entwicklung von bundesweit einheitlichen konzeptionellen Leitlinien für die künftige Ausgestaltung von Wasserinfrastrukturen hin zu mehr Klimaresilienz und Multifunktionalität (Aktion 41), die Entwicklung von messbaren Klimaanpassungszielen für Wasserinfrastrukturen (Aktion 42), die Hebung von Synergien beim Hoch- und Niedrigwasserrisikomanagement (insbesondere Speichermanagement) und die Klimafitness von (technischen) Regelwerken (Aktion 44).

#### **C: Aktionen zur effizienteren Wassernutzung**

Diese Aktionen haben zum Ziel, die Wasserbedarfe der menschlichen Nutzungen zu reduzieren und damit die Wasserverfügbarkeit zu erhöhen und den Wasserhaushalt zu entlasten.

#### **Aktion 5: Wasserregister und Abbau von Ausnahmen von der Erlaubnispflicht bei Grundwasserentnahmen**

Die bestehenden WHG-Regelungen zum Wasserbuch sollen zu einem umfassenden, transparenten Wasserregister aller genehmigten, beantragten und tatsächlichen Grundwasserentnahmen weiterentwickelt

werden. Die bisherigen Ausnahmen von der Erlaubnispflicht (§ 46 Absatz 1 WHG) und die Einführung von Bagatellgrenzen für die Erlaubnispflicht werden geprüft. Von der Erfassung bisher unregulierter Entnahmen erhofft man sich eine bessere Steuerungsmöglichkeit, insbesondere in Trockenzeiten.

#### **Aktion 10: Maßnahmen zur nachhaltigen Wassermengennutzung**

Um einer Übernutzung der verfügbaren Wasserressourcen vorzubeugen, soll gezielt nach technischen Lösungen gesucht werden, um den Wasserverbrauch in Energieerzeugung, Industrie, Gewerbe, Landwirtschaft und bei der öffentlichen Wasserversorgung zu senken (Demand Management). Die Forschungsergebnisse sollen genutzt werden, um unter anderem Standards für eine effiziente Wassernutzung nach dem Stand der Technik zu erarbeiten und die Produktion von wassersparenden Produkten und Anwendungen zu erleichtern.

#### **D: Aktionen zur Erschließung alternativer Ressourcen**

Um die vorhandenen Wasservorräte zu schonen, sind Aktionen vorgesehen, die darauf abzielen, auf bisher nicht genutzte, den Wasserhaushalt weniger belastende Wasserquellen zurückzugreifen.

#### **Aktion 13: Naturnahe Niederschlagswasserbewirtschaftung**

Um dies zu ermöglichen, soll eine Änderung des § 55 Absatz 2 WHG, der momentan der Versickerung keinen Vorrang einräumt, ins Auge gefasst werden mit dem Ziel, der Versickerung den Vorrang zu geben, wo es sinnvoll, verhältnismäßig und umsetzbar ist. Bei der Versickerung soll die Schadstoffbelastung des Niederschlagswassers zum Schutz des Grundwassers vor Verunreinigungen gemäß geltenden technischen Regelwerken (zum Beispiel DWA-A 138, DWA-M 102 bis 104 und entsprechende DIN-Normen) berücksichtigt werden.

#### **Aktion 54: Stärkung der Wasserwiederverwendung**

Für die Wiederverwendung von Abwasser sollen die europäischen Vorgaben (Verordnung (EU) 2020/741 über Mindestanforderungen an die Wasserwiederverwendung) rasch und rechtssicher in deutsches Recht umgesetzt werden. Dazu wurde bereits ein Referentenentwurf zur Änderung des WHG erarbeitet, eine detaillierte Umsetzung in einer deutschen Verordnung ist in Planung. Die Wasserwiederverwendung wird darüber hinaus vor allem in Städten und Regionen mit anhaltender sommerlicher Trockenheit als Klimaanpassungsmaßnahme relevant werden. Aufbauend auf Potenzialanalysen werden Leitplanken für weitere Nutzungen von aufbereitetem Abwasser (zusätzlich zur Umsetzung der EU VO 2020/741) aus Kläranlagen und häuslichem Abwasser entwickelt.

### **3 Fazit und Ausblick**

Es ist davon auszugehen, dass zukünftig mehr Nutzergruppen als heute um die knapper werdende Ressource Wasser konkurrieren werden. Um unsere vom Wasser abhängigen Ökosysteme zu erhalten, den Landschaftswasserhaushalt zu stabilisieren und menschliche Wasserbedürfnisse auch in Zukunft zu befriedigen, müssen auf allen Ebenen (EU, Bund, Länder und Kommunen) und unter Beteiligung aller betroffenen Stakeholder Lösungen erarbeitet werden. Die Nationale Wasserstrategie benennt umfassend die anstehenden Herausforderungen und in Form von konkreten Aktionen die anstehenden Aufgaben. Dabei nimmt sie besonders die Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel in den Fokus und zeigt dafür

zahlreiche notwendige Aktionen auf. Diese adressieren auch und insbesondere die vom Klimawandel verstärkten Extremereignisse wie Starkregen und Hochwasser auf der einen Seite sowie Trockenheit und Dürre auf der anderen Seite. Dabei folgt die Nationale Wasserstrategie einem integrierten Ansatz, der die Lösungsansätze nicht nur auf Seiten der Wasserwirtschaft sieht, sondern Maßnahmen in allen relevanten Sektoren (Industrie, Verkehr, Landwirtschaft, Naturschutz, Verwaltung und Stadtentwicklung) annimmt. Die Nationale Wasserstrategie ist auf den Zeitraum bis 2050 angelegt. Um ihre Ziele zu erreichen, setzt sie auf einen Instrumentenmix aus Förderung, rechtlichen Regelungen, Wissensaufbau und Dialog. Damit liegt ein auf Regierungsebene abgestimmter Katalog von Aktionen auf dem Tisch, zu dem bereits zahlreiche Arbeiten angelaufen sind bzw. sich in Vorbereitung befinden, um einen naturnahen Wasserhaushalt wiederherzustellen und die Wasserwirtschaft klimaresilient zu machen.

## Literatur

- BfG (2024): Niedrigwasserinformationssystem (NIWIS). [https://www.bafg.de/DE/5\\_Informiert/1\\_Portale\\_Dienste/NIWIS/niwis\\_node.html](https://www.bafg.de/DE/5_Informiert/1_Portale_Dienste/NIWIS/niwis_node.html), Zugriff am 28.01.2025
- DESTATIS (2022): Nachhaltigkeitsstrategie für Deutschland, Indikator 11.1.a, Anstieg der Siedlungs- und Verkehrsfläche. <https://dns-indikatoren.de/11-1-a/>, Zugriff am 28.01.2025
- DWD (2024): Deutschlandwetter im Jahr 2024. [https://www.dwd.de/DE/presse/pressemitteilungen/DE/2024/20241230\\_deutschlandwetter\\_jahr\\_2024.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&tv=3](https://www.dwd.de/DE/presse/pressemitteilungen/DE/2024/20241230_deutschlandwetter_jahr_2024.pdf?__blob=publicationFile&tv=3), Zugriff am 28.01.2025
- DWD (2022): Deutschland erlebt eines der zwei wärmsten Jahre und einen Sonnenscheinrekord. [https://www.dwd.de/DE/presse/pressemitteilungen/DE/2022/20221230\\_deutschlandwetter\\_jahr2022\\_news.html](https://www.dwd.de/DE/presse/pressemitteilungen/DE/2022/20221230_deutschlandwetter_jahr2022_news.html), Zugriff am 28.01.2025
- Friedrich, K.; Niermann, D.; Haeseler, S.; Bissolli, P.; Imbery, F. (2025): Klimatologischer Rückblick auf 2024: Das bisher wärmste Jahr in Deutschland. [https://www.dwd.de/DE/leistungen/besondereereignisse/temperatur/20250116\\_klimarueckblick-2024.pdf?jsessionid=7B026C49A597357B4FE3E10E4C601473.live31092?\\_\\_blob=publicationFile&tv=2](https://www.dwd.de/DE/leistungen/besondereereignisse/temperatur/20250116_klimarueckblick-2024.pdf?jsessionid=7B026C49A597357B4FE3E10E4C601473.live31092?__blob=publicationFile&tv=2), Zugriff am 28.01.2025
- Geidel, T.; Dworak, T.; Schmidt, G.; Rogger, M.; Matauschek, C.; Völker, J.; Borchardt, D. (2021): Ausgewählte Fachinformationen zur Nationalen Wasserstrategie. UBA-Texte 86/2021, [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2021-06-03\\_texte\\_86-2021\\_fachinformation\\_wasserstrategie\\_0.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2021-06-03_texte_86-2021_fachinformation_wasserstrategie_0.pdf), Zugriff am 28.01.2025
- Riedel, T.; Nolte, C.; aus der Beek, T.; Liedtke, J.; Sures, B.; Grabner, D. (2021): Niedrigwasser, Dürre und Grundwasserneubildung – Bestandsaufnahme. UBA-Texte 174/2021. [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2022-01-17\\_texte\\_174-2021\\_niedrigwasser\\_duerre\\_und\\_grundwasserneubildung.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2022-01-17_texte_174-2021_niedrigwasser_duerre_und_grundwasserneubildung.pdf), Zugriff am 28.01.2025
- Stein, U.; Tröltzsch, J.; Vidaurre, R.; Schmitt, H.; Bueb, B.; Reineke, J.; Flörke, M.; Uschan, T.; Herrmann, F.; Kollet, S.; Wagner, N.; McNamara, I.; Guggenberger, T.; Barjenbruch, M.; Dworak, T.; Schmidt, G. (2024): Auswirkung des Klimawandels auf die Wasserverfügbarkeit – Anpassung an Trockenheit und Dürre in Deutschland (WADKlim). UBA-Texte 143/2024, [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/2875/dokumente/143\\_2024\\_texte\\_wadklim.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/2875/dokumente/143_2024_texte_wadklim.pdf), Zugriff am 28.01.2025
- UBA (2024): Trends der Niederschlagshöhe, Umweltbundesamt unter Verwendung von Daten des DWD. <https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/trends-der-niederschlagshoehe>, Zugriff am 28.01.2025



## Vorausschauende Planungsgrundlagen für das Grundwassermanagement in Niedersachsen

AXEL LIETZOW

### 1 Das Wasserversorgungskonzept

Mit dem 2022 vom Niedersächsischen Ministerium für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz veröffentlichten Wasserversorgungskonzept wurde ein integriertes Konzept für den Bereich der Wasserversorgung vorgelegt. Dieses soll verschiedenen Akteuren innerhalb des Landes die Möglichkeit eröffnen, künftige Handlungsbedarfe frühzeitig erkennen zu können und darauf aufbauend innerhalb des jeweiligen Wirkungskreises vorausschauend entsprechende Handlungsoptionen zu entwickeln.

Ausgangspunkt für diese Aufgabenstellung bilden vielfältige steigende Herausforderungen und Anforderungen (Auswirkungen des Klimawandels, demografische Entwicklungen usw.), die sich bereits heute und zukünftig auf den Wasserbedarf und das verfügbare Grundwasserdargebot auswirken und zu einer Erhöhung des Nutzungsdruckes auf die Ressource Grundwasser beitragen.

Mit dem Wasserversorgungskonzept Niedersachsen ist eine landesweite, transparente und in die Zukunft gerichtete Informations- und Planungsgrundlage entstanden. Diese soll dabei unterstützen, die Wasserversorgung im Sinne einer nachhaltigen Grundwasserbewirtschaftung entsprechend der regional sehr unterschiedlichen Nutzungsbedarfe und der jeweils zur Verfügung stehenden Ressource weiterzuentwickeln. Das Wasserversorgungskonzept dient dem übergeordneten Ziel der langfristigen Sicherstellung der niedersächsischen Wasserversorgung.

Das Konzept basiert auf der Zusammenstellung der notwendigen fachlichen Grundlagen. Diese wurden über einen partizipativen Prozess erarbeitet, bei dem sowohl die wesentlichen Grundwassernutzer als auch die Bewirtschafter der Ressource aktiv beteiligt waren.

Im Rahmen des Wasserversorgungskonzeptes erfolgt eine räumliche Bilanzierung des derzeitigen Standes sowie der mittel- und langfristigen Entwicklungen der niedersächsischen Wasserversorgung. Das gewinnbare Grundwasserdargebot und die ermittelten Wasserentnahmen der maßgeblichen Grundwassernutzer werden zu verschiedenen Zeitpunkten (2015, 2030, 2050 und 2100) gegenübergestellt. Dadurch soll der jeweils vorliegende und der sich über die Zeit ändernde Nutzungsdruck auf die Ressource Grundwasser sichtbar werden. Gleichzeitig werden auch qualitative Aspekte des Grundwasserdargebotes und bestimmte Schutzgüter wie grundwasserabhängige Landökosysteme und potenziell an das Grundwasser angebundene Oberflächengewässer als ergänzende Informationen bereitgestellt. Für die Abbildung der Bestandssituation der niedersächsischen Wasserversorgung und die Herleitung mittel- und langfristiger prognostischer Betrachtungen wurde eine Kombination aus landesweit vorliegenden Daten und der Expertise der Wassernutzer herangezogen. Die Eingangsdaten wurden rasterbasiert (500 × 500 m) zusammengeführt und bewertet, sodass unterschiedliche räumliche Betrachtungsebenen abgebildet werden können.

Die Ergebnisse der Bestandsaufnahme und der prognostischen Einschätzungen wurden in Bezug auf die Entwicklungen der Bedarfe und des Grundwasserdargebotes analysiert, sodass voraussichtliche Probleme und Konflikte, aber auch Chancen der niedersächsischen Wasserversorgung aufgezeigt werden. Basierend darauf wird eine Sammlung erster geeigneter Maßnahmenoptionen zur Verfügung gestellt, durch die

eine zukunftsfähige Wasserversorgung für das Land Niedersachsen unterstützt werden kann. Diese gilt es im sich anschließenden Umsetzungsprozess weiterzuentwickeln und umzusetzen.

Das Wasserversorgungskonzept Niedersachsen (Band I), die zugehörigen Nutzungsdruckkarten, eine Kompaktfassung des Konzeptes sowie die Kernaussagen des Konzeptes sind unter <https://www.umwelt.niedersachsen.de/startseite/themen/wasser/wasserversorgungskonzept-niedersachsen-210626.html> abrufbar. Darüberhinausgehend sind das gewählte Vorgehen und die einzelnen methodischen Arbeitsschritte zur Bestimmung des Nutzungsdruckes in ausführlicher Form im Hintergrunddokument zum Wasserversorgungskonzept Niedersachsen (Band II) für einen vertieften Einstieg in die Thematik dargestellt. Die Karten zum Nutzungsdruck und zu den Nutzungsdruckänderungen, Darstellungen zu hierfür wesentlichen Eingangsgrößen sowie zu weiteren auf Landesebene bedeutsamen Einflussfaktoren werden außerdem zusätzlich auf dem NIBIS® Kartenserver (unter Themenkarten > Hydrogeologie > Wasserversorgungskonzept <https://nibis.lbeg.de/cardomap3/?permalink=1860NzkV>) zur Verfügung gestellt.

## 2 Der „Mengenbewirtschaftungserlass“

Mit Veröffentlichung des Erlasses im Jahr 2024 zur „mengenmäßigen Bewirtschaftung des Grundwassers“ gibt das Land einen aktualisierten landesweiten Bewirtschaftungsrahmen vor, der dem Erhalt des guten mengenmäßigen Zustands der Grundwasserressource in Niedersachsen dient: [https://www.umwelt.niedersachsen.de/startseite/themen/wasser/grundwasser/grundwasser\\_menge\\_stand/erlass\\_mengenbewirtschaftung/mengenmassige-bewirtschaftung-des-grundwassers-232216.html](https://www.umwelt.niedersachsen.de/startseite/themen/wasser/grundwasser/grundwasser_menge_stand/erlass_mengenbewirtschaftung/mengenmassige-bewirtschaftung-des-grundwassers-232216.html). Entsprechend der EU-Wasserrahmenrichtlinie wird das Grundwasservorkommen in sogenannten Grundwasserkörpern als Bewirtschaftungseinheiten abgegrenzt. Mit dem Erlass gibt das MU die maßgeblich nutzbaren Grundwasserangebotsreserven für die niedersächsischen Grundwasserkörper bekannt, die noch über das Volumen der vorhandenen genehmigten Grundwasserentnahmen hinaus im Einklang mit den Vorgaben der EU-Wasserrahmenrichtlinie genutzt werden können. Dieser Bewirtschaftungsrahmen soll dazu beitragen, dass nicht durch einzelne Nutzungen oder die Summe von Nutzungen der gute mengenmäßige Zustand gefährdet wird. Das Erfordernis einer wasserrechtlichen Erlaubnis oder Bewilligung (§ 8 WHG) für eine Grundwasserbenutzung im Einzelfall bleibt davon unberührt.

Die Berechnungen der nutzbaren Grundwasserangebotsreserven basieren auf einer vom Land Niedersachsen entwickelten Abschätzmethode. Bei der Grundwasserbewirtschaftung wird ein Klimavorsorgeansatz verfolgt. Als Ausgangsgröße der Berechnungen wurde die mittlere jährliche Grundwasserneubildung für den 30-jährigen Prognosezeitraums 2031 bis 2060 für mittlere Verhältnisse herangezogen. Dabei wurde vorsorglich angenommen, dass keine Klimaschutzmaßnahmen den Klimawandel abmildern, also unter Annahme eines weiteren Anstiegs der Treibhausgasemissionen bis zum Ende des 21. Jahrhunderts. Damit wird sichergestellt, dass die nutzbaren Grundwasserangebotsreserven vorausschauend ausgewiesen werden. Die Angaben zur maßgeblich nutzbaren Grundwasserangebotsreserve auf der Ebene von Teilkörpern sollen die unteren Wasserbehörden bei der Umsetzung der auf Grundwasserkörper bezogenen Vorgabe unterstützen. Um zu veranschaulichen, wie sensibel die einzelnen Grundwasserkörper bezüglich Trockenperioden eingeschätzt werden, wurde außerdem eine Klassifizierung vorgenommen. Darüber hinaus enthält der Erlass bestimmte Vorgaben für den Wasserbedarfsnachweis wesentlicher Nutzergruppen und enthält Regelungen, die im wasserrechtlichen Zulassungsverfahren für Grundwasserentnahmen im Sinne eines einheitlichen Vollzugs zu beachten sind.

## Verbandliches Wassermanagement – Herausforderung der Zukunft

UWE ROTH

### 1 Einleitung

Zur Erfüllung der Aufgaben kann ein Wasser- und Bodenverband als Körperschaft des öffentlichen Rechts errichtet werden.

### 2 Der Verband

Zulässige Aufgaben, vorbehaltlich abweichender Regelungen durch Länderrechte, können sein:

- Ausbau und Unterhaltung von Gewässern
- Schutz vor Sturmfluten und Hochwasser
- Verbesserung landwirtschaftlicher Flächen einschließlich der Regelung des Bodenwasser- und Bodenlufthaushalts
- Herstellung, Beschaffung, Betrieb und Unterhaltung von Beregnungsanlagen sowie Anlagen zur Be- und Entwässerung
- Beschaffung und Bereitstellung von Wasser
- Erhalt und Pflege von Flächen, Anlagen und Gewässern zum Schutz des Naturhaushalts, des Bodens und für die Landschaftspflege
- Förderung der Zusammenarbeit zwischen Landwirtschaft und Wasserwirtschaft

Mögliche Verbandsmitglieder:

- die jeweiligen Eigentümer von Grundstücken und Anlagen
- Personen, denen der Verband im Rahmen seiner Aufgaben Pflichten abnimmt oder erleichtert
- Körperschaften des öffentlichen Rechts
- andere Personen, wenn die zuständige Aufsichtsbehörde dies zulässt

Entstehung eines Verbandes:

- durch einstimmigen Beschluss der Beteiligten
- von Amts wegen

### 3 Verbandswesen

Ein Verband hat ein eindeutig definiertes Verbandsgebiet. Die Mitgliedschaft ist eine Zwangsmemberschaft.

Die gesetzliche Grundlage ist das Wasserverbandsgesetz in Verbindung mit den ergänzenden Bundesgesetzen. Sehr viele Verbände sind schon vor dem 1. Weltkrieg gegründet worden; zwischen 1930 und 1945 wurden viele Entwässerungs- und Drainageverbände gegründet.

Vor dem Hintergrund der starren gesetzlichen Regelungen und der behördlichen Überwachung stellt sich die Frage nach der Verhältnismäßigkeit zwischen Aufwand und Aufgabenerfüllung. Begriffe wie Gesetz – Aufsichtsbehörde – Zwangsmitgliedschaft schrecken ab.

### Welche Vorteile hat ein Verband?

Am Beispiel eines 1910 gegründeten Drainageverbandes lässt sich das gut erklären. Jeder Grundstückseigentümer war damals auch Bewirtschafter. Das Nahrungsmittelangebot war knapp, die Gewinnung zusätzlicher Ackerfläche war überlebenswichtig.

Die Eigentümer wollten die vernässten Flächen urbar machen: Sämtliche Akteure einte das gemeinsame Ziel. Ein Hydrologe plante eine Entwässerung. Dieser musste natürliche Gegebenheiten, z. B. Gefälle, berücksichtigen. Der Plan enthielt die notwendigen Einrichtungen, wie Drainage, Gräben, Sammler und ein Gewässer zum Ableiten des Wassers aus der Fläche. In Kenntnis der Vorteile und Notwendigkeiten wurde das Verbandsgebiet beschrieben.

Alle Grundstückseigentümer sind Zwangsmitglieder. Wahlweise haben sie einen Vorteil durch die Entwässerung, wahlweise werden die Grundstücke in Anspruch genommen, um verbandliche Aufgaben zu erfüllen. Die Zwangsmitgliedschaft ist nötig, da ein Ausscheiden eines Mitglieds möglicherweise die Nichterfüllbarkeit der Aufgaben nach sich zieht.

Um die Aufgaben zu erfüllen, bedarf es Beiträge und Gebühren.

Die Schaffung von verbandlichen Einrichtungen (in diesem Fall Drainagen und Sammler) sowie die Verwaltung des Verbandes werden über Beiträge finanziert. Die Gebühren werden für die tatsächliche Inanspruchnahme entrichtet. Der Verband darf sämtliche Grundstücke im Verbandsgebiet zur Erfüllung der Aufgaben in Anspruch nehmen, ohne direkte Einwilligung des Eigentümers.

Ohne diese sehr weit reichenden Eigentumsbeschränkungen wäre die Aufgabenerfüllung des 1910 gegründeten Verbandes nicht möglich gewesen.

### Was bedeutet verbandliches Wassermanagement heute?

In Zeiten der Extremwetterereignisse müssen Lösungen gefunden werden, die oft in einer gemarkungsübergreifenden Gebietskulisse zu finden sind. Gewässerunterhaltung, die Umsetzung von Zielen des Hochwassermanagements oder der ökologischen Aufwertung sind innerhalb eines Verbandes einfacher umzusetzen.

Die Entnahme aus Oberflächengewässern und Grundwasser durch Beregnungsverbände ist fachlich kompetent und entlastet durch Bündelung behördliches Handeln.

Verbände sind selbstfinanziert und satzungsgelassen. Das schafft eine hohe Akzeptanz, sowohl innerhalb als auch außerhalb des Verbandes.

Sowohl Oberflächengewässer als auch Grundwasserkörper orientieren sich nicht an politischen Grenzen.

## 4 Fazit

Daher braucht es zum Wassermanagement eine übergeordnete verbandliche Struktur.

## Einzelbetriebliche Planungsprozesse zur Bewässerung

SIMON KEUTMANN

### 1 Bewässerung in Nordrhein–Westfalen: strategische Planung für nachhaltige Erträge

In Nordrhein–Westfalen (NRW) wurde die Bewässerungsfläche in den letzten Jahren kontinuierlich ausgebaut. Dieser Ausbau ist neben der Erweiterung von bestehenden Infrastrukturen, also Wasserleitungen, Hydranten, Brunnen, Pumpen usw., auf Betriebe zurückzuführen, welche sich neu mit der Bewässerung auseinandersetzen. Dies sind zum einen Betriebe, die bereits Kartoffeln oder Gemüse, wie Möhren, Zwiebeln oder Industriegemüse, anbauen, aber bedingt durch die niederschlagsarmen Jahre in der jüngeren Vergangenheit infolge klimatischer Veränderungen festgestellt haben, dass die Wasserhaltekapazität der Böden in längeren Trockenphasen nicht ausgereicht hat, um die notwendigen Qualitäten und Erträge zu erreichen. Zum anderen sind dies Betriebe, welche den Einstieg in die oben genannten Kulturen planen. Da die Infrastruktur bestmöglich an die Bewässerungstechnik angepasst werden sollte und Nutzungsdauern von 20 Jahren bei Brunnen und festen Erdleitungen eher die Regel als die Ausnahme sind, sollte die Planung ähnlich genau vorgenommen werden wie ein Stall- oder Hallenbau. Zur unabhängigen Unterstützung berät die Landwirtschaftskammer (LWK) NRW Betriebe auf diesem Weg.

### 2 10 Schritte für eine erfolgreiche Bewässerungsanlage

#### 2.1 Beurteilung einzelner Kulturen der Fruchtfolge auf ihre Bewässerungswürdigkeit

Da der Einstieg in die Bewässerung hohe Investitionskosten mit sich bringt, müssen sich Betriebsleiter Gedanken machen, ob die Anbaufläche oder Kulturen in der Lage sind, die Kosten der Bewässerung zu decken. Generell kann man festhalten, dass der Gemüseanbau eine Bewässerung in der Regel voraussetzt. Dies liegt vor allem an den hohen Anforderungen des Handels an die Qualität der Produkte. Außerdem müssen Betriebe in einem bestimmten Zeitraum in der Lage sein, Produkte zu liefern, was ohne Bewässerung in Trockenphasen schwieriger zu kalkulieren ist.

Das Anwässern von Jungpflanzen ist für eine gute Etablierung unabdinglich. Die Kartoffel ist dankbar für eine Bewässerung. Die Verwertungsrichtung unterscheidet dabei stark die möglichen Mehrerlöse durch die Bewässerung. Bei Veredlungskartoffeln sichert die Bewässerung vor allem die Menge ab. Bei Industriekartoffeln für Chips oder Pommes kann zusätzlich die geforderte Größensortierung erreicht werden. Bei den Speisekartoffeln können mit der Bewässerung optische Mängel wie Schorf positiv beeinflusst werden, was eine bessere Ausbeute ermöglicht. Dies gilt natürlich nicht nur für Kartoffeln oder Gemüse, sondern auch für alle anderen Kulturen. Jedoch benötigt die Kultur eine gewisse Wertschöpfung, um die hohen Zusatzkosten zu rechtfertigen. Neben der Kultur ist auch der entsprechende Flächenumfang/-zuschnitt notwendig, damit die Bewässerung das Betriebsergebnis positiv beeinflusst. Um dies beurteilen zu können, sollte eine Übersichtskarte erstellt werden.

## 2.2 Erstellung einer Flächenverzeichniskarte

Zur Erstellung einer Karte ist ein GIS-Programm hilfreich. Damit können viele Daten, die bereits vorliegen, wie zum Beispiel die gezeichneten Flächen aus dem Flächenantrag, genutzt werden. Zudem können weitere Karten geladen werden, welche zur Beurteilung notwendig sind. Dies hilft, um sich mit den örtlichen Gegebenheiten auseinanderzusetzen. Man bekommt somit einen guten Einblick auf die Streulage der Fläche und kann sehen, ob der Betrieb mehrere Flächen in Blöcken zusammengefasst hat, welche sich tendenziell am besten für eine Bewässerung eignen. Außerdem sind Hindernisse wie Strommasten, Gräben oder Versorgungsleitungen zu erkennen, welche man mit einer mobilen oder festen Bewässerungsleitung über- oder unterqueren muss.

## 2.3 Planung der notwendigen Leitungen und Brunnen

Mithilfe der Flächenverzeichniskarte gilt es, zusammen mit dem Landwirt eine geeignete Bewässerungstechnik zu planen. Dazu wird mit der Wasserbereitstellung angefangen. Der Grundwasserstand und die damit verbundenen Brunnenkosten spielen dabei eine maßgebende Rolle. Mit frei verfügbaren Daten oder Erfahrungen von anderen umliegenden Brunnen kann man grob abschätzen, bis in welche Tiefen gebohrt werden muss. Dementsprechend stehen die Bohrtiefe und die alternative Leitungslänge in starkem Bezug zueinander. Außerdem sind Hindernisse zu beachten, welche eine alternative Leitung ausschließen oder verteuern. Dies können beispielsweise Eisenbahnstrecken oder andere Infrastrukturbestandteile sein. Häufig sind daher nicht alle Flächen eines Betriebs wirtschaftlich erschließungsfähig. Je nach Brunnenkosten können andere Wasserquellen, wie Brunnen von Nachbarbetrieben, Auffangbecken von Niederschlagswasser, öffentliche Wasserversorgung oder Oberflächengewässer, wirtschaftlich interessanter sein als ein eigener Brunnen.

## 2.4 Planung der Bewässerungstechnik

Sobald die Wunschstandorte für die Brunnen ermittelt sind, können die Bewässerungsleitungen geplant werden. Dabei ist zu klären, ob mit Dritten Absprachen und Genehmigungen notwendig sind. Danach kann man sich mit der Bewässerungstechnik befassen. Der Systemvergleich Technik in der Feldbewässerung (Gödeke et al. 2024) gibt einen guten Überblick über die Vor- und Nachteile der jeweiligen Bewässerungstechniken. Auch hierbei kann die Fahrgassenplanung im GIS-Programm eine Hilfestellung geben, wie gut man beispielsweise mit einem Düsenwagen seine Felder bewässern kann oder wie Strommasten umfahren werden müssen. Die Schlaglängen geben einen Überblick wie lange die Bewässerung laufen kann, ohne dass diese umgesetzt werden muss. Bei der Tropf- oder Rohrbewässerung lassen sich damit auch die Kopfleitungen planen und Probleme bei der maximalen Leitungslänge identifizieren.

## 2.5 Kostenkalkulation

Nach der Auswahl der Bewässerungstechnik und Infrastruktur lassen sich die Investitionskosten grob kalkulieren. Dies ist notwendig, da die Bewässerung (pro m<sup>3</sup> Wasser) je nach örtlichen Gegebenheiten unterschiedlich teuer ist und somit die Wirtschaftlichkeit der geplanten Maßnahme stark beeinflusst. Hierbei ist zu beachten, dass die Bewässerung nicht in jedem Jahr die notwendigen Mehrerträge sichert, welche zur Deckung der Festkosten notwendig wären. Je nach Boden und Kultur sowie Niederschlagsmenge und -verteilung über das Jahr kann es auch vorkommen, dass eine Bewässerung nicht notwendig ist. Aber auch in diesen Jahren fallen die Festkosten an. Die Bewässerung ist grundsätzlich als eine Art Versicherung zu betrachten. Es gibt Jahre, in denen die Investition nicht wirtschaftlich ist, gegenüber Jahren, in denen die Investition schon größtenteils gedeckt werden kann. Je nach Komplexität und Investitionshöhe kann es

sinnvoll sein, erst einen Teil seiner Fläche zu erschließen. Dabei sollten vor allem bei der festen Erdleitung mögliche spätere Ausbauschritte berücksichtigt werden, damit zu kleine Leitungsdurchschnitte die Energieeffizienz nicht negativ beeinflussen. Bei Pachtflächen gilt es die Pachtdauer zu berücksichtigen.

## 2.6 Einholen von Grundwasserdaten

Nachdem man den Entschluss für eine Bewässerung gefasst hat und die Förderung von Grundwasser anstrebt, sind genaue Daten über die örtlichen Gegebenheiten einzuholen. Ansprechpartner hierfür ist meist die Institution, welche für das Grundwassermonitoring zuständig ist. Im Rheinland und am Niederrhein in NRW ist dies zum Beispiel der Erftverband. Mithilfe naheliegender Grundwassermessstellen ist das Schichtverzeichnis der Grundwasserstockwerke erkennbar und die Körnung der wasserführenden Schichten ableitbar. Mit diesen Daten kann es sinnvoll oder notwendig sein, die Standorte der Brunnen umzuplanen.

## 2.7 Beratungsgespräch Brunnenbohrer

Nach der Festlegung der Brunnenstandorte erfolgt der Kontakt mit einem Brunnenbohrunternehmen. Dieses hat je nach örtlicher Aktivität ebenfalls hilfreiche Informationen über benachbarte Brunnen. Außerdem erhält man einen Überblick, was der Brunnen je nach Tiefe kostet bzw. ob es je nach Grundwassersituation sinnvoll sein kann, zunächst einen Probebrunnen anzulegen.

## 2.8 Kontaktaufnahme Bezirksstelle für Agrarstruktur

Für die spätere Genehmigung ist in NRW ein Bewässerungsplan der jeweils zuständigen Bezirksstelle für Agrarstruktur (BfA) der LWK einzuholen. Dieser Bewässerungsplan errechnet mithilfe der angegebenen Flurstücke und Fruchtfolge den Wasserbedarf für ein durchschnittliches Trockenjahr.

## 2.9 Genehmigung der Unteren Wasserbehörde

Nach Zusammenstellung der Unterlagen ist es notwendig, Kontakt mit der Unteren Wasserbehörde (UWB) aufzunehmen. Die beantragte Wassermenge bedingt in der Regel die Anzahl von erforderlichen Unterlagen. Die Checkliste (Erftverband 2023; siehe Anhang), welche von dem Erftverband, der LWK und den Bezirksregierungen Düsseldorf und Köln erarbeitet wurde, gibt einen Überblick. Je nach Situation können zusätzliche Auflagen notwendig sein. Außerdem obliegt es der UWB, die berechneten Mengen des Bewässerungsplans zu kürzen. Eine Vielzahl der geforderten Unterlagen sind bereits in den Schritten zuvor erarbeitet worden. Für die fehlenden Unterlagen kann es sinnvoll sein, ein Ingenieurbüro zu beauftragen. Die UWB kann meist Auskunft geben, welche Ingenieurbüros diese Dienstleistung anbieten. Je nach Affinität des Landwirts ist auch eine eigene Erarbeitung der geforderten Unterlagen möglich.

## 2.10 Bohren – Kaufen – Verlegen/Installieren – Beregnen

Nach dem positiven Bescheid der Genehmigung darf mit dem eigentlichen Brunnenbau gestartet werden. Nachdem der Brunnen gebohrt ist, findet ein Pumpversuch des Brunnenbohrers statt. Dieser Pumpversuch spiegelt die Leistungsfähigkeit des Brunnens wider. Hier zeigt sich, ob die geplante Bewässerungstechnik und Infrastruktur wirklich richtig ausgelegt ist. Da die Zahlen in der Praxis sowohl nach oben als auch nach unten weit von den prognostizierten Zahlen abweichen können, ist es ratsam, erst nach dem Pumpversuch die weitere Technik anzuschaffen. In ungünstigen Fällen können aufgrund mangelnder Leistungsfähigkeit, entweder weitere Brunnen notwendig oder eine Zwischenspeicherung sinnvoll sein, um die Kulturen bedarfsgerecht mit Wasser zu versorgen. Nachdem eventuelle Anpassungen vorgenommen und die Bewäs-



serungstechnik angeschafft wurde, kann mit der Verlegung eventueller Erdleitungen begonnen werden. Dafür sind, wie oben angesprochen, weitere Genehmigungen notwendig, zum Beispiel für das Durchkreuzen oder Überqueren öffentlicher Wege, Land- bzw. Bundesstraßen oder Gewässern. Bei der Verlegung auf gepachteten Flächen oder Nachbarflächen ist es ratsam, dies im Grundbuch festzuhalten, damit es später nicht zu Konflikten kommt. Genehmigungen für das Queren von Eisenbahnstrecken werden nur selten ausgestellt. Nach der erfolgreichen Installation kann mit der Bewässerung gestartet werden.

### 3 Fazit

Sofern sich ein Betrieb dazu entschließt in eine Bewässerungsanlage und Infrastruktur zu investieren, sind vorab viele Aspekte für eine nachhaltige Anschaffung zu beachten. Wenn der Betrieb über geeignete Flächen und Kulturen sowie über die hydrologische Möglichkeit verfügt, Wasser für die Bewässerung zu fördern, sind oftmals sechsstellige Investitionen notwendig, bis die Infrastruktur steht und die Technik angeschafft ist. Falls der Betrieb eine Streulage vorweist, ist es oftmals sinnvoll, sich mit weiteren Landwirten zusammenzuschließen und einen Bewässerungsverband zu gründen. Damit können einzelne kleinere Flächen mit Wasser versorgt werden. Durch die komplexen hydrologischen Gegebenheiten vor Ort ist selbst mit nahe gelegenen Messstellen keine genaue Aussage über das Leistungsvermögen des späteren Brunnens möglich. Deswegen ist es ratsam, erst nach der Genehmigung zur Wasserförderung und des Pumpversuchs die Bewässerungstechnik anzuschaffen. Bei der Auslegung von festen Erdleitungen ist auf den Druckverlust zu achten, damit die Bewässerung möglichst energieeffizient betrieben werden kann. Dabei ist eine potenzielle Erweiterung zu berücksichtigen. Da von der ersten Idee bis zur laufenden Bewässerung viele Daten einzuholen und unterschiedliche Behörden beteiligt sind, ist vor allem der Zeitfaktor nicht zu unterschätzen. Nicht selten gehen je nach Auslastung oder Umfang ein bis mehrere Jahre vorüber. Dies gilt es, bei der Planungsphase zu berücksichtigen.

### Literatur

Erftverband (2023): Checkliste für Anträge auf Erteilung einer wasserrechtlichen Erlaubnis zur Grundwasserentnahme für die landwirtschaftliche Beregnung. [https://service.moenchengladbach.de/suche/-/egov-bis-detail/dokument/1894791/download?\\_9\\_WAR\\_vrportlet\\_priv\\_r\\_p\\_action=bisview-dienstleistung-show](https://service.moenchengladbach.de/suche/-/egov-bis-detail/dokument/1894791/download?_9_WAR_vrportlet_priv_r_p_action=bisview-dienstleistung-show), Zugriff am 20.01.2025

Gödeke, H.; Belau, T.; Müller, M. (2024): Technik in der Feldbewässerung – Systemvergleich. In: ALB Bayern e.V. (Hrsg.): Fachgruppe Bewässerung 1 – 03, [www.alb-bayern.de/fgb1](http://www.alb-bayern.de/fgb1), Zugriff am 14.01.2025

## Anhang

### Checkliste für Anträge auf Erteilung einer wasserrechtlichen Erlaubnis zur Grundwasserentnahme für die landwirtschaftliche Beregnung

Die Bohrtiefe für die Errichtung von Beregnungsbrunnen sollte möglichst auf das oberste Grundwasserstockwerk beschränkt werden.

#### Allgemeine Angaben, Erläuterungsbericht:

- Lage der/des Brunnen/s (Grundstück, Gemarkung, Flur, Flurstück, Rechts- und Hochwerte, innerhalb/außerhalb von Wasserschutzzonen, innerhalb/außerhalb von Naturschutzgebieten)
- Lage der Beregnungsflächen (Gemarkung, Flur, Flurstück)
- Angaben zu beantragten Fördermengen (Angaben in m<sup>3</sup>/a, m<sup>3</sup>/d, m<sup>3</sup>/h)
- Mengenbedarf (Bedarfsnachweis) und Beregnungsplan der Landwirtschaftskammer (Anbaufläche, Früchte, spezifische Beregnungsmenge, etc.)
- Angaben zur jeweiligen Förderleistung der Pumpe/n bzw. Beregnungsanlage/n
- Angaben zur bisherigen Wasserrechtshöhe bei Bestandsbrunnen
- Angaben zu bisherigen Fördermengen bei Bestandsbrunnen
- Angaben zu historischen Grundwasserstandsmessungen und aktuellem Grundwasserstand bei Bestandsbrunnen

#### Darstellungen, Pläne:

- Übersichtslageplan (Topographische Karte 1:10.000 oder 1:25.000) mit Lage der/des Brunnen/s
- Detaillageplan (Deutsche Grundkarte 1:5.000) mit Lage der/des Brunnen/s
- Voraussichtlicher oder vorhandener Ausbauplan der/des Brunnen/s (Bohr- und Ausbaudurchmesser, Lage des Filters, Ausbautiefe, ggfs. Tonabdichtungen, Abschlussbauwerk) mit Grundwasserstand und geologischem Schichtenprofil

#### Ergänzende Darstellungen und Angaben<sup>1</sup>:

- Beantragte Fördermenge pro Brunnen: **≤ 10.000 m<sup>3</sup>/a**:
  - nur bei Lage der/des Brunnen/s in einer Wasserschutzzone ist ein Nachweis des verfügbaren Grundwasserdargebotes unter Anwendung der Grundwasserneubildung nach mGROWA<sup>2</sup> erforderlich
  - in der Regel keine vertiefenden Angaben erforderlich (Ausnahme: Lage der/des Brunnen/s im Nahbereich grundwasserabhängiger Biotoptypen)
- Beantragte Fördermenge pro Brunnen: **> 10.000 m<sup>3</sup>/a und ≤ 50.000 m<sup>3</sup>/a**:
  - Nachweis des verfügbaren Grundwasserdargebotes (bei vorhandenem Bergbaueinfluss auch für den Zeitpunkt Oktober 1955) unter Anwendung der Grundwasserneubildung nach mGROWA<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Die technischen Unterlagen sind in der Regel durch einen Fachplaner zu erstellen.

<sup>2</sup> Aktuelle Referenzperiode siehe <https://www.erftverband.de/grundwasserneubildung/>

- Bewertung der Auswirkungen auf Dritte<sup>3</sup> und grundwasserabhängige Ökosysteme (Ausmaß und Reichweite der Grundwasserabsenkung)
- Beantragte Fördermenge pro Brunnen: **> 50.000 m³/a:**
  - Nachweis des verfügbaren Grundwasserdargebotes und Erstellung einer Grundwasserbilanz inklusive Leakage-Betrachtung (bei vorhandenem Bergbaueinfluss auch für den Zeitpunkt Oktober 1955) unter Anwendung der Grundwasserneubildung nach mGROWA<sup>2</sup>
  - Bewertung der Auswirkungen auf Dritte<sup>3</sup> und grundwasserabhängige Ökosysteme (Ausmaß und Reichweite der Grundwasserabsenkung)
  - Konstruktion der/des unterirdischen Einzugsgebiete/s der/des Brunnen/s für eine ausgeglichene Grundwasserbilanz in der Fläche des konstruierten Einzugsgebiets
  - Ganglinien benachbarter Grundwassermessstellen

**Verfasser:**

Erftverband in Abstimmung mit  
Landwirtschaftskammer NRW,  
Bezirksregierung Düsseldorf (Dez. 54),  
Bezirksregierung Köln (Dez. 54),  
Kreis Heinsberg (Untere Wasserbehörde),  
Stadt Mönchengladbach (Untere Wasserbehörde)

---

<sup>3</sup> Wirtschaftliche Nutzungen (Fischerei, Land-/Forstwirtschaft), Sach- und Kulturgüter, Gewässernutzungen und wasserwirtschaftliche Anlagen

## Anbausysteme im Klimawandel – Resilienz durch Diversifizierung?

MORITZ RECKLING

### 1 Einleitung

Räumliche, zeitliche und genetische Diversifizierung landwirtschaftlicher Produktionssysteme kann die Leistungen und Vielfalt von Ökosystemen erhöhen (Beillouin et al. 2021). Diversifizierung kann die Resilienz der Pflanzenproduktion (Tamburini et al. 2020) und der Betriebssysteme (Paas et al. 2021) beeinflussen. Während die Forschung in diesem Themengebiet zunimmt und allgemeine Aussagen von Metastudien mit weltweit erhobenen Daten abgeleitet werden (Rasmussen et al. 2024), fehlt häufig der praktische Bezug, um Rückschlüsse für konkrete Anpassungen der Anbausysteme zuzulassen.

Unter Diversifizierung von Anbausystemen werden u. a. verschiedene Feldanordnungen, z. B. Fruchtfolgen (Marini et al. 2020), Integration von Leguminosen (Reckling et al. 2016), Anbau von Zwischenfrüchten (Lamichhane and Alletto 2022), Mischanbau (Jensen et al. 2020), Patch-Cropping (Grahmann et al. 2024) und Pixel-Cropping (Ditzler et al. 2021) gesehen.

### 2 Diversifizierung

#### 2.1 Diversifizierung der Fruchtfolge

Dauerfeldversuche können helfen, langfristige Effekte der Diversifizierung zu quantifizieren. In einer Studie mit 6 Dauerversuchen wurde, (i) die Einführung von mehrjährigen Futterleguminosen, (ii) die Erhöhung des Anteils von Leguminosen in der Fruchtfolge, (iii) die Einführung von Körnerleguminosen und (iv) die Integration von Zwischenfrüchten untersucht (Reckling et al. 2022). Die Ergebnisse zeigten, dass Getreide in Anbausystemen mit mehrjährigen Leguminosen in 60 bis 94 % der Vergleiche mit höherer Wahrscheinlichkeit bei niedrigen Düngeintensitäten besser abschnitten als Systeme ohne Leguminosen (Abb. 1). Getreide in einem Anbausystem mit Körnerleguminosen brachte unter ertragsärmeren Umweltbedingungen höhere Erträge als Fruchtfolgen ohne Leguminosen. Die Diversifizierung mit Zwischenfrüchten hatte keinen signifikanten Einfluss auf die Ertragsstabilität.

Die Ergebnisse zeigten über lange Zeiträume, wie vielfältige Anbausysteme die Produktivität von Getreide und die Anpassungsfähigkeit an die Umwelt im Vergleich zu weniger vielfältigen Systemen erhöhen können. Diese neuen Erkenntnisse können die Gestaltung von vielfältigeren und leistungsfähigeren Anbausystemen im Klimawandel unterstützen.

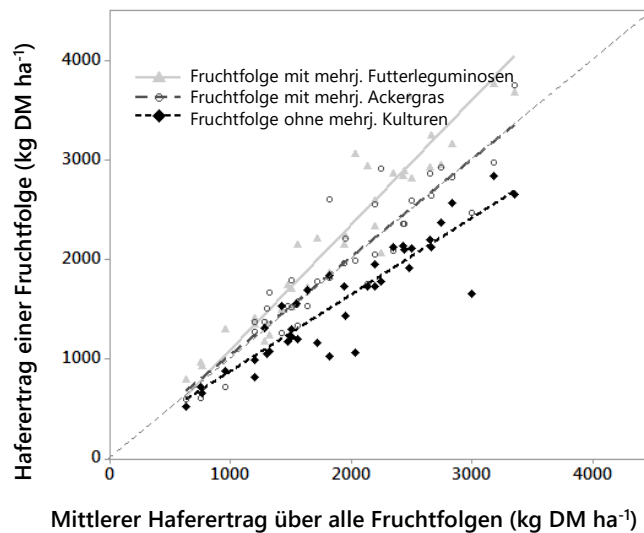


Abb. 1: Regressionslinien der einzelnen Fruchtfolgen über die Jahresmittelwerte aller Fruchtfolgen für Hafer ohne N-Düngung im Dauerversuch in Lanna (Schweden)

## 2.2 Diversifizierung durch Misanbaussysteme

Misanbaussysteme schaffen eine räumliche Diversifizierung und beschreiben neben klassischen Gemengen, von z.B. Hafer-Erbse, auch den Staffel- und Streifenanbau (Abb. 2). Staffelanbau, z.B. von Winterweizen und Soja, wurde in den letzten Jahren vertieft untersucht und die Anpassungsfähigkeit für verschiedene Standorte deutschlandweit simuliert (Yu et al. 2025). Die wenigen experimentellen Arbeiten zeigten allerdings Herausforderungen. Auf trockenen Standorten in Nordostdeutschland dokumentierten Thompson et al. (2024) eine hohe Konkurrenz um Wasser, geringe Erträge und nur marginale Effekte auf die Bodengesundheit. In der Praxis konnte das System nicht umgesetzt werden. Dagegen führte der Streifenanbau zu keiner Konkurrenz, förderte das Auftreten von Nützlingen und konnte in der Praxis umgesetzt werden (Thompson et al. 2025). Mehr Forschung ist nötig, um Misanbaussysteme systematischer weiterzuentwickeln, dazu bietet die Forschungsstrategie der Deutschen Agrarforschungsallianz „Leguminosenanbau mit Mischkulturen erweitern“ (Finckh et al. 2024) einen effektiven Rahmen.

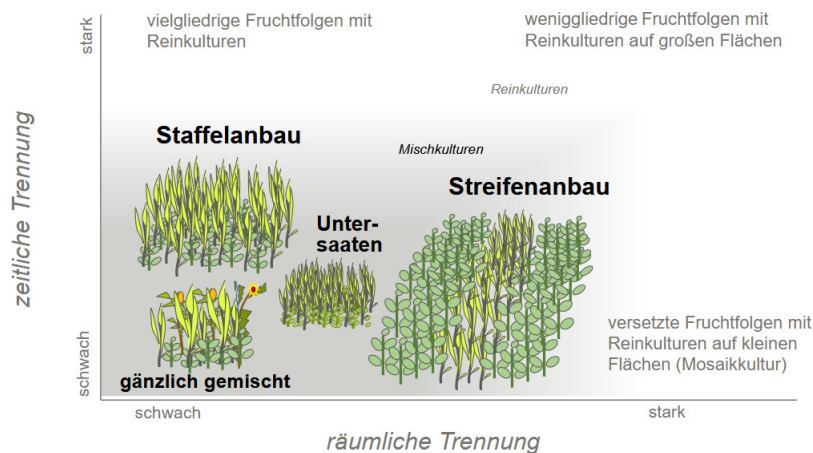


Abb. 2: Mischfruchtanbau in verschiedenen Formen (grauer Bereich) und die Abgrenzung zu Reinkulturen (weißer Bereich) (Finckh et al. 2024)

### 2.3 Mehr Vielfalt durch Körnerleguminosen

Die Integration von Körnerleguminosen erhöht die Vielfalt in der Fruchtfolge, allerdings bringen sie auch Herausforderungen hinsichtlich der Ertragsstabilität und Wirtschaftlichkeit mit sich. Die Leistungen der Körnerleguminosen müssen auf Fruchtfolgenebene bewertet werden (Reckling et al. 2016). Die Erträge von Körnerleguminosen schwanken zwar stärker als Winterkulturen, allerdings ähnlich wie andere Sommerkulturen (Reckling et al. 2018).

Die Wirtschaftlichkeit von Körnerleguminosen hängt vom Anbausystem und der Vermarktung ab. Neuere Kulturen wie Kichererbsen (Abb. 3) werden in vielerlei Hinsicht als Anpassungsstrategie an Trockenheit und Hitze, aber auch neue Ernährungsgewohnheiten gesehen. Da es wenig Erfahrungen gab, um das Anbaupotenzial zu bewerten, wurden neben Erhebungen in der Praxis standardisierte Versuche an 22 Standorten in Deutschland, in Österreich, in der Schweiz und in den Niederlanden in einem Netzwerk von Forschungseinrichtungen angelegt (Reckling et al. 2024). Ziel war eine praxisrelevante Bewertung der agronomischen Eigenschaften von verschiedenen Kichererbsensorten. Ergebnisse aus den Jahren 2022 bis 2024 an 20 Standorten ergaben einen durchschnittlichen Korntrag von  $2,0 \text{ t ha}^{-1}$  mit einer Streuung von  $0,0$  bis  $3,8 \text{ t ha}^{-1}$  über alle Standorte. Herausforderungen waren (i) ein unsicherer Feldaufgang durch Krankheiten und Schädlinge, (ii) das Auftreten von Krankheiten im Bestand bei feuchter Witterung, (iii) ein großes Risiko von Verunkrautung und (iv) eine verzögerte und nicht einheitliche Abreife. Mit einem erfolgreichen Anbau können neue Kulturen und lokale Wertschöpfungsketten wirtschaftliche Vorteile bringen.



Abb. 3: Anbau von Kichererbsen (© M. Reckling)

## 3 Schlussfolgerungen und Ausblick

Die Intensivierung der Landwirtschaft hat zu einer Vereinfachung der Anbausysteme und von Agrarlandschaften geführt. Es gibt zahlreiche Belege dafür, dass Diversifizierung das Potenzial hat, sowohl die agronomische als auch die wirtschaftliche Resilienz von Anbausystemen zu verbessern. Die Umsetzung in der Praxis bleibt jedoch eine Herausforderung und Lösungen hängen vom Standort, agronomischen und sozio-ökonomischen Gegebenheiten ab. Vielversprechend ist die Integration von Futterleguminosen in getreide-dominierten Fruchtfolgen und mehr Kulturartenvielfalt. Mischanbau und neue Kulturen können wichtige Instrumente hin zu mehr Resilienz werden, müssen mit und in der Praxis aber noch weiterentwickelt werden. Wichtig ist, Diversifizierung als Chance zu nutzen, Anbausysteme an den Klimawandel und gleichzeitig an sich verändernde Rahmenbedingungen und Ernährungssysteme anzupassen.

## Literatur

- Beillouin, D.; Ben-Ari, T.; Malézieux, E.; Seufert, V.; Makowski, D. (2021): Positive but variable effects of crop diversification on biodiversity and ecosystem services. *Global Change Biology* 27, pp. 4697–4710
- Ditzler, L.; Apeldoorn, D. F. v.; Schulte, R. P. O.; Tittone, P.; Rossing, W. A. H. (2021): Redefining the field to mobilize three-dimensional diversity and ecosystem services on the arable farm. *European Journal of Agronomy* 122, <https://doi.org/10.1016/j.eja.2020.126197>
- Finckh, M. R.; Köhler, B.; Mergenthaler, M.; Reckling, M.; Schmidtke, K.; Köchy, M. (2024): Leguminosenanbau mit Mischkulturen erweitern Forschungsstrategie der Deutschen Agrarforschungsallianz. DAFA, Braunschweig, <https://doi.org/10.3220/DAFA1724761353000>
- Grahmann, K.; Reckling, M.; Hernández-Ochoa, I.; Donat, M.; Bellingrath-Kimura, S.; Ewert, F. (2024): Co-designing a landscape experiment to investigate diversified cropping systems. *Agricultural Systems* 217, <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2024.103950>
- Jensen, E. S.; Carlsson, G.; Hauggaard-Nielsen, H. (2020): Intercropping of grain legumes and cereals improves the use of soil N resources and reduces the requirement for synthetic fertilizer N: A global-scale analysis. *Agronomy for Sustainable Development* 40, <https://doi.org/10.1007/s13593-020-0607-x>
- Lamichhane, J. R.; Alletto, L. (2022): Ecosystem services of cover crops: a research roadmap. *Trends in Plant Science* 27(8), <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2022.03.014>
- Marini, L.; St-Martin, A.; Vico, G.; Baldoni, G.; Berti, A.; Blecharczyk, A.; Małecka-Jankowiak, I.; Morari, F.; Sawinska, Z.; Bommarco, R. (2020): Crop rotations sustain cereal yields under a changing climate. *Environmental Research Letters* 15, DOI 10.1088/1748-9326/abc651
- Rasmussen, L. V., et al. (2024): Joint environmental and social benefits from diversified agriculture. *Science* 384, pp. 87–93, <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38574149/>
- Reckling, M.; Albertsson, J.; Vermue, A.; Carlsson, G.; Watson, C. A.; Justes, E.; Bergkvist, G.; Jensen, E. S.; Topp, C. F. E. (2022): Diversification improves the performance of cereals in European cropping systems. *Agronomy for Sustainable Development* 42, <https://doi.org/10.1007/s13593-022-00850-z>
- Reckling, M.; Bergkvist, G.; Watson, C. A.; Stoddard, F. L.; Zander, P. M.; Walker, R.; Pristeri, A.; Toncea, I.; Bachinger, J. (2016): Trade-offs between economic and environmental impacts of introducing legumes into cropping systems. *Frontiers in Plant Science* 7, <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00669>
- Reckling, M.; Döring, T. F.; Bergkvist, G.; Stoddard, F. L.; Watson, C. A.; Seddig, S.; Chmielewski, F.-M.; Bachinger, J. (2018): Grain legume yields are as stable as other spring crops in long-term experiments across northern Europe. *Agronomy for Sustainable Development* 38, <https://doi.org/10.1007/s13593-018-0541-3>
- Reckling, M.; Halwani, M.; Winterling, A.; Pflugfelder, A.; Zikeli, S.; Lehner, D.; Hiltbrunner, J.; Preußner, V.; Lutzer, H.-H.; Bloch, R.; Rusch, C.; Radtke, O.; Schwabe, I.; Karalus, W.; Hüppe, C.; Rosner, G.; Salama, K.; Blessing, C. (2024): Das Potenzial von Kichererbsen für den ökologischen Landbau. In: Landwirtschaft und Ernährung – Transformation macht nur gemeinsam Sinn, 17. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL), S. 131–132
- Tamburini, G.; Bommarco, R.; Wanger, T. C.; Kremen, C.; Heijden, M. G. A. v. d.; Liebman, M.; Hallin, S. (2020): Agricultural diversification promotes multiple ecosystem services without compromising yield. *Science Advances* 6, DOI: 10.1126/sciadv.aba1715
- Thompson, J. B.; Döring, T. F.; Bellingrath-Kimura, S. D.; Grahmann, K.; Glemnitz, M.; Reckling, M. (2025): Spatial arrangement of intercropping impacts natural enemy abundance and aphid predation in an intensive farming system. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 378, <https://doi.org/10.1016/j.agee.2024.109324>
- Thompson, J. B.; Döring, T. F.; Bowles, T. M.; Kolb, S.; Bellingrath-Kimura, S. D.; Reckling, M. (2024): Seasonal soil health dynamics in soy-wheat relay intercropping. *Scientific Reports* 14, <https://doi.org/10.1038/s41598-024-69903-5>
- Yu, J.; Rezaei, E. E.; Reckling, M.; Nendel, C. (2025): Winter wheat-soybean relay intercropping in conjunction with a shift in sowing dates as a climate change adaptation and mitigation strategy for crop production in Germany. *Field Crops Research* 322, <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2024.109695>



## Agroforstsysteme im Fokus: ein Beitrag zum Wasserhaushalt auf Feld- und Landschaftsebene

WIEBKE NIETHER

### 1 Einleitung

Bäume gehören in das Landschaftsbild. Eine Landschaft ohne Bäume wird als „ausgeräumt“ bezeichnet, sie wirkt leblos, eintönig und leer. Soweit die Meinung der Betrachterinnen und Berater, die im Auto oder Zug durch diese Gegenden fahren. Von Seiten der Industrialisierung der Landwirtschaft sieht das anders aus. Einzelne Felder werden zusammengelegt und Barrieren entfernt, was ein gleichmäßiges Management ermöglicht, den Einsatz größerer Maschinen zulässt und zu einer Vereinfachung der Bearbeitung führt. Auch die Buchführung und Verwaltung einzelner großer Schläge ist angenehmer. Diese Simplifizierung der Schläge, Landwirtschaft und Landschaft hat allerdings weitreichende Folgen, die sich in einer drastischen Reduzierung der Artenvielfalt widerspiegelt, und eine Entkopplung des Nährstoff- und Wasserhaushalts mit sich bringt.

Die Etablierung von modernen Agroforstsystemen, also die Kombination von Bäumen entlang von Streifen und landwirtschaftlich genutzter Fläche in „Alley-cropping“-Systemen, kann eine Möglichkeit sein, auf unterschiedlichen Ebenen Ökosystemregulationen in der Landwirtschaft wiederherzustellen, wobei die Wasserregulation eine besondere und teilweise kontrovers diskutierte Rolle spielt.

In diesem Beitrag wird auf die unterschiedlichen Wirkungsebenen eingegangen, die Agroforstsysteme auf den Wasserhaushalt der Agrarflächen und Landschaften haben. Dabei wird gezeigt, wie mit Agroforstsystemen auch auf Herausforderungen durch den Klimawandel eingegangen werden kann.

### 2 Mikroklima in modernen Agroforstsystemen

Dass es in Wäldern gerade im Hochsommer kühler ist und eine höhere Luftfeuchtigkeit herrscht, ist weit hin bekannt. Aber auch Baumstreifen können ähnliche mikroklimatische Effekte auf die umgebende Ackerkultur oder das Grünland bewirken (Abb. 1, Jacobs et al. 2022).

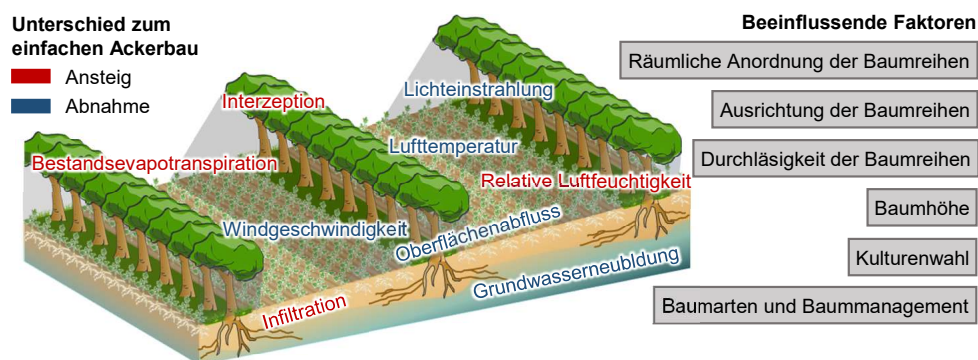


Abb. 1: Schematische Darstellung eines „Alley-cropping“-Systems mit den mikroklimatischen Einflussfaktoren (nach Jacobs et al. 2022)

Die Baumkronen werfen einen Schatten, der die Temperatur deutlich senken kann. Zusammen mit dem durch die Bäume abgeschwächten Wind und der Transpiration der Blätter wird die Luftfeuchtigkeit in Baumnähe deutlich erhöht. Die erhöhte Dampfdrucksättigung der Luft verringert den Transpirationsdruck auf die Ackerkulturen und der Schatten kann auch bei Weidetieren den Hitzestress verringern. Hinsichtlich der in den letzten Jahren zunehmenden Hitzeereignissen im Sommer kann dem zumindest teilweise entgegengewirkt werden. Auch Starkregenereignisse können durch die Baumkronen abgebremst werden.

Agroforstsystemen wird im Allgemeinen eine Schutzfunktion und eine Abmilderung von klimatischen Extremen zugesprochen. Im Gegensatz zu Wäldern hängen die mikroklimatischen Effekte von „Alley-cropping“-Systemen allerdings stark von der Breite der Ackerstreifen sowie der inneren Struktur und Komplexität der Baumstreifen ab, die die Baumarten, deren Entwicklungszustand und Pflanzabstand beinhalten. Die stärksten Auswirkungen werden nahe den Bäumen wahrgenommen und schwächen mit zunehmender Distanz ab.

Zeitliche Veränderungen des Mikroklimas werden durch die Baumbegrünung und den Laubfall im Herbst bewirkt, im Tagesverlauf wandert der Schatten durch den Sonnenstand von einer zur anderen Seite des Baumstreifens, und letztendlich werden viele mikroklimatischen Effekte erst im Laufe der Jahre immer deutlicher, wenn die Bäume sich entwickeln und wachsen.

### 3 Bodenwasserbalance in Agroforstsystemen

Die Bestandswasserbalance eines Agroforstsystems ist schwierig zu ermitteln. Das hängt mit den vielen unterschiedlichen Einflussgrößen und den aufwendigen Messmethoden zusammen. Dazu gehören neben der Bestandsstruktur des Agroforstsystems und allgemeinen Wetterdaten u. a. auch die Topografie, oftmals sehr heterogene Bodeneigenschaften, die Grundwasserressourcen und weitere Landschaftselemente wie umgebende Wälder oder Gewässer.

Die Bodenfeuchtigkeitsreserven eines Agroforstsystems werden durch die Kombination der landwirtschaftlichen Kulturen mit den Bäumen anders beansprucht als eine offene Ackerfläche (Bayala und Prieto 2020). Obwohl durch die Beschattung und die reduzierte Windgeschwindigkeit die Evapotranspiration der Ackerfläche oder des Grünlandes verringert werden kann, bleibt die Evapotranspiration, und damit der Wasserverlust, des Gesamtbestandes höher als auf einer offenen Fläche, was auf die Transpiration der Bäume selbst zurückgeht (Abb. 2, Jacobs et al. 2022). Dieser erhöhte Wasserbedarf durch Bäume wird daher gerade in wasserarmen Gebieten oft als Gegenargument für Agroforstsysteme genannt. Diese Konkurrenz um Wasser wird vermutlich stärker ausgeprägt auf Standorten mit geringer Bodentiefe und Bodenwasserspeicherkapazität sowie zwischen Arten mit ähnlicher Wurzelarchitektur und Wasseraufnahmecharakteristik.

Im Bodenprofil kann es aber durch unterschiedliche Wasseransprüche der Bäume und der Kulturpflanzen zu einer Verlagerung von Feuchtigkeit kommen: Die räumliche Komplementarität in der Wasseraufnahme ist gegeben, wenn die Bäume tiefer wurzeln als die annuellen Kulturen und dadurch auf tieferliegende Wasserspeicher zurückgegriffen (Zhang et al. 2018) oder wenn Wasser entlang der Baumwurzeln aus tieferen Schichten auch zu den Ackerkulturen in trockeneren Bodenschichten geleitet werden kann („hydraulic lift“, Bayala and Prieto 2020). Dadurch werden auch Wasserressourcen genutzt, die den Ackerkulturen nicht zur Verfügung stehen. Zeitlich kann die Wassernutzung in Agroforstsystemen gestaffelt werden, indem Arten kombiniert werden, die ihre Hauptwassernutzung in unterschiedlichen Jahreszeiten

haben, z. B. Bäume, die eine hohe Verdunstung über eine vollständig entwickelte Krone haben, wenn die Ackerkultur bereits in der Abreife ist. Auch angepasster Baumschnitt kann die Transpiration kontrollieren.

Weiterhin können Baumstreifen auf Ackerflächen den Oberflächenabfluss reduzieren und damit den Ablauf ungenutzten Regenwassers allein, aber auch den Wasserfluss zusammen mit Partikeln oder ganzen Schichten von Oberboden. Dies hängt mit der Verkürzung der Hanglängen auf die Breite der Ackerstreifen zusammen. Die Bereiche zwischen den einzelnen Baumstämmen werden im Allgemeinen nicht bearbeitet. Dadurch mag der Effekt durch die Bäume selbst oder durch die unbearbeitete, oftmals mit Grünland bewachsene Fläche des Streifens hervorgerufen werden; zusätzlich kann durch die bodenstabilisierende Wirkung der Baumwurzeln die Erosion aber weiter reduziert werden. Neben der direkten Stabilisierung durch die Baumwurzeln wird die Bodenporosität erhöht und die Bäume vermehren den Eintrag organischen Materials in das Agrarsystem durch absterbende Wurzeln, Wurzelexsudate und Laubfall. Baumstreifen können so die Infiltrationsleistung sowie die Wasserrückhaltekapazität des Bodens in Agroforstsystemen beeinflussen. Bei Starkregenereignissen wird also die Kraft des Wasserabflusses entlang des Hangs reduziert, was den Boden schützt und Bodenerosion verringert. Außerdem kann das Wasser besser im Boden aufgenommen, gespeichert und verteilt werden (Jacobs et al. 2022).

Durch die Vielzahl der Möglichkeiten, wie die Komponenten eines Agroforstsystems räumlich, zeitlich und in Bezug auf die Arten kombiniert werden können in Verbindung mit den weiteren Boden- und Landschaftseigenschaften, stehen klare Aussagen in Bezug auf die weiträumige Verteilung der Bodenfeuchtigkeit in Agroforstsystemen bisher aus. Auch die Beiträge von Baumstreifen auf die Grundwasserneubildung oder auf das Niederschlagsrecycling durch die Transpiration der Bäume und gleichzeitige Kühlungseffekte wurden bisher wenig untersucht und öffnen ein großes Feld an weiteren Fragestellungen und zukünftiger Forschung. Dabei werden viele Fragen vermutlich fallspezifisch für Agroforstsysteme in ihrer jeweiligen Landschaft zu beantworten sein.

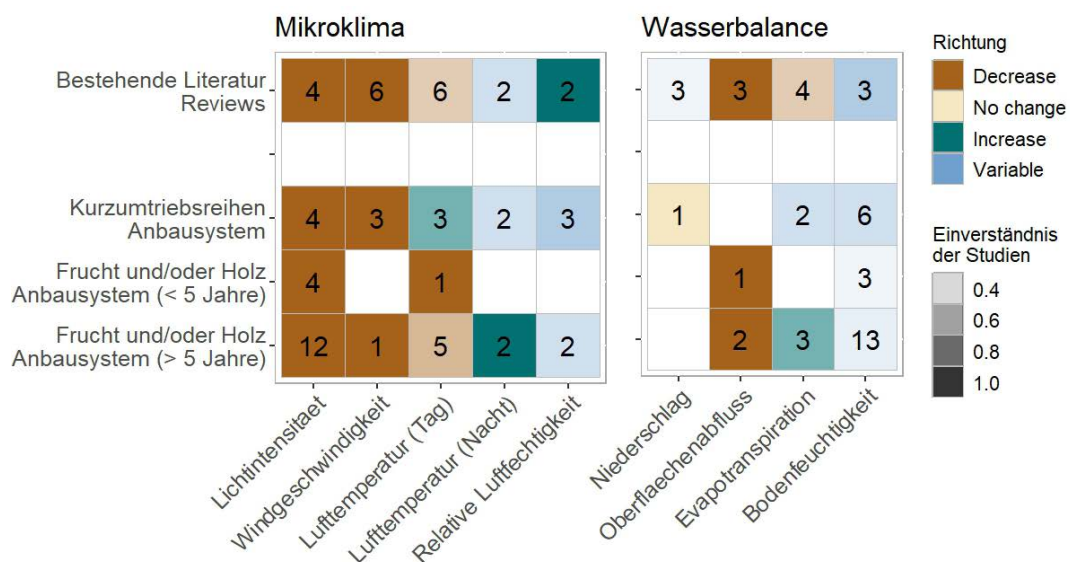


Abb. 2: Wirkung verschiedener Agroforstsysteme (Kurzumtriebsstreifen; junge Systeme mit Stammholz oder Obstbäumen; ältere Systeme mit Stammholz oder Obstbäumen) auf verschiedene Parameter des Bestandsklima und der Bodenwasserbalance anhand der Übersichtsstudie von Jacobs et al. (2022). Die oberste Reihe zeigt die Wirkungen, wie sie in verschiedenen Review-Artikeln beschrieben wurden. Die Anzahl der jeweils betrachteten Studien bzw. Review-Artikel ist dargestellt. Die Farben zeigen die Richtung der Wirkung. Je dunkler eine Farbe ist, desto stärker die Übereinstimmung der Studien für die Richtung der Wirkung der jeweilige Parameter (nach Jacobs et al. 2022).

#### 4 Agroforstsysteme im Keyline-Design

„Alley-cropping“ im Keyline-Design ist eine Möglichkeit, Baumstreifen auf Ackerflächen auszurichten. Diese Form der Flächengestaltung zielt auf eine verbesserte Wassernutzungseffizienz landwirtschaftlicher Systeme ab. Dabei sollen, wie bei der allgemeinen Hanglängenverkürzung, die Kraft des abfließenden Wassers nach einem Niederschlag reduziert, das Wasser abgefangen und aus den Punkten stärkerer Akkumulation langsam weiter verteilt werden, insbesondere an die stärker von Trockenheit betroffenen Bereiche (Giambastiani et al. 2023). Dadurch kann sowohl Erosion verringert als auch Wassermangel ausgeglichen werden. In einem Agroforstsystem wird dabei ein Baumstreifen entlang der Höhenlinie ausgerichtet und nicht nur geradlinig am Hang (Abb. 3). Die weiteren Baumstreifen ober- und unterhalb liegen dazu parallel. Ziel ist die gleichmäßige Wasserverteilung entlang der gesamten Hangfläche und aller Baumstreifen. Obwohl dieses System bereits in vielen landwirtschaftlichen Anwendungen praktiziert wird, fehlen bisher weiterreichende Forschungsdaten zur Quantifizierung der Wasserbalance.



Abb. 3: Agroforstsysteme am Gladbacherhof im Keyline-Design (links) und mit gerade ausgerichteten Baumstreifen (rechts) (© E.-M. Minarsch)

#### 5 Fazit

Eine (Re-)Diversifizierung der Landschaft ist notwendig, um natürliche Kreisläufe wiederherzustellen und die damit verbundenen Ökosystemregulationen. Bäume wieder in die Landschaft und Landwirtschaft einzubringen ist ein naheliegender Schritt, um strukturelle Diversität zu erreichen. Baumstreifen haben vielfältige Auswirkungen auf das Mikroklima und die Bodenwasserbalance und können dadurch Beiträge zur Klimaanpassung landwirtschaftlicher Systeme bieten, u.a. Verringerung der Windkraft und hoher Temperaturen, um dadurch die Unterkulturen oder Tiere zu schützen. Infiltration und Wasserrückhalt in den Böden von Agroforstsystemen werden verbessert, wobei die Evapotranspiration des Gesamtbestands allerdings erhöht wird. Hanglängen werden durch Baumstreifen verkürzt, wodurch die Erosionsanfälligkeit vermindert und Böden geschützt werden. Baumstreifen nach dem Keyline-Design bieten eine Möglichkeit, unebenes Gelände auszugleichen und Wasser gezielt zu leiten.

Wie moderne Agroforstsysteme in unseren Breiten auf den Landschaftswasserhaushalt wirken, bietet noch viel Forschungsbedarf. Während in kleinräumlichen und strukturierten Landschaften der Einfluss von

weiteren Baumstreifen vermutlich weniger Einfluss auf das Mikroklima und das Grundwasser der umliegenden Landschaft hat, können in weiten und „ausgeräumten“ Agrarlandschaften wahrscheinlich messbare Effekte erreicht werden.

Moderne Agroforstsysteme stehen in Deutschland noch ganz am Anfang der Umsetzung und Einbindung in die Landwirtschaft. Die Anlage der Systeme ist aufwendig und viele Fragen zu Interaktionen sind noch offen. Die Ausrichtung der Baumstreifen senkrecht zum Hang zur bestmöglichen Hanglängenverkürzung und Erosionsminderung kann beispielsweise zu Zielkonflikten mit anderen Einflussgrößen wie der Hauptwindrichtung und der Sonneneinstrahlung führen. Bei der Planung der Baumstreifen müssen viele Faktoren berücksichtigt und Systeme entsprechend den lokalen Konditionen angepasst werden.

## Literatur

- Bayala, J.; Prieto, I. (2020): Water acquisition, sharing and redistribution by roots: applications to agroforestry systems. *Plant Soil* 453, pp. 17–28, <https://doi.org/10.1007/s11104-019-04173-z>
- Giambastiani, Y.; Biancofiore, G.; Mancini, M.; Di Giorgio, A.; Giusti, R.; Cecchi, S.; Gardin, L.; Errico, A. (2023): Modelling the Effect of Keyline Practice on Soil Erosion Control. *Land* 12, <https://doi.org/10.3390/land12010100>
- Jacobs, S. R.; Webber, H.; Niether, W.; Grahmann, K.; Lüttschwager, D.; Schwartz, C.; Breuer, L.; Bellingrath-Kimura, S. D. (2022): Modification of the microclimate and water balance through the integration of trees into temperate cropping systems. *Agricultural and Forest Meteorology* 323, <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2022.109065>
- Zhang, J.; Wang, L.; Su, J. (2018): The Soil Water Condition of a Typical Agroforestry System under the Policy of Northwest China. *Forests* 9, <https://doi.org/10.3390/f9120730>

# Grünlandwirtschaft und Futterbau in Zeiten von Wassermangel und anderer Herausforderungen

MARTIN KOMAINDA

## 1 Einleitung

Häufigere und intensivere Trockenheitsperioden erfordern Anpassungsstrategien in der Grünlandwirtschaft, insbesondere im Nordostdeutschen Tiefland und den Mittelgebirgsregionen (Kowalski et al. 2022). Während im Nordwesten negative Effekte durch angepasstes Wassermanagement umgangen werden können (Kowalski et al. 2023), werden in anderen Regionen alternative Pflanzenbestände als Anpassung erforderlich sein. Dabei muss einerseits die Produktion hochwertigen Grobfutters sichergestellt sein. Andererseits müssen die Nährstoffeffizienz gesteigert und Nährstoffverluste verringert werden, um die Ziele des European Green Deals nicht zu gefährden. Gleichzeitig steht eine Transformation des Agrar- und Ernährungssystems hin zu nutztierfreundlichen, klimaneutralen und nachhaltigen Produktionssystemen ohne Konkurrenz zwischen Teller und Trog an (Van Zanten et al. 2019).

## 2 Grasbasierte Milchproduktion als Pfeiler nachhaltiger Bioökonomie

Hochleistende, kraftfutterbasierte Milchproduktion führt zu erheblichen Nährstoffüberschüssen, Biodiversitätsverlust und der Konkurrenz um Ackerland für den Nahrungsmittelanbau (Mottet et al. 2018). Studien verdeutlichen auch negative Effekte hoher Konzentratfutter(KF)-Intensität auf die Proteinkonvertierungseffizienz von Futter zu Nahrungsmitteln (Dentler et al. 2020). In einer deutschlandweiten Untersuchung auf 52 Milchviehbetrieben haben Wild et al. (2024) eine kritische KF-Menge für die Milchproduktion definiert, die eine Netto-Proteinzufuhr für die menschliche Ernährung gewährleistet. Dafür wurde die Proteinkonvertierungseffizienz (hePCR = human-edible protein conversion ratio) genutzt, die die Effizienz der Umwandlung von potenziell human-essbarem Protein (heP) aus Futtermitteln (Input) zu Nahrungsprotein in der Milch (Output) betrachtet. Werte über 1 zeigen an, dass mehr heP verbraucht als produziert wird. Die Ergebnisse zeigen, dass Betriebe mit einer KF-Intensität von mehr als 180 g pro kg Milch oder mit einem KF-Anteil von mehr als 30% an der Milch, mehr heP über das Futter verbrauchen als sie produzieren (hePCR > 1) (0,4 vs. 1,3 hePCR). Betriebe, die unter diesem Schwellenwert liegen, weisen eine höhere Grünlandpflanzenvielfalt, bei gleichzeitig geringeren Nährstoffüberschüssen auf (Bettin et al. 2023, Wild et al. 2024) (Tab. 1) und erfüllen deshalb politische Umweltziele. Im Durchschnitt setzten die proteineffizienten Betriebe 53% weniger Konzentrat ein (102 vs. 215 g kg<sup>-1</sup> ECM) und produzierten nur 17% weniger Milch (Tab. 1). Während Betriebe mit hePCR > 1 zwar 216 kg heP je Kuh und Jahr über die Milch erzeugen (3,4% Protein je kg Milch, 0,8 heP in Milch), liegen Betriebe mit hePCR < 1 bei 178 kg heP. Allerdings verbrauchen die Betriebe 281 bzw. 71 kg heP und damit Ackerfläche, auf der Futter angebaut werden muss.



Tab. 1: Mittelwerte für Betriebsgruppen mit einem hePCR > 1 (Netto-Proteinverlust) und hePCR < 1 (Netto-Proteingewinn) und Schnittpunkt bei hePCR = 1; KF = Konzentratfutter (nach Wild et al. 2024)

|                             | Milch aus KF | KF                     | Milchleistung                               | N-Bilanz              | P-Bilanz              | Shannon-Diversität |
|-----------------------------|--------------|------------------------|---------------------------------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------|
|                             | %            | g kg ECM <sup>-1</sup> | kg ECM Kuh <sup>-1</sup> Jahr <sup>-1</sup> | kg N ha <sup>-1</sup> | kg P ha <sup>-1</sup> |                    |
| Betriebe hePCR > 1 (n = 19) | 33           | 215                    | 7.932                                       | 43                    | 14                    | 1,5                |
| Betriebe hePCR < 1 (n = 33) | 15           | 102                    | 6.562                                       | -1                    | -7                    | 1,9                |
| Schnittpunkt hePCR = 1      | 30           | 177                    | 7.456                                       | 16                    | 1                     | 1,7                |

### 3 Anpassungen im Grünland an Klimaänderungen

In einer Studie von Hart et al. (2022) wurde der Effekt des fortschreitenden Klimawandels mit erwarteten Anstiegen in der atmosphärischen Kohlendioxidkonzentration, gekoppelt mit Schockereignissen (Trockenheit, Hitze, Flut) auf Futterwertparameter von 10 typischen Grünlandgräsern untersucht (Tab. 2). Mit ansteigender Kohlendioxidkonzentration, gekoppelt mit Schockereignissen sanken die Erträge um bis zu 60%, während der Futterwert ebenfalls durch eine Zunahme der Faser und eine Abnahme leicht verdaulicher Kohlenhydrate abnahm (Tab. 2).

Tab. 2: Ertrag, wasserlösliche Kohlenhydrate (WKH), Rohprotein (CP) und Neutrale-Detergenzien-Faser (NDF) mit zunehmendem Klimawandel und Schockereignissen (nach Hart et al. 2022). Kleinbuchstaben zeigen signifikante Unterschiede je Zeile.

| Zielgröße | Einheit   | Klima 2020<br>(400 ppm CO <sub>2</sub> ,<br>16–18 °C) | Klima 2050<br>(500 ppm CO <sub>2</sub> ,<br>21–23 °C) | Klima 2050 +<br>Flut (1 Woche vor<br>Ernte) | Klima 2050 +<br>Trockenheit (1<br>Woche vor Ernte) | Klima 2050 +<br>Hitze (35 °C zwei<br>Tage vor Ernte) |
|-----------|-----------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|---------------------------------------------|----------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| Ertrag    | g TM/Topf | 14,4                                                  | 10,2                                                  | 8,6                                         | 6,0                                                | 5,8                                                  |
| WKH       | g/kg TM   | 42,4 b                                                | 30,4 ab                                               | 25,7 a                                      | 35,2 b                                             | 36,4 b                                               |
| CP        | g/kg TM   | 232 ab                                                | 225 a                                                 | 216 a                                       | 267 b                                              | 250 ab                                               |
| NDF       | g/kg TM   | 360 a                                                 | 400 b                                                 | 441 c                                       | 374 a                                              | 375 a                                                |

Es wird erwartet, dass dem Klimawandel durch bessere Grünlandmischungen mit trocken- und hitzetoleranten Arten begegnet werden könnte (Lüscher et al. 2022). Grünlandpflanzendiversität ermöglicht durch Nischenseparation Zugang zu Wasserressourcen und damit eine verbesserte Produktivität im Vergleich zu artenarmen Grünlandbeständen. Tabelle 3 zeigt eine Übersicht zu Ertragsunterschieden zwischen artenreichen und artenarmen Beständen für ausgewählte europäische Länder. Unterschiede im Ertrag gehen auf divergierende Pflanzeigenschaften zurück, die in Mischung zum Tragen kommen. Im Gemenge mit Leguminosen erhöhen beispielsweise dikotyle Nicht-Leguminosen die Stickstoffaufnahme aus dem Boden (Dhamala et al. 2016) und sind durch ihre tief reichenden Wurzeln widerstandsfähiger gegen Trockenheit (Hoekstra et al. 2015). Insbesondere im Sommer und Herbst bieten artenreichere Bestände gegenüber artenarmen Beständen signifikante Ertragsvorteile.

Tab. 3: Gemessene Ertragsvorteile artenreicher Mischungen im europäischen Vergleich

| Grasnarbe              | Einheit               | Deutschland            | Frankreich               | Irland                 | Italien                 | Niederlande               | Dänemark                 |
|------------------------|-----------------------|------------------------|--------------------------|------------------------|-------------------------|---------------------------|--------------------------|
| Artenreich             | t TM ha <sup>-1</sup> | 6,8                    | 9,1                      | 16,8                   | 3,0                     | 9,8                       | 14,0                     |
| Artenarm               | t TM ha <sup>-1</sup> | 5,5                    | 5,8                      | 14,1                   | 2,9                     | 8,8                       | 8,0                      |
| Relativ                |                       | +21 %                  | +36 %                    | +16 %                  | +6 %                    | +10 %                     | +43 %                    |
| Referenz <sup>1)</sup> |                       | Nölke et al.<br>(2021) | Michaud et al.<br>(2011) | Baker et al.<br>(2023) | Movedi et al.<br>(2019) | Hoekstra et al.<br>(2023) | Dhamala et al.<br>(2016) |

<sup>1)</sup> Referenzen sind auf Nachfrage erhältlich.



Für das Design neuartiger Mischungen stehen auch Überlegungen im Raum, ganz neuartige, alternative Futterpflanzenarten zu nutzen. Thielecke et al. (2024) haben in einer Pilotstudie mehrere, bisher nicht weitläufig genutzte (minore) und „exotische“ dikotyle Futterpflanzenarten hinsichtlich ihrer Produktivität, Futterqualität und funktioneller Eigenschaften untersucht. Die Pflanzen wurden in einem überdachten, offenen Gewächshaus mit natürlichem Licht, aber erhöhten Temperaturbedingungen angebaut, um Klimawandelbedingungen besser abzubilden. Die Pflanzen wurden bis zu zweimal zur Blüte oberirdisch beerntet und anschließend im Labor untersucht. Die Temperatursumme im Gewächshaus war im Vergleich zur Umgebungstemperatur außerhalb der Vegetationshalle um 32% höher und es traten Tagestemperaturen von bis 43 °C auf. Die exotischen Leguminosen konnten aufgrund der Hitzeeinflüsse ertraglich deutlich besser abschneiden als die lokalen Arten (Tab. 4). Die bessere Anpassung der exotischen Leguminosen an höhere Temperaturen verdeutlicht, dass diese in Zukunft vermehrt in Erwägung gezogen werden könnten. In der Untersuchung erreichten die minoren Nicht-Leguminosen eine CP-Konzentration von 113 g kg<sup>-1</sup> TM. Die minoren Leguminosen erreichten einen Durchschnittswert von 130 g kg<sup>-1</sup> TM und die exotischen Leguminosen von 107 g kg<sup>-1</sup> TM (Tab. 4), was unterhalb der Anforderungen hochleistender Kühe liegt (Kalscheur et al. 1999), wobei hier große Artunterschiede bemerkenswert sind. Die NDF-Konzentrationen waren im Allgemeinen niedrig, obwohl die Ernte um die Blüte herum stattfand, was den Futterwert der dikotylen Arten unterstreicht.

Tab. 4: Arithmetische Mittel- und Standardfehler der Mittelwerte (in Klammern) für den Trockenmasseertrag, die NDF- und Rohproteinkonzentration (Thielecke et al. 2024)

| Gruppe                  | Art                                | TM<br>g TM/Topf | NDF<br>g/kg organische Substanz | CP<br>g/kg TM |
|-------------------------|------------------------------------|-----------------|---------------------------------|---------------|
| Minore Leguminosen      | <i>Astragalus cicer</i> L.         | 3,6 (0,56)      | 322,0 (12,0)                    | 93,9 (4,8)    |
|                         | <i>Lotus corniculatus</i> L.       | 2,7 (0,74)      | 368,8 (15,9)                    | 150,2 (12,2)  |
|                         | <i>Trifolium ambiguum</i> B.       | 1,2 (0,22)      | 358,8 (4,6)                     | 94,2 (8,9)    |
|                         | <i>Trifolium subterraneum</i> L.   | 2,4 (0,34)      | 371,5 (7,7)                     | 117,8 (6,0)   |
| Nichtleguminöse Kräuter | <i>Pimpinella anisum</i> L.        | 5,9 (1,70)      | 350,1 (8,3)                     | 121,9 (10,0)  |
|                         | <i>Plantago lanceolata</i> L.      | 2,4 (0,69)      | 381,5 (12,0)                    | 175,0 (14,4)  |
|                         | <i>Rumex acetosa</i> L.            | 1,2 (0,33)      | 353,7 (5,6)                     | 103,1 (11,8)  |
|                         | <i>Sanguisorba officinalis</i> L.  | 2,6 (0,75)      | 356,5 (4,6)                     | 104,1 (8,5)   |
| Exotische Leguminosen   | <i>Bituminaria bituminosa</i> (L.) | 5,0 (0,90)      | 475,3 (20,1)                    | 58,8 (4,0)    |
|                         | <i>Hedysarum coronarium</i> L.     | 3,6 (0,58)      | 325,7 (7,1)                     | 89,2 (4,7)    |
|                         | <i>Trifolium michelianum</i> S.    | 1,7 (0,33)      | 377,3 (11,0)                    | 172,1 (10,2)  |

TM = Trockenmasse, NDF = Neutrale-Detergenzien-Faser, CP = Rohprotein

#### 4 Nährstoff- und Wassernutzungseffizienz im Grünland

Auch für eine nährstoffeffiziente Grünlandwirtschaft kann der Einsatz artenreicher Bestände sinnvoll sein. Daten aus Irland von Hearn et al. (2023) belegen, dass artenreichere Bestände mit tiefwurzelnden Kräutern und Leguminosen ohne Düngung produktiver sind als gedüngtes Gras (Abb. 1). Gleichzeitig produzieren die Mischungen je kg N-Einsatz mehr Biomasse (50 vs. 62 kg kg<sup>-1</sup> N), womit eine effizientere N-Verwertung im Sinne des European Green Deal gegeben ist. Dies ist insbesondere deshalb wichtig, weil Kayser et al. (2020) zeigen, dass durch Trockenheit nicht nur ein drastischer Produktivitätsrückgang verzeichnet wird, sondern auch N-Verluste über Sickerwasser im Herbst exorbitant ansteigen, wenn überschüssiger N nicht aufgenommen wird und im Boden verbleibt. Mit einer verhaltenen N-Düngung sind deshalb Verluste vermeidbar. Sind in normalen Jahren bei einer Düngung von ca. 300 kg N ha<sup>-1</sup> im Dauergrün-

land 30 kg TM kg<sup>-1</sup> N Düngung erwartbar (Kayser et al. 2014, Peters et al. 2021), sinken diese auf gerade 11 kg TM kg<sup>-1</sup> N ab (Kayser et al. 2020). Artenreiche Mischungen bieten die Möglichkeit trotz geringerer Düngung sicher höhere Erträge zu erzielen.

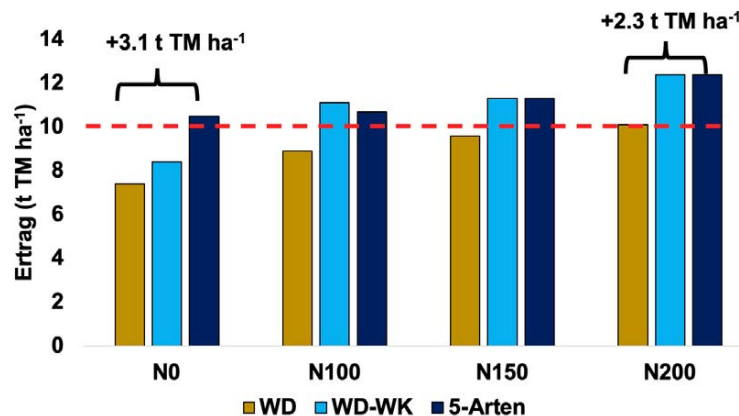


Abb. 1: Ertragswirkung steigender N-Düngung (mineralisch). Mittel aus drei Jahren. WD = Deutsches Weidelgras, WK = Weißklee, 5 Arten zusätzlich Rotklee, Spitzwegerich und Zichorie (nach Hearn et al. 2023). Rote Linie zeigt den Ertrag von Weidelgras bei höchster Düngung.

Da Wasser eine knappere Ressource wird, ist die Wassernutzungseffizienz (WUE) immer entscheidender, um den Wasserverbrauch je Einheit Biomassebildung zu reduzieren. Fünfjährig erhobene Daten von Nölke et al. (2021) belegen, dass eine N-Düngung die WUE anheben kann. Die Ergebnisse zeigen jedoch auch, dass durch tiefwurzelnde Arten wie die Futterzichorie, deutlich größere Werte erreichbar sind als mit flachwurzelndem Deutsches Weidelgras (Abb. 2). Die Erweiterung von Futterpflanzenmischungen um dikotyle Kräuter wird folglich aus Nährstoff- und Wassereffizienzgründen erwogen.

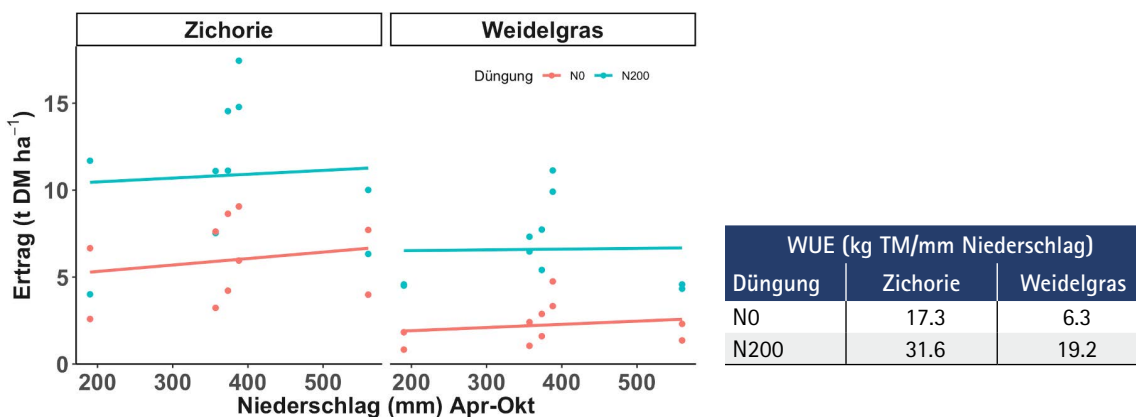


Abb. 2: Einfache Wassernutzungseffizienz (WUE) von tiefwurzelnder Zichorie und flachwurzelndem Weidelgras bei zwei Düngungsintensitäten (nach Nölke et al. 2021)

## 5 Fazit

Proteineffiziente Milchproduktion durch grasbasierte Fütterung erfüllt gesellschaftliche Ziele und kann zur Lösung von Umweltproblemen wie Nährstoffüberschüssen auf Betriebsebene beitragen. Für die Anpassung an den Klimawandel steht ein Baukasten bereit. Neben einer effizienteren Verwertung von Düngemitteln bieten artenreiche Pflanzenbestände mit tiefwurzelnden dikotylen Pflanzenarten auch eine verbesserte Wassernutzungseffizienz, ohne Ziele der Futterbereitung zu gefährden. Züchtungsinitiativen sollten das genetische Potenzial nutzen, da bisher in der Bundessortenliste keine Sorten von tiefwurzelnden Kräutern gelistet sind.

## Literatur

- Bettin, K.; Komainda, M.; Tonn, B.; Isselstein, J. (2023): Relationship between concentrate feeding strategy and grassland phytodiversity on dairy farms. *Agric. Ecosys and Env* 344, 198293
- Dentler, J.; Kiefer, L.; Hummler, T.; Bahrs, E.; Elsässer, M. (2020): The impact of low-input grass-based and high-input confinement-based dairy systems on food production, environmental protection and resource use. *Agroecology and Sustainable Food Systems* 44(8), pp. 1089–1110
- Dhamala, N.R.; Rasmussen, J.; Carlsson, G.; Sørengaard, K.; Eriksen, J. (2016): N transfer in three-species grass-clover mixtures with chicory, ribwort plantain or caraway. *Plant and Soil* 413, pp. 217–230
- Hart, E.H.; Christofides, S.R.; Davies, T.E.; Stevens, P.R.; Creevey, C.J.; Müller, C.T.; Rogers, H.J.; Kingston-Smith, A.H. (2022): Forage grass growth under future climate change scenarios affects fermentation and ruminant efficiency. *Scientific Reports* 12, 4454
- Hearn, K.; Egan, M.; Lynch, M.B.; Dolan, K.; Flynn, D.; O'Donovan, M. (2023): Can the inclusion of ribwort plantain or chicory increase the seasonal and annual dry matter production of intensive dairy grazing swards? *European Journal of Agronomy* 152, 127020
- Hoekstra, N.J.; Suter, M.; Finn, J.A.; Husse, S.; Lüscher, A. (2015): Do belowground vertical niche differences between deep- and shallow-rooted species enhance resource uptake and drought resistance in grassland mixtures? *Plant and Soil* 394, pp. 21–34
- Kalscheur, K.F.; Vandersall, J.H.; Erdman, R.A.; Kohn, R.A.; Russek-Cohen, E. (1999): Effects of dietary crude protein concentration and degradability on milk production responses of early, mid, and late lactation dairy cows. *Journal of Dairy Science* 82(3), pp. 545–554
- Kayser, M.; Breitsameter, L.; Benke, M.; Isselstein, J. (2014): Nitrate leaching is not controlled by the slurry application technique in productive grassland on organic sandy soil. *Agronomy for Sustainable Development* 35, pp. 213–223
- Kayser, M.; Hoffmann, M.; Ströer, R.; Benke, M.; Isselstein, J. (2020): Prolonged summer drought changes N dynamics in cut grassland. *Grassland Science in Europe* 25, pp. 502–504
- Kowalski, K.; Okujeni, A.; Hostert, P. (2023): A generalized framework for drought monitoring across Central European grassland gradients with Sentinel-2 time series. *Remote Sensing of Environment* 286, 113449
- Kowalski, K.; Okujeni, A.; Brell, M.; Hostert, P. (2022): Quantifying drought effects in Central European grasslands through regression-based unmixing of intra-annual Sentinel-2 time series. *Remote Sensing of Environment* 268, 112781
- Lüscher, A.; Barkaoui, K.; Finn, J.A.; Suter, D.; Suter, M.; Volaire, F. (2022): Using plant diversity to reduce vulnerability and increase drought resilience of permanent and sown productive grasslands. *Grass and Forage Science* 77(4), pp. 235–246
- Mottet, A.; Teillard, F.; Boettcher, P.; Besi, G.; Besbes, B. (2018): Review: domestic herbivores and food security: current contribution, trends and challenges for a sustainable development. *Animal* 12, pp. 188–198

- Nölke, I.; Komainda, M.; Tonn, B.; Feuerstein, U.; Isselstein, J. (2021): Including chicory and selecting white clover varieties as strategies to improve temporal stability of forage yield and quality in white clover-based temporary grassland. *European Journal of Agronomy* 130, 126362
- Peters, T.; Taube, F.; Kluß, C.; Reinsch, T.; Loges, R.; Fenger, F. (2021): How does nitrogen application rate affect plant functional traits and crop growth rate of perennial ryegrass-dominated permanent pastures? *Agronomy* 21(11), 2499
- Thielecke, D.; Isselstein, J.; Komainda, M. (2024): Multi-species for multifunctional grassland: evaluation of minor and novel forb species for temperate humid grasslands. *Annals of Applied Biology* 185(1), pp. 91–107
- Van Zanten, H.H.E.; Van Ittersum, M.K.; De Boer, I.J.M. (2019): The role of farm animals in a circular food system. *Glob Food Secur* 21, pp. 18–22
- Wild, M.; Komainda, M.; Bettin, K.; Jürgens, K.; Isselstein, J. (2024): Feed the green for a sustainable and protein-efficient dairy production. *Agricultural Systems* 223, 104216

## Danksagung

Die Arbeit ist durch Förderung des Bundesamts für Naturschutz (FKZ: 352284100B) und des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (FKZ: 281C702A21) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages entstanden, was dankend anerkannt wird.

# Auswirkungen des Klimawandels auf die Bewässerung ausgewählter Gemüsekulturen

JANA ZINKERNAGEL, MATTHEW SUOMI, NADINE SCHMIDT

## 1 Bewässerungsbedarf im Wandel des Klimas

Die Auswirkungen des Klimawandels sind sowohl global als auch innerhalb Deutschlands sehr standortspezifisch. Die Konsequenzen für Gemüsearten, die empfindlich gegenüber schwankenden Temperaturen und Niederschlagsmuster sind, variieren daher regional stark. Während Erwärmungstrends die Anbausaison in einigen Regionen potenziell verlängern können, gefährden extreme Hitzeereignisse und zunehmend unregelmäßige Niederschlagsmuster die Ertragssicherheit und -qualität (Elias et al. 2018). Diese Herausforderungen werden durch die spezifischen Wasser- und Temperaturanforderungen verschiedener Gemüsekulturen verschärft.

In der wichtigen Gemüsebauregion „Hessisches Ried“ werden seit Jahrzehnten aufgrund unzureichender Niederschläge nahezu alle landwirtschaftlichen Flächen bewässert (Berthold und Hug 2008). Eine Erhöhung der Variabilität von Niederschlagsmustern in dieser Modellregion könnte das bereits empfindliche Verhältnis zwischen Wassernutzung und Grundwasserständen gefährden.

In dieser Studie (Schmidt und Zinkernagel 2024) werden am Beispiel der Zwiebelkultur im Hessischen Ried zukünftige Muster von Trockenheitsbelastung identifiziert und potenzielle Auswirkungen auf die kulturspezifische klimatische Wasserbilanz ( $KWB_c$ ) unter veränderter, temperaturbedingter Pflanzenentwicklung bewertet.

## 2 Untersuchungsrahmen

### 2.1 Modellregion

Das Hessische Ried liegt im Süden des Bundeslandes Hessen und umfasst eine gemüsebaulich genutzte Fläche von ca. 5.100 ha mit überwiegend sandigen Böden. Die durchschnittliche jährliche Niederschlagsmenge beträgt etwa 600 mm bei einer Jahresmitteltemperatur von 10 °C. Die Zwiebel (*Allium cepa* L.) stellt eine der bedeutendsten Kulturen nach Anbaufläche dar.

### 2.2 Modellkultur

Zwiebel ist an ein breites Temperaturspektrum angepasst und ist frostverträglich. Blatt-, Wurzel- und Bulbenentwicklung erfolgen bei kühlen Temperaturen zwischen 10 und 20 °C, während der optimale Temperaturbereich für das Blattwachstum zwischen 20 und 25 °C liegt. Sobald die Bulbenbildung begonnen hat, toleriert die Pflanze auch Temperaturen über 25 °C (Daymond et al. 1997). Weitere Temperaturanstiege über 30 °C lassen die Wachstumsrate signifikant sinken und eine verlängerte Überschreitung von 35 °C kann dauerhafte Schäden verursachen (Ikeda et al. 2019). Der zeitliche Ablauf der Entwicklungsstadien von Zwiebeln kann durch die Berechnung der Temperatursumme (in °Cd) vorhergesagt werden (Tab. 1).

Tab. 1: Ausgewählte phänologische Stadien als Funktion der Temperatursumme ( $T_{\text{Sum}}$ ). Die  $T_{\text{Sum}}$ -Schwellenwerte für jedes Wachstumsstadium wurden aus 12 Jahren phänologischer und meteorologischer Daten aus Freilandversuchen in Geisenheim abgeleitet

| Phänologisches Entwicklungsstadium | Temperatursummen-Schwellenwert in °Cd |
|------------------------------------|---------------------------------------|
| Ab Auflaufen (Kc 0)                | 269                                   |
| Ab 5 Blätter (Kc 1)                | 1036                                  |
| Ab 8 Blätter (Kc 2)                | 1475                                  |
| Ab Schlottenknicken (Kc 3)         | 1909                                  |

### 2.3 Klimamodelle

Die in dieser Studie verwendeten Simulationsmodelle für zukünftige Klimabedingungen basieren auf dem eher pessimistischen RCP 8.5-Szenario für Treibhausgasemissionen (Stocker 2014) in Kombination mit zwei unterschiedlichen regionalen Klimamodellen, COSMO-CLM (C-CLM) und WETTREG 2013 (WR13), die jeweils unterschiedliche Ansätze zur Herunterskalierung von globaler auf regionale Ebene repräsentieren (Kreienkamp et al. 2013, Rockel et al. 2008). C-CLM betrachtet komplexe atmosphärischen Prozesse aus globalen Klimamodellen und simuliert ihre Interaktionen mit dem lokalen Terrain, während WR13 die Beziehungen zwischen globalen und lokalen Klimavariablen anhand historischer Beobachtungen statistisch beschreibt. Die Verwendung beider Ansätze ermöglicht eine präzisere Beurteilung potenzieller Auswirkungen des Klimawandels auf die Region. Die Ergebnisse der Simulationsmodelle beziehen sich auf den zukünftigen Zeitraum 2031 bis 2060 und werden mit dem Referenzzeitraum 1971 bis 2000 verglichen.

## 3 Trends für Änderungen von Temperatur, Niederschlag und Trockenperioden

Unter dem RCP 8.5-Szenario zeigen die Simulationen der beiden Klimamodelle signifikante Temperaturanstiege, insbesondere in den Sommermonaten. Hier sind für den gewählten Zeitraum 2031 bis 2060 durchschnittliche Temperaturerhöhungen von bis zu 2,3 °C zu erwarten. Diese Temperaturveränderungen vermögen das Wachstum und die Phänologie der Zwiebeln zu beeinflussen.

Die Simulationen der Niederschlagsveränderungen zeigen zusätzlich eine Umverteilung der Niederschläge im Hessischen Ried, insbesondere vom Sommer in die Herbst- und Wintermonate, mit Reduzierungen im September von bis zu 25 mm im Vergleich zum Zeitraum 1971 bis 2000 (Abb. 1). Diese Veränderungen in der Niederschlagsverteilung gehen mit dem Auftritt längerer Trockenperioden einher. So werden kurze niederschlagsfreie Zeiträume von ein bis fünf Tagen, die Gemüsekulturen auch ohne Bewässerung tolerieren, markant seltener. An ihre Stelle treten häufiger längere Trockenperioden von 11 bis 15 Tagen, gelegentlich auch von 16 bis 20 Tagen.

| Modell | Monat |     |      |      |      |     |      |       |      |      |     |      |
|--------|-------|-----|------|------|------|-----|------|-------|------|------|-----|------|
|        | I     | II  | III  | IV   | V    | VI  | VII  | VIII  | IX   | X    | XI  | XII  |
| WR13   | -4.3  | 0.8 | -2.1 | -3.3 | -0.5 | 0.6 | -6.6 | -8.0  | -3.0 | 5.1  | 6.3 | 7.8  |
| CCLM   | 0.4   | 2.7 | 1.1  | 7.4  | 3.9  | 2.9 | -7.5 | -24.9 | 9.0  | 10.3 | 1.3 | -9.3 |

Abb. 1: Simulierte Differenz der monatlichen Niederschläge 2031 bis 2060 im Vergleich zur Referenz 1971 bis 2000 in der Modellregion. Blaue Felder bedeuten eine Erhöhung der monatlichen Niederschlagsmenge gegenüber der Referenzperiode, orangene Felder eine Reduktion.

#### 4 Änderungen der Anbausaison und phänologischer Entwicklungsstadien

Die mögliche Anbausaison für Zwiebel verlängert sich unter den Modellbedingungen durch einen früheren Beginn aufgrund höherer Durchschnittstemperaturen im Frühling und einen späteren Abschluss, wobei sich die Anbausaison von 2031 bis 2060 um 22 bis 26 Tage im Vergleich zur Referenzperiode 1971 bis 2000 verlängert. Die potenzielle Verfrühung der Aussaat beträgt nach den Modellprognosen 12 bis 16 Tage. Gleichzeitig führen die höheren Temperatursummen zu einer Verkürzung der einzelnen phänologischen Stadien (Abb. 2). So laufen die bewässerungsbedürftigen Stadien der Keimung oder der Laubblattbildung im Mittel um drei Tage rascher ab.

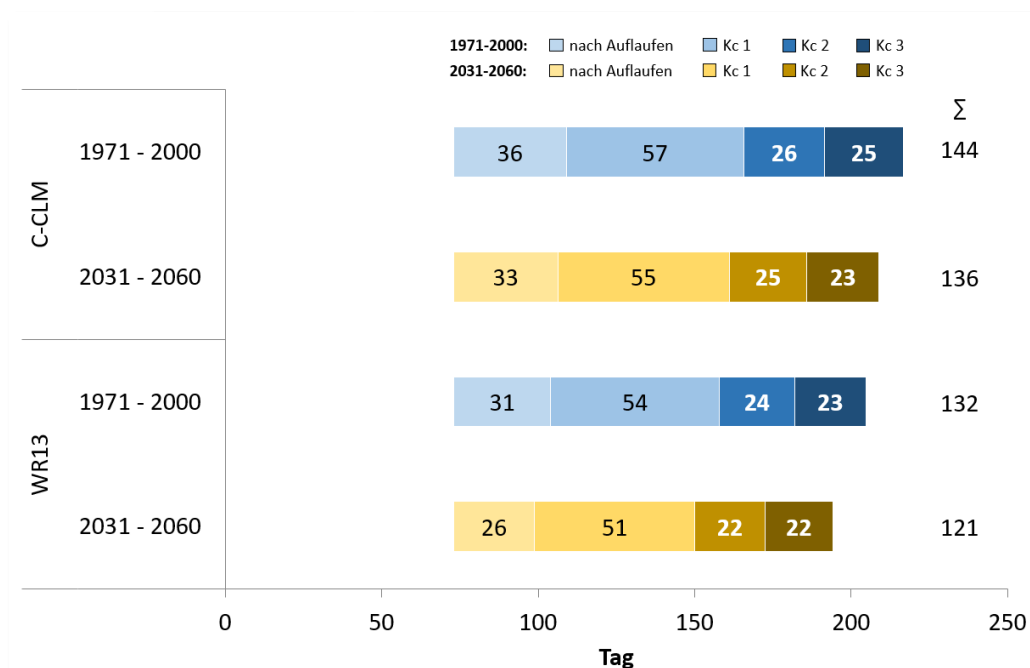


Abb. 2: Simulierte Kulturdauer und Länge der einzelnen Entwicklungsstadien von Zwiebeln mit standardisiertem Aussaattermin am 15. März

#### 5 Änderungen im kulturspezifischen Wasserbedarf

Die Bewässerungssaison für Zwiebel erstreckt sich von Ende März bis Anfang Oktober. Zurzeit ist eine jährliche Bewässerung von durchschnittlich 70 mm erforderlich (Berthold und Hug 2008), was bereits zu steigenden Anforderungen an die bewässerten Flächen und an die Wasserversorgung führt.

Das Defizit zwischen Wasserbedarf und natürlichem Wasserangebot kann anhand der klimatischen Wasserbilanz gemessen werden. Dieses Maß berücksichtigt u. a. Niederschläge und Lufttemperatur zur Berechnung der Evapotranspiration (ET) im Bestand. Zur Kalkulation der kulturspezifischen KWB (nach FAO56) und dem Bewässerungsbedarf (nach Geisenheimer Steuerung) nehmen die phänologischen Entwicklungsstadien, hier ausgedrückt als Kc (crop coefficients), eine wichtige Rolle ein.



Unter dem betrachteten Szenario ist ein Anstieg des Wasserdefizits und damit des Bewässerungsbedarfs für Zwiebel um 22 bis 36 mm zu erwarten (Abb. 3). Dieser jährliche Zusatzwasserbedarf bezieht sich auf das 30-jährige Mittel und verstellt den Blick auf temporäre Extremata. So sind Maximalwerte von 51 mm simuliert, welche in Kombination mit schneller ablaufenden, trockenheitsempfindlichen Entwicklungsstadien und häufigeren langen Trockenperioden die Anforderungen an die zukünftige Bewässerung erhöhen.

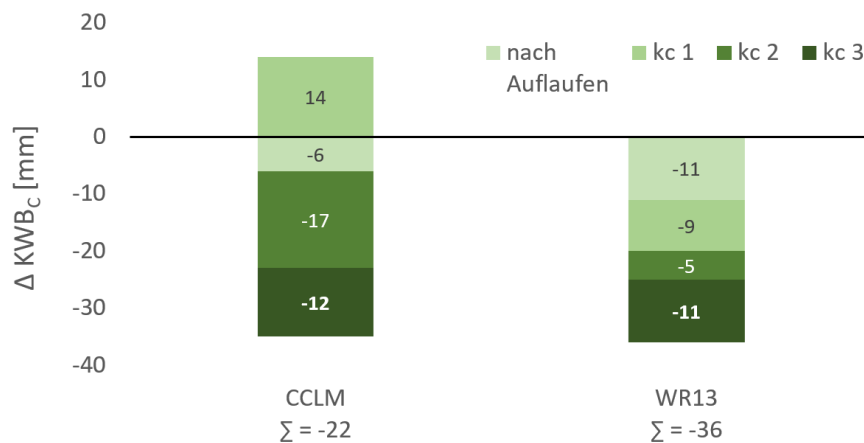


Abb. 3: Simulierte Änderungen in der kulturspezifischen Klimawasserbilanz (KWB<sub>c</sub>) von Zwiebeln

Entscheidend ist also, dass zukünftige Bewässerungsanforderungen nicht nur durch Schwankungen in der allgemeinen klimatischen Wasserbilanz, sondern auch durch die Dauer der temperaturabhängigen Kc-Phasen beeinflusst werden. Die Verkürzung einzelner Stadien wird die Vulnerabilität der einzelnen Stadien gegenüber Wassermangel steigern, vor allem wenn diese sich zeitlich mit Trockenperioden überschneiden. Beispielsweise wird die hochempfindliche Jungpflanzenphase ab Auflaufen (Kc 0) im Modellzeitraum 2031 bis 2060 bis zu fünf Tage kürzer (26 anstatt 31 Tage insgesamt). Sollte genau in diesem Zeitraum eine verlängerte Trockenphase eintreten, können Jungpflanzen dies nicht ohne intensive Zusatzbewässerung überleben.

## 6 Erforderliche Anpassungen von Bewässerungstechniken

Für den in Deutschland typischen, satzweisen Anbau von Gemüse auf kleinen und mittelgroßen Flächen werden zukünftig Bewässerungssysteme gefordert, welche dem wachsenden und insbesondere dem temporär großen Wasserbedarf gerecht werden. Eine Beispiellösung könnte ein erweiterter Einsatz mobiler Beregnungsmaschinen mit Düsenwagen/-gestänge sein (Gödecke et al. 2024). Diese können als Alternative zum Starkregner ebenfalls die Menge ausbringen, die zukünftig zu Spitzenzeiten bei Zwiebel erfordert wird. Im Gegensatz zum Starkregner kann ein Düsenwagen im Normalbetrieb auch kleinere Bewässerungszyklen ermöglichen, die für die Aufrechterhaltung einer möglichst konstanten Bodenfeuchte entscheidend sind. Zusätzlich bräuchte diese Technik einen geringeren Betriebsdruck, was als Nebeneffekt den Energiebedarf der Pumpe senken kann.

Es werden nicht nur Innovationen in der Bewässerungstechnik benötigt, sondern auch in Entscheidungshilfesystemen. Zunehmend müssen kurz- und mittelfristige Wetterprognosen in Bewässerungsalgorithmen einbezogen werden, um die Bewässerungslast auf mehrere (kleinere) Gaben zu verteilen und Zeiten der „Spitzenlast“ wo möglich zu minimieren. Ferner muss die Ermittlung von Bewässerungsbedarf und die Dokumentation von Bewässerungsereignissen im kleineren Maßstab erfolgen, damit asynchrone, bestenfalls gestaffelte Bewässerungsprogramme geführt werden können.

Die aktuellen Entwicklungen in Technologie und Datenverarbeitung sind vielversprechend, um diese Herausforderungen zu bewältigen.

## Literatur

- Berthold, G.; Hug, N. (2008): Sicherstellen der landwirtschaftlichen Produktion mit Zusatzwasserbedarf bei veränderten klimatischen Bedingungen – Maßnahmen für ein nachhaltiges Grundwassermanagement sowie Anbauempfehlungen für die landwirtschaftliche Produktion im Hessischen Ried. Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG). [https://www.hlnug.de/fileadmin/dokumente/klima/inklim\\_plus/berichte/zusatzwasserbedarf.pdf](https://www.hlnug.de/fileadmin/dokumente/klima/inklim_plus/berichte/zusatzwasserbedarf.pdf), Zugriff am 07.02.2025
- Daymond, A. J.; Wheeler, T. R.; Hadley, P.; Ellis, R. H.; Morison, J. I. L. (1997): The growth, development and yield of onion (*Allium cepa* L.) in response to temperature and CO<sub>2</sub>. *Journal of Horticultural Science* 72(1), pp. 135–145, <https://www.doi.org/10.1080/14620316.1997.11515500>
- Elias, E.; Marklein, A.; Abatzoglou, J. T.; Dialesandro, J.; Brown, J.; Steele, C.; Rango, A.; Steenwerth, K. (2018): Vulnerability of field crops to midcentury temperature changes and yield effects in the Southwestern USA. *Climatic Change* 148(3), pp. 403–417, <https://www.doi.org/10.1007/s10584-017-2108-8>
- Gödecke, H.; Belau, T.; Müller, M. (2024): Technik in der Feldbewässerung. Systemvergleich. Arbeitsgemeinschaft Landtechnik und Landwirtschaftliches Bauwesen in Bayern e.V. (ALB), [https://www.alb-bayern.de/De/Bewaesserung/Projekte/FachgruppeBew/verfahren-leistung-bedarf\\_fgb1.html](https://www.alb-bayern.de/De/Bewaesserung/Projekte/FachgruppeBew/verfahren-leistung-bedarf_fgb1.html), Zugriff am 07.02.2025
- Ikeda, H.; Kinoshita, T.; Yamamoto, T.; Yamasaki, A. (2019): Sowing time and temperature influence bulb development in spring-sown onion (*Allium cepa* L.). *Scientia Horticulturae* 244, pp. 242–248, <https://www.doi.org/10.1016/j.scienta.2018.09.050>
- Kreienkamp, F.; Spekat, A.; Enke, W. (2013): The Weather Generator Used in the Empirical Statistical Downscaling Method, WETTREG. *Atmosphere* 4(2), pp. 169–197, <https://doi.org/10.3390/atmos4020169>
- Rockel, B.; Will, A.; Hense, A. (2008): The Regional Climate Model COSMO-CLM (CCLM). *Meteorologische Zeitschrift* 17(4), pp. 347–348, <https://www.doi.org/10.1127/0941-2948/2008/0309>
- Schmidt, N.; Zinkernagel, J. (2024): Crop Coefficients and Irrigation Demand in Response to Climate-Change-Induced Alterations in Phenology and Growing Season of Vegetable Crops. *Climate* 12(10), <https://www.doi.org/10.3390/cli12100161>
- Stocker, T. (Ed.) (2014): Climate change 2013. The physical science basis Working Group I contribution to the Fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. New York, Cambridge University Press, <https://digitallibrary.un.org/record/768431?ln=en&v=pdf>, Zugriff am 07.02.2025

## Künstliche Grundwasseranreicherung: Eine schnelle Anpassungsoption für die Bewässerung?

THOMAS BAUMANN, LEA AUGUSTIN

### 1 Einleitung

Die Klimaprognosen deuten auf eine beschleunigte Erwärmung, die eine Zunahme extremer Wetterereignisse wie Starkregen und Dürren zur Folge haben wird (IPCC 2022). Gleichzeitig werden weltweit sinkende Grundwasserspiegel dokumentiert (Jasechko et al. 2024), während die Nachfrage nach Grundwasser laut Prognosen weiter steigen wird (IPCC 2022). Langfristig könnten Dürren damit zu einem neuen Normalzustand werden und die Wasserversorgung sowohl für Trinkwasser als auch für die Bewässerung ernsthaft gefährden.

Die künstliche Grundwasseranreicherung stellt eine effektive Lösung zur Vermeidung von Dürren dar, insbesondere wenn das Wasser genutzt wird, das andernfalls durch schnellen Abfluss für die Region verloren gehen würde. Dabei muss die Herausforderung der zeitlichen Asymmetrie zwischen kurzen Extremwetterereignissen und dem Ziel einer saisonalen Speicherung bewältigt werden. Die unterirdische Speicherung von Wasser hat dabei den Vorteil, dass sie nicht mit anderen Landnutzungen in Konflikt gerät und keine Verdunstungsverluste verursacht.

### 2 Smart-SWS: Kombination von Hochwasserschutz und Dürrevorsorge

#### 2.1 Konzept

Das vom BMBF geförderte Projekt „Smart-SWS“ bietet eine Anpassungsstrategie für Wasserextremereignisse: die Kombination von Hochwasserschutz und Dürrevorsorge durch Infiltration von überschüssigem Oberflächenwasser in flache Grundwasserleiter (Abb. 1).



Abb. 1: Smart-SWS-Konzeptschema (© L. Augustin, T. Baumann)

Durch diesen dezentralen Ansatz kann das lokale Wasserdargebot gestützt und die Verfügbarkeit von Wasser im oberen Grundwasserstockwerk, z. B. für die Landwirtschaft, mit geringem technischen Aufwand und geringem Flächenverbrauch verbessert werden. Eine GIS-basierte multikriterielle Entscheidungsanalyse identifizierte 35 % der Fläche Schwabens als geeignet für diesen Lösungsansatz (Augustin und Baumann 2024). Um eine Speicherung in hoher Qualität und Quantität zu gewährleisten, ist neben einem risikobasierten Ansatz für das Einzugsgebiet ein kontinuierliches Monitoring von Schlüsselparametern entscheidend. Im Projekt wurden dafür autarke Open-Source-Sensorboxen entwickelt, die die Oberflächenwasserqualität während Trockenheit und Starkregen erfassen können (Augustin und Baumann, in Vorbereitung). Die Auswirkungen der Speichersystemen lassen sich anhand der lokalen Ökosystemfunktionen bewerten (Dietmaier et al., in Vorbereitung). Parallel werden im Projekt die rechtlichen und ökonomischen Randbedingungen bearbeitet, um Nutzungs- und Interessenkonflikte aufzulösen.

## 2.2 Pilotanlage in der Hallertau

Die Hallertau (Bayern, DE) ist eines der größten zusammenhängenden Hopfenanbaugebiete der Welt. Die Anbaufläche lag 2023 bei 20.629 ha (LfL 2024). Der damit einhergehende Bedarf an Bewässerung von bis zu 170 mm/a hat den oberflächennahen Grundwasserleiter erheblich belastet. Bei einem durchschnittlichen Jahresniederschlag von 778 mm (Ø 2015 bis 2024) ist das Gebiet als moderat feucht einzuordnen (Agrarmeteorologie Bayern 2025). Die Region gehört nach der hydrogeologischen Raumgliederung zum Tertiärhügelland. Dieses Gebiet ist geprägt von tertiären fluviatilen, limnischen, brackischen und marinen Lockergesteine, die als Porengrundwasserleiter fungieren (LfU 2007).



Abb. 2: Lageplan der Smart-SWS-Pilotanlage in Hüll, Hallertau; A: Rückhaltebecken mit Entnahmeschacht, B: Aufbereitungseinheit, C: Infiltrationsbrunnen, D: Grundwassermessstelle (© L. Augustin; Orthophoto: OpenData Bayern)

Eine Pilotanlage für Smart-SWS wurde im November 2024 am Hopfenforschungszentrum Hüll in der Halbertau errichtet. Während die Grundwasserspiegel in den letzten zehn Jahren gesunken sind, gab es vor Ort mehrere schwere Überschwemmungen, die auf einen unzureichenden Hochwasserschutz hinweisen. Durch die Infiltration von Starkregen in den anstehenden, sehr gut durchlässigen Grundwasserkörper ( $k_f = 10^{-4}$  bis  $10^{-3}$  m/s) soll qualitativ hochwertiges Wasser gespeichert und die Bewässerung auch langfristig sichergestellt werden.

Die Pilotanlage besteht aus einem Regenrückhaltebecken mit Entnahmeschacht, einer Überwachungs- und Aufbereitungseinheit, einem Infiltrationsbrunnen und Grundwassermessstelle (Abb. 2) und ist auf 25 L/s ausgelegt. Die hydrochemischen Bedingungen werden vom Becken bis zur Grundwassermessstelle mit konventionellen und spektroskopischen Sensoren kontinuierlich überwacht (Abb. 3), die durch Laboranalysen ergänzt werden. Ein automatisiertes Regelungssystem sichert dabei ein minimales Risiko für die primären Schutzgüter Grundwasser und Infrastruktur. Während der rechtliche Rahmen für künstliche Grundwasseranreicherung in Deutschland noch viele Lücken aufweist, wurde die lokale Umsetzbarkeit anhand dieser Pilotanlage demonstriert.

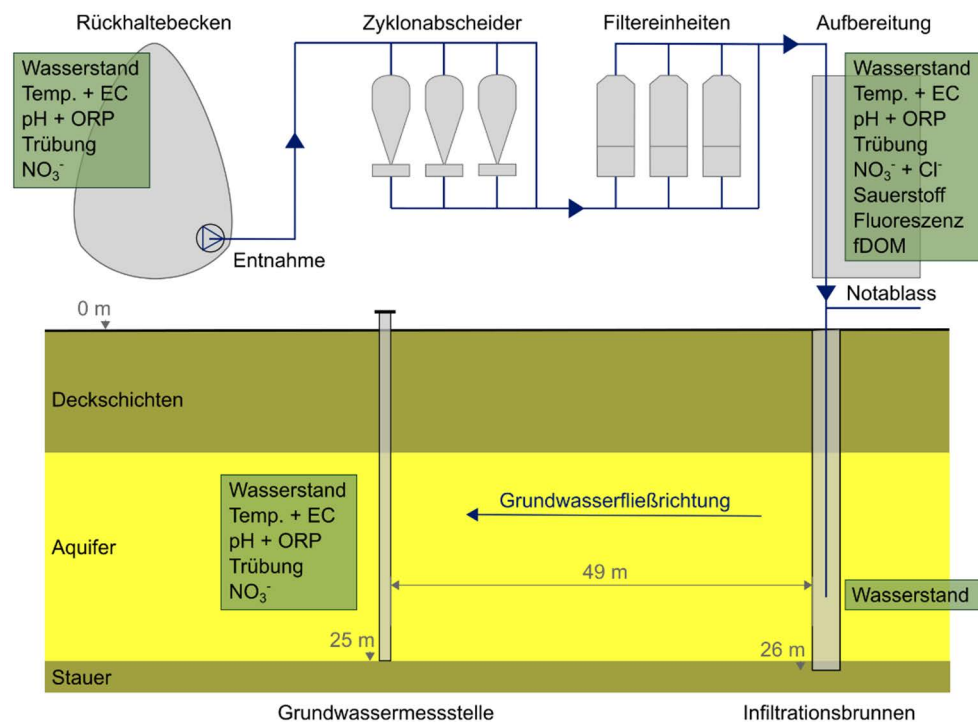


Abb. 3: Schema der Smart-SWS-Pilotanlage mit kontinuierlichen Messpunkten und -parametern (© L. Augustin)



### 2.3 Bedeutung für die Bewässerung

Die Modellergebnisse (MODFLOW 6) zeigen, dass die Infiltration eines Hochwasserereignisses ausreichend Wasser liefert, um eine Bewässerung von 5 bis 10 ha Hopfengärten zu gewährleisten. Gleichzeitig wird die Effizienz des Hochwasserrückhaltebeckens signifikant gesteigert. Erste Versuchsergebnisse zeigten, dass aufgrund der hohen Durchlässigkeit des örtlichen Grundwasserleiters die Aufnahme der Wassermengen problemlos erfolgt. Der sehr geringe hydraulische Gradient (1 ‰ zwischen Infiltrationsbrunnen und Grundwassermessstelle) führt zu langsamen Fließgeschwindigkeiten (um 10 cm/d), wodurch eine langfristige Speicherung des Wassers am Standort ohne weitere geotechnische Maßnahmen ermöglicht wird. Die aus der Risikoanalyse des Einzugsgebietes abgeleiteten Vorhersagen zur chemischen Qualität des Oberflächenwassers wurden durch Analysen während des Hochwasserereignisses im Juni 2024 bestätigt. Diese zeigten, dass sich das Oberflächenwasser im Vergleich zum Grundwasser in einem besseren Zustand befindet. Mithilfe der Zyklonabscheider und Filterschächte mit Adsorptionsmaterialien können Feinanteil, partikelbedingte Schadstoffe und organische Kontaminanten verringert werden. Der Grundwasserleiter wird demnach in einen sowohl quantitativ als auch qualitativ besseren Zustand überführt, der eine nachhaltige Nutzung ermöglicht.

## 3 Fazit

Zur nachhaltigen Stützung des Landschaftshaushalts und damit zur Adaptierung an die Folgen des Klimawandels können multifunktionale Speicheranlagen einen großen Beitrag leisten. Die Umsetzung einer Pilotanlage in der Hallertau demonstrierte die Machbarkeit und den Mehrwert künstlicher Grundwasseranreicherung. Der gut instrumentierte und wissenschaftlich kontinuierlich begleitete Forschungsstandort bietet dabei die Möglichkeit, die Akzeptanz solcher Systeme zu erhöhen und belastbare Daten zu erheben. Das entwickelte Monitoring- und Regelungssystem zur Konformitätsüberwachung ist auf ähnliche Systeme übertragbar, ebenso wie die entwickelten kostengünstigen Sensorboxen. Die Verknüpfung der Anlage mit dem konkreten Nutzen des Wassers, beispielsweise zur Bewässerung, eröffnet neue Perspektiven für eine nachhaltige Landwirtschaft. Der rechtliche Rahmen wird dabei zurzeit intensiv diskutiert und hinterfragt, sodass eine eindeutigere Regelung in den kommenden Jahren wahrscheinlich ist.

## Literatur

- Agrarmeteorologie Bayern (2025): Wetterstation Hüll. Jahresmittel. [www.wetter-by.de](http://www.wetter-by.de), Zugriff am 31.01.2025
- Augustin, L.; Baumann, T. (2024): Suitability Mapping for Subsurface Floodwater Storage Schemes. *InterPore Journal* 1(2), <https://doi.org/10.69631/ipj.v1i2nr20>
- Augustin, L.; Baumann, T. (in Vorbereitung): High-resolution monitoring of the Günz River, Assessing water quality risks for managed aquifer recharge
- Dietmaier, A.; Schultze A.; Baumann, T. (in Vorbereitung): Impacts of conventional and nature-based stormwater management solutions on groundwater-dependent ecosystem services
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2022): Technical Summary. In: *Climate Change 2022 – Impacts, Adaptation and Vulnerability: Working Group II Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, Cambridge University Press, pp. 37–118, <https://doi.org/10.1017/9781009325844.002>
- Jasechko, S.; Seybold, H.; Perrone, D.; Fan, Y.; Shamsudduha, M.; Taylor, R. G.; Fallatah, O.; Kirchner, J. W. (2024): Rapid groundwater decline and some cases of recovery in aquifers globally. *Nature* 625(7996), pp. 715–721, <https://doi.org/10.1038/s41586-023-06879-8>
- LfL, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (2024): Jahresbericht 2023. Sonderkultur Hopfen. Freising-Weihenstephan, [www.lfl.bayern.de](http://www.lfl.bayern.de), Zugriff am 31.01.2025
- LfU, Bayerisches Landesamt für Umwelt (2007): Hydrogeologischer Teilraum Tertiär-Hügelland. Augsburg, [www.lfu.bayern.de](http://www.lfu.bayern.de), Zugriff am 31.01.2025

## Förderhinweis

Diese Forschung wurde durch das Projekt „Smart-SWS“ ermöglicht, das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (Förderkennzeichen 02WEE1630A) im Rahmen der Fördermaßnahme WaX – Wasser-Extremereignisse gefördert wird.



## Wasserwiederverwendung für die landwirtschaftliche Bewässerung in Deutschland – Chancen und Herausforderungen

BENEDIKT M. AUMEIER, JAVAD AHAMDI, JÖRG E. DREWES

### 1 Bedarf an alternativen Wasserressourcen

Die Süßwasservorräte werden in vielen Teilen der Welt aufgrund von Urbanisierung, Bevölkerungswachstum und wirtschaftlicher Entwicklung zunehmend knapper (Global Commission on the Economics of Water 2023). Die Verfügbarkeit von Wasserressourcen wird durch die Auswirkungen des Klimawandels noch kritischer, da die Häufigkeit von längeren Dürren selbst in Regionen mit gemäßigttem Klima zunimmt (IPPC (2023)). Um Wasserknappheit in ariden und semiariden Regionen zu begegnen, ist die Wiederverwendung von kommunalen Abwässern eine vielversprechende Option, um eine alternative Frischwasserversorgung zu ermöglichen (Bauer et al. 2020). Im Rahmen der nachhaltigen Entwicklungsziele (SDGs) der Vereinten Nationen fordert Ziel 6.3, die Wasserwiederverwendung und sichere Wiederverwendung weltweit bis 2030 signifikant zu steigern. Der Weltwasserentwicklungsbericht 2023 betonte weiterhin die Bedeutung der Rückgewinnung von nicht trinkbarem Wasser als alternative Wasserressource (Ahuja 2021, Helmecke et al. 2020, UNESCO 2017, United Nations 2015).

Die Landwirtschaft ist in besonderem Maße von der klimawandelbedingten Veränderung des Wasserdargebot betroffen, sodass insbesondere Trockenperioden die Ernteerträge in Gefahr bringen. In vielen Regionen Mitteleuropas und auch in Deutschland ersetzt insbesondere im Falle von für den Verkauf bestimmten Anbaufrüchten der Bewässerungsfeldbau den traditionell etablierten Regenfeldbau. Dazu sind unmittelbar wirksame Unterstützungsmaßnahmen zu ergreifen. Dazu gehört beispielsweise die Diversifizierung lokaler Wasserressourcen und die Bereitstellung verschiedener Wasserqualitäten, die den spezifischen Anforderungen unterschiedlicher Nutzungen entsprechen, anstatt einer einheitlichen Qualität für alle Zwecke. Dies schließt die Nutzung von belasteten Oberflächengewässern sowie Uferfiltraten und die geplante Wiederverwendung von Wasser ein. Besonders Abläufe aus kommunalen Kläranlagen, auch bekannt als „Klarwasser“, stellen eine wertvolle, unabhängig von Trockenperioden verfügbare Ressource dar, die wiederverwendet werden könnte. In Deutschland, insbesondere in Regionen mit knappem Wasserhaushalt, könnte die landwirtschaftliche Wasserwiederverwendung eine interessante alternative Wasserquelle darstellen, die den Einsatz von herkömmlichen Süßwasserressourcen ergänzt oder ersetzt.

### 2 Rechtlicher Rahmen für die Wasserwiederverwendung

In Ländern mit vergleichbaren Umweltstandards und begrenzten Wasserressourcen ist die Nutzung von Kläranlagenabläufen mit weitergehender Wasseraufbereitung seit vielen Jahrzehnten eine bewährte Praxis und integraler Bestandteil der Wasserwirtschaft. Die EU hat im Jahr 2020 erstmals eine Verordnung zu Mindestanforderungen für die Wasserwiederverwendung erlassen (EU 2020), die seit dem 26. Juni 2023 auch in Deutschland gilt. Diese Verordnung legt nicht nur spezifische Parameter zur Sicherstellung einer einwandfreien hygienischen Wasserqualität fest, sondern fordert auch einen Risikomanagementansatz, der durch administrative und technische Maßnahmen die Risiken für Gesundheit und Umwelt auf ein vertretbares Maß reduziert. Damit ist der rechtliche Rahmen geschaffen, um die Wasserwiederverwendung

für die landwirtschaftliche Bewässerung sicher einzusetzen. In Deutschland wird eine Bundesverordnung erwartet, die die Anforderungen an die landwirtschaftliche (und urbane) Wasserwiederverwendung weiter spezifiziert und ergänzt. Die Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (DWA) erarbeitet aktuell ein entsprechendes technisches Regelwerk in Form des Merkblattes DWA-M 1200 in drei Teilen. Damit liegen alle rechtlichen Grundlagen und die technische Ausgestaltung vor, um mithilfe der Wasserwiederverwendung in der Landwirtschaft Ernteerträge abzusichern.

Bisher fehlen jedoch konkrete Projekte, die zeigen, wie diese Praxis für urbane und landwirtschaftliche Zwecke umgesetzt werden kann und wie die neuen rechtlichen und technischen Anforderungen, insbesondere im Risikomanagement, erfüllt werden können.

### 3 Demonstrationsprojekt Nutzwasser in Schweinfurt

Schweinfurt liegt auf der fränkischen Trockenplatte, auf der sehr fruchtbare Böden mit einem sehr limitierten Wasserdargebot konfrontiert sind. Das Nutzwasserprojekt verfolgt dort das Ziel, neue, hochflexible und bedarfsgerechte Managementstrategien für eine Wasserwiederverwendung zur urbanen und landwirtschaftlichen Bewässerung praxisnah zu entwickeln und im Rahmen relevanter Demonstrationen mit Praxispartnern so zu optimieren, dass eine Implementierung in anderen Zielregionen beschleunigt wird. „Nutzwasser“ ist das aufbereitete Wasser, das beispielsweise für die landwirtschaftliche Bewässerung eingesetzt werden kann (Abb. 1). Schwerpunkte sind dabei die Erarbeitung von Handlungsempfehlungen für eine genehmigungsrechtliche Implementierung, die Festlegung von Wasserqualitätsanforderungen für unterschiedliche Bewässerungspraktiken sowie cloudbasierte Echtzeitansätze zur Bedarfsbestimmung und automatisierte Systeme zur Qualitätssicherung. Darauf aufbauend erfolgt eine Dargebotsanalyse alternativer Wasserressourcen einschließlich innovativer Konzepte zur Speicherung, aber auch zur Implementierung von urbanen Nutzwassersystemen im Bestand. Die erforderliche Nutzwasserqualität wird durch den Einsatz robuster, weitergehender Multibarrieren-Aufbereitungsverfahren bereitgestellt, die je nach Bedarf kurzfristig an- und abgefahren werden zu können. Damit wird die geforderte Wasserqualität bezüglich aller relevanter Parameter erreicht. Das schließt die Entfernung von Krankheitserregern (Ho et al. 2024), Nähr- und Störstoffen sowie Spurenstoffen (z. B. Arzneimittelrückstände und Pflegeprodukte) ein. Durch eine wirtschaftswissenschaftliche Begleitforschung und wohlfahrtsökonomische Betrachtung werden Ansätze für angepasste Betreibermodelle und eine ganzheitliche Bewertung einer nachhaltigen Nutzwassermanagement erarbeitet.

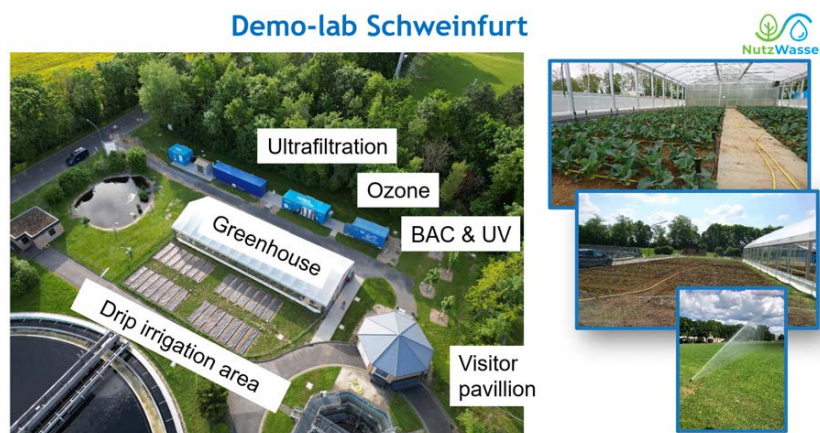


Abb. 1: Nutzwasserproduktion und anschließende Bewässerung in Schweinfurt (© J. E. Drewes, J. Ahmadi)

Aktuell plant die Stadtentwässerung Schweinfurt den großtechnischen Ausbau der Infrastruktur zur weitergehenden Spurenstoffelimination und im gleichen Zuge zur Wasserwiederverwendung mit einer Nutzwasserproduktionskapazität von 200.000 m<sup>3</sup> pro Jahr. Als erste Anwendung wird über eine in den Abwasserkanal eingezogene Pipeline die Stadt zur urbanen Bewässerung (Fußballstadion und Stadtgrün) versorgt werden, um unter anderem die Nutzwasseranwendung bürgernah und öffentlichkeitswirksam in einem Reallabor zu demonstrieren. Eine zielgerichtete Öffentlichkeitsarbeit bringt die Konzepte zur Nutzwasseranwendung schon jetzt den Entscheidungsträgern und der interessierten Öffentlichkeit auf dem Gelände der Kläranlage anschaulich näher und stellt Schulungsunterlagen und Handlungsempfehlungen für Betreiber, Planer und Behörden bereit. Dem Reallabor in der Stadt soll das Reallabor der Nutzwasseranwendung zur Bewässerung auf den landwirtschaftlichen Flächen in der unmittelbaren (Stadtteil Oberndorf) und mittelbaren Umgebung (Gemeinde Gochsheim und Bergrheinfeld) folgen. In Gochsheim wurden bereits mittel IoT-Sensortechnologie der Bewässerungsbedarf und die Speicherkapazität im Grundwasserleiter als Grundlage detailliert ermittelt. Aktuelle Projekt-Updates sind unter [www.nutzwasser.org](http://www.nutzwasser.org) zu finden.

## Literatur

- Ahuja, S. (2021): Water quality worldwide.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780128210574000033>, Zugriff am 10.02.2025
- Bauer, S.; Linke, H. J.; Wagner, M (2020): Combining industrial and urban water-reuse concepts for increasing the water resources in water-scarce regions. *Water Environ. Res.* 92(7), pp. 1027–1041, <https://doi.org/10.1002/wer.1298>
- EU (2020): Verordnung (EU) 2020/741 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 25. Mai 2020 über Mindestanforderungen an die Wasserwiederverwendung. [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=uriserv:OJ.L\\_.2020.177.01.0032.01.DEU&toc=OJ:L:2020:177:TOC](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=uriserv:OJ.L_.2020.177.01.0032.01.DEU&toc=OJ:L:2020:177:TOC), Zugriff am 10.02.2025
- Global Commission on the Economics of Water (2023): The What, Why and How of the World Water Crisis: Global Commission on the Economics of Water Phase 1 Review and Findings, pp. 1–96, <https://www.clemson.edu/academics/programs/eportfolio/information.html>, Zugriff am 30.01.2025
- Helmecke, M.; Fries, E.; Schulte, C. (2020): Regulating water reuse for agricultural irrigation: risks related to organic micro-contaminants. *Environ. Sci. Eur.* 32(1), <https://doi.org/10.1186/s12302-019-0283-0>
- Ho, J.; Ahmadi, J.; Schweikart, C.; Hübner, U.; Schwaller, C.; Tiehm, A.; Drewes, J. E. (2024): Assuring reclaimed water quality using a multi-barrier treatment train according to the new EU non-potable water reuse regulation, *Water Research* 267, <https://doi.org/10.1016/j.watres.2024.122429>
- IPCC (2023): Climate Change 2022 – Impacts, Adaptation and Vulnerability. Working Group II Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, <https://doi.org/10.1017/9781009325844>
- UNESCO (2017): The United Nations world water development report. Wastewater: the untapped resource. Paris, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
- United Nations (2015): Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development, Document number A/RES/70/1, <https://sdgs.un.org/sites/default/files/publications/21252030%20Agenda%20for%20Sustainable%20Development%20web.pdf>, Zugriff am 14.03.2025

## Danksagung

Wir danken dem BMBF (Projekt „Nutzwasser“, FKZ: 02WV1563A) und dem bayerischen Landesamt für Umwelt (LfU) (Projekt „Nutzwasser für städtisches Grün“) für die finanzielle Unterstützung.

## Grüne Gräben und Herausforderungen für einen klimaresilienten Landkreis

THOMAS KELLER

### 1 Gemeinsam zum Ziel

Der Klimawandel ist auf dem Vormarsch und die Folgen, wie wärmere Winter mit weniger Schnee, sind bereits zu spüren. Bedingt durch längere und heißere Trockenperioden im Sommer gehen die Abflüsse in den Gewässern zurück, Böden trocknen aus und Pflanzen leiden unter Wassermangel. Weniger Niederschläge bewirken auch eine abnehmende Grundwasserneubildung, was Auswirkungen auf die Nutzung des Grundwassers hat. Plötzlich auftretende Starkniederschlagsereignisse verschärfen die Situation. Der Boden kann das Niederschlagswasser kaum aufnehmen und es fließt oberirdisch ab. Dadurch kann es zu Überschwemmungen kommen. Neben den negativen Folgen für Flora und Fauna sind wir Menschen somit direkt von den geänderten klimatischen Bedingungen betroffen.

Die Trockenheit ist im Landkreis Neustadt a. d. Aisch-Bad Windsheim besonders zu spüren. Die Grundwasserneubildung liegt mit rund 60 mm/a deutlich unter dem bayerischen Durchschnitt. Grund genug, dass wir uns frühzeitig Gedanken um die Zukunft des regionalen Wasserdargebots machen. Es gilt, den Landkreisbewohnern weiterhin deren Lebens- und Existenzbedingungen zu sichern. Trinkwasserversorgung, Zugang zu sauberen Gewässern, Bepflanzung von Fischteichen oder umweltverträgliche Bewässerung von Sonderkulturen wie Wein seien beispielhaft genannt.

Unter dem Eindruck des Trockenjahres 2022 entstand die Idee, sich im Landkreis Neustadt a. d. Aisch-Bad Windsheim als Pilotlandkreis klimaresilient aufzustellen. Gemeinsam haben Landkreis, Kommunen, Amt für Ländliche Entwicklung und Wasserwirtschaftsamt – mit tatkräftiger Unterstützung von vielen weiteren Institutionen, Verbänden und Betroffenen – Wege für einen nachhaltigen Umgang mit dem nur begrenzt zur Verfügung stehenden Wasser erarbeitet. Ziel war es, Möglichkeiten bzw. Alternativen zu finden, die einen zukunftsorientierten Wasserrückhalt und eine geordnete Nutzung des Wassers vor Ort garantieren – auch und gerade in Trockenzeiten! Wichtig waren uns vor allem zwei Aspekte: Erstens, dass wir den Weg gemeinsam bestreiten und zweitens, dass wir direkt in die praktische Umsetzung einsteigen. Im Laufe der Zusammenarbeit ist ein „Wir-Gefühl“ entstanden, auf das wir besonders stolz sind.

## 2 Grüne Gräben liefern erste Ergebnisse

Bereits Anfang 2022 wurde das erste Projekt in Zusammenarbeit vom Landratsamt Neustadt a.d. Aisch-Bad Windsheim, dem Bayerischen Bauernverband und dem Wasserwirtschaftsamt Ansbach gestartet. Die Idee war, ehemalige Entwässerungsgräben in „Wasserrückhaltegräben“ umzufunktionieren. An drei Standorten sind Stauwehre in Gräben eingebaut worden (Abb. 1), die das Wasser zurückhalten – zur Verbesserung des Landschaftswasserhaushalts. Alle Standorte sind mit Wasserstandsmesser, Niederschlagsschreiber und Bodenfeuchtesonden ausgestattet, um eine fundierte Datengrundlage zu erhalten. Erste Ergebnisse zeigen, dass auch in wasserarmen Gebieten Wasser in einem nennenswerten Umfang zurückgehalten und ggf. genutzt werden kann. Um das Potenzial zum Rückhalt von Wasser und eine bayernweite Übertragbarkeit besser einschätzen zu können, wurde die Technische Universität München mit einer Modellierung beauftragt.



Abb. 1: Aufgestauter Graben (© Wasserwirtschaftsamt Ansbach)

## 3 Gemeinsam anpacken für die Zukunft – vier Workshops weisen die Richtung

Die erfolgversprechenden Ergebnisse des Projektes „Grünen Gräben“ einerseits und der Rekord-Trockensommer 2022 andererseits waren Anlass für den Landkreis Neustadt a.d. Aisch-Bad Windsheim weitere Schritte zu gehen, um die Region für die kommenden Hitze- und Trockenperioden vorzubereiten. In einem breiten Bündnis haben sich Landkreis, Kommunen, das Amt für Ländliche Entwicklung Mittelfranken und das Wasserwirtschaftsamt Ansbach zusammengefunden und das Projekt „Klimaresilienter Landkreis Neustadt a.d. Aisch-Bad Windsheim“ ins Leben gerufen. Sinn und Zweck ist die Bündelung der Ressourcen sowie die Entwicklung neuer und innovativer Lösungsansätze ohne „Scheuklappen-Denken“.

Durch das gemeinsame Anpacken soll es gelingen, den Folgen des Klimawandels fachübergreifend und wirkungsvoll zu begegnen. Hierzu haben sich die Projektpartner in vier Workshops mit Experten und Betroffenen zu folgenden Themenschwerpunkten ausgetauscht:

1. Gewässer und Talaue
2. Siedlung und Infrastruktur
3. Land- und Forstwirtschaft
4. Sonderkulturen und Teichwirtschaft





Die Workshops vereinten Wissenschaft und Praxis, Betroffene und Experten, Fachvorträge und Diskussionsrunden. Durch den intensiven und partnerschaftlichen Austausch entstand ein Netzwerk, das die Basis für die heutige Zusammenarbeit bildet.

### Workshop 1: Gewässer und Talaue

Die aquatischen Lebensgemeinschaften sind von den Folgen des Klimawandels besonders betroffen. Im Workshop wurden Strategien entwickelt, um unsere Gewässer resilienter zu gestalten.

Die Anpflanzung von standortgerechten Ufergehölzen spielt bei Gewässern eine zentrale Rolle (Abb. 2). Sie bieten vielen Lebewesen im und am Wasser Lebensräume, beschatten unsere Gewässer und schützen sie so vor hohen Wassertemperaturen. Neben Gehölzen sind beispielsweise Uferanbrüche, Uferabflachungen, unterschiedliche Fließgeschwindigkeiten und variable Gewässerbreiten wichtige Elemente zur Erhöhung der Gewässerstrukturvielfalt. Klimabedingte Stresssituationen können so besser überwunden werden.

Aber auch an den Menschen muss gedacht werden. Um die Gewässer erlebbar zu machen, können Lehrpfade, Aufenthaltsorte wie Spiel- und Picknickplätze in Verbindung mit einer ökologischen Gewässeraufwertung angelegt werden. Dies sorgt für Naherholung und Naturerlebnis am Gewässer sowie Abkühlung an heißen Sommertagen.



Abb. 2: Gewässerentwicklung am Geroldsbach (© Wasserwirtschaftsamt Ansbach)

### Workshop 2: Siedlung und Infrastruktur

Die Siedlung der Zukunft ist nach dem Prinzip „Schwammstadt/-dorf“ sowohl an Starkniederschlag als auch an Trockenperioden angepasst. Das zentrale Thema dabei ist die „Blaue Planung“, also der Umgang mit dem Wasser im Siedlungsgebiet.

Neben der bewährten Speicherung von Wasser in Zisternen wurden auch zentrale Niederschlagswasserspeicher von Kirchendächern oder Industriebauten, stillgelegte Güllegruben oder ehemalige Teichkläranlagen diskutiert (Abb. 3).

Mit dem gespeicherten Wasser können beispielsweise öffentliche Grünanlagen, Sportplätze oder Sonderkulturen bewässert werden. Da innerorts der Platz oft nur begrenzt zur Verfügung steht, wird die Mehrfachnutzung von Flächen essenziell. So kann eine Grünfläche als Aufenthaltsort (ggf. mit Spielplatz) dienen und gleichzeitig eine Rückhaltefunktion bei Starkniederschlägen aufweisen.

Um Wasserrückhalt in der Fläche zu ermöglichen, ist sowohl die Entsiegelung der Flächen notwendig, damit das Wasser dort versickern kann, als auch die Begrünung der Städte sinnvoll. Baumpflanzungen und die Einbindung von Gewässern in das Stadtbild bewirken einen Kühleffekt und werten das Stadtbild auf.



Abb. 3: Umgestaltete Teichkläranlage zum Wasserspeicher (© Wasserwirtschaftsamt Ansbach)

### Workshop 3: Land- und Forstwirtschaft

Lange Trockenperioden führen vermehrt zu Ernteeinbußen und Baumsterben. Um die Folgen des Klimawandels zu minimieren, sind auch hier Anpassungen notwendig.

Durch organische Düngemittel, vielfältige Fruchtfolgen und dem Anbau von Zwischenfrüchten kann der Humusanteil des Bodens auf Ackerflächen erhöht und somit mehr Wasser im Boden gespeichert werden. Auch konservierende Saatverfahren, wie Mulch-, Direkt- oder Untersaat unterstützen den Humusaufbau. Heckenstrukturen reduzieren die Erosion und halten Wasser zurück (Abb. 4). Durch den Anbau von trockenheitstoleranten Kulturen und vielfältigeren Fruchtfolgen können Ertragseinbußen ausgeglichen oder verringert werden.

Auch der Wald muss an die künftigen Gegebenheiten angepasst werden. Im klimagerechten Wald werden Baumarten gepflanzt, die mit dem veränderten Klima besser zurechtkommen. Eine naturnahe Waldrandgestaltung mit Sträuchern und geeigneten Baumarten schützt den Wald vor Sturmwurf und hilft, das „Mikroklima Wald“ besser zu erhalten. Die Grabenstruktur im Wald sollte hinsichtlich einer optimierten Rückhaltefunktion überprüft werden.



Abb. 4: Gewässerschonende Flächenbewirtschaftung (© Wasserwirtschaftsamt Ansbach)



#### Workshop 4: Sonderkulturen und Teichwirtschaft

Für den Anbau von Sonderkulturen, wie Gemüse oder Wein, stellt der Klimawandel eine besondere Herausforderung dar. Die Bewässerung dieser Kulturen wird zukünftig an Bedeutung gewinnen. Eine nachhaltige und wassersparende Planung ist elementar (Abb. 5). Um Entnahmen aus dem Grundwasser zu verringern, sollte bevorzugt Niederschlagswasser in Speicherbecken gesammelt und ressourcenschonend verwendet werden. Bei der Verwendung von oberflächennahem Grundwasser ist stets auf einen jahreszeitlichen Ausgleich durch Speicherbecken zu achten. Bodenfeuchtesonden helfen bei der Bestimmung der benötigten Wassermenge. Spezielle Bewässerungsverfahren, wie die Tröpfchenbewässerung (Abb. 6), sind eine wasserschonende Art mit wenig Verdunstungspotenzial. Die Wasserspeicherung funktioniert auch in Kombination mit der Teichwirtschaft, indem größere Becken sowohl zur Fischzucht als auch zur Bewässerung genutzt werden.

| Wassernutzungsrangfolge bei der Bewässerung von Sonderkulturen                                                        |                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| 1. Niederschlagswasser                                                                                                | Mit Speicherbecken! |
| 2. Oberflächenwasser aus abflussstarken Gewässern, bzw. Ableitung aus Oberflächengewässern bei erhöhten Wasserständen |                     |
| 3. Uferfiltrat (Grundwasserbegleitstrom eines Gewässers)                                                              |                     |
| 4. Oberflächennahes Grundwasser (erstes Grundwasserstockwerk)                                                         |                     |

Abb. 5: Wassernutzungsrangfolge bei der Bewässerung  
(© Wasserwirtschaftsamt Ansbach)



Abb. 6: Tröpfchenbewässerung am Weinberg  
(© Wasserwirtschaftsamt Ansbach)

## 4 Umsetzung in die Praxis – wir gestalten unsere Zukunft

Über den Austausch in den Workshops konnten gemeinsam und auf Augenhöhe neue Wege für einen schonenden und bewussten Umgang mit Wasser gefunden werden. Neben fachlichen Aspekten wurden für jede Workshop-Runde Möglichkeiten zur Förderung und Unterstützung der Kommunen durch den Freistaat Bayern zusammengetragen. Die Ergebnisse wurden in einer Broschüre aufgearbeitet (Wasserwirtschaftsamt Ansbach 2024). Wir wollen aktiv vorangehen und andere Kommunen und Landkreise ermutigen, sich ebenfalls dem Schutzgut Wasser zu widmen und sich klimaresilient aufzustellen. Da uns die rasche Umsetzung in die Praxis am Herzen liegt, waren wir bereits aktiv:

#### Gewässer und Talaue

- Einstellung eines Wasserkümmers im Landkreis als übergeordneter Ansprechpartner, um Kommunen bei der Umsetzung der wassersensiblen Planung zu unterstützen
- Angebot von Wassertagen durch das Wasserwirtschaftsamt Ansbach, um sich mit den Kommunen vor Ort über alle Wasserthemen unbürokratisch auszutauschen
- Intensivierung von Gehölzanpflanzungen an Gewässern erster und zweiter Ordnung durch das Wasserwirtschaftsamt Ansbach
- beschlossenes Förderprogramm „Gehölzanpflanzungen an Gewässern dritter Ordnung“ durch den Landkreis

### Siedlung und Infrastruktur

- Vorrang der „Blauen Planung“ bei kommunalen Projekten
- beschlossenes Förderprogramm „Ideenwettbewerb für Schüler zum Thema Wasser“ durch den Landkreis
- beschlossenes Förderprogramm „Reinigung und Umnutzung stillgelegter Güllegruben als Wasserspeicher“ durch den Landkreis
- Einführung einer „Blauen Seite“ in den gemeindlichen Amtsblättern, um die Bevölkerung über Aktuelles zum Thema „Wasser“ zu informieren
- Umgestaltung der ehemaligen Teichkläranlage Neuherberg zu einem Wasserspeicher
- Schulung kommunaler Bauhöfe zum wasserbewussten Handeln

### Land- und Forstwirtschaft

- Fortführung des Projekts „Wasserrückhalt in Grünen Gräben“
- Vorstellung der Erkenntnisse aus den Workshops bei landwirtschaftlichen Veranstaltungen
- Beratung zur Klimaanpassung in Wald und Landwirtschaft durch das Amt für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten Fürth-Uffenheim
- Umsetzung von Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel mit Flurneuordnung sowie den Initiativen „boden:ständig“ und „FlurNatur“ durch das Amt für Ländliche Entwicklung Mittelfranken

### Sonderkulturen und Teichwirtschaft

- Aufstellung eines Bewässerungskonzeptes für eine nachhaltige und umweltverträgliche Weinbergbewässerung
- Kombination aus Niederschlagsrückhalt und Bewässerung von Sonderkulturen im Rahmen von „boden:ständig“

### Literatur

Wasserwirtschaftsamt Ansbach (2024): Klimaresilienter Landkreis Neustadt a. d. Aisch-Bad Windsheim – Gemeinsam zum Ziel. <https://www.wwa-an.bayern.de/service/veroeffentlichungen/index.htm>, Zugriff am 15.01.2025

## Agroforst und Wasserrückhalt mit Keyline-Design – Einblicke in die Praxis

PHILIPP GERHARDT

Agroforstwirtschaft beeinflusst auf vielfältige Weise den terrestrischen und atmosphärischen Wasserhaushalt. So können Agroforststrukturen lokale und regionale Kühleffekte erzeugen, Oberflächenabfluss und Verdunstungsstress reduzieren usw. (Zimmermann et al. 2024, Jacobs et al. 2022, Tölle et al. 2014). Es gibt darüber hinaus zahlreiche Hinweise, dass Gehölzvegetation eine entscheidende Rolle für die Wolkenbildung sowie die Niederschlagsdynamik und den konvektiven Wärmeabtransport im kontinentalen Maßstab spielt (Duveiller et al. 2021, Ellison et al. 2017, Teuling et al. 2017). Entscheidend ist hierbei die Wasserverfügbarkeit in Kombination mit gesunder Gehölzvegetation (Manoli et al. 2016).

Die Wasserverfügbarkeit für Gehölzvegetation in Form von Agroforstsystemen lässt sich wiederum signifikant erhöhen, wenn diese in konturangepassten Mustern angelegt werden, die eine ausgleichende Verteilung und Versickerung von Niederschlägen begünstigen (Markart 2022, del Carmen Ponce-Rodríguez et al. 2021). Damit können einerseits Hochwässer und Sturzfluten abgeschwächt oder verhindert werden, andererseits auch Dürren abgeschwächt bzw. vermieden werden (Leibundgut und Vonderstrass 2016, Ryan et al. 2010, 2015).

Solche konturangepassten Hangwässersysteme gibt bzw. gab es in weiten Teilen Europas in traditioneller Form, beispielsweise in Franken, dem Schwarzwald oder dem Schweizer Wallis. In den 1940er-Jahren wurden die Erfahrungen daraus zum Planungsansatz „Keyline-Design“ erweitert (Yeomans 1954). Dieser wiederum wurde in den 2010er-Jahren in Deutschland von Philipp Gerhardt aufgegriffen und entscheidend weiterentwickelt (Illig 2025).

Derzeit gibt es noch wenig empirische Forschung, die in Mitteleuropa die Effekte solcher Hangwässersysteme zeigen. Da aber bereits einige Pioniere mit dem genannten Ansatz arbeiten, lassen sich anhand von Praxisbeispielen die Vorteile zeigen.

Drohnenaufnahmen belegen, wie Abflusskonzentrationen und Erosion mit konturnahen Sickergräben, wie beispielsweise den Wasserlinien nach Gerhardt, gestoppt werden können. Voraussetzung ist eine präzise Planung der Gefälle, Versickerungszonen und im Falle einer Kapazitätsüberschreitung eine Rückumwandlung in einen Schichtabfluss (Illig 2025).

Fließpfadvisualisierungen zeigen, dass konturnahe Sickergräben Abflüsse aus landwirtschaftlichen Flächen teilweise komplett aufhalten und versickern können. Mit Fotos unmittelbar während oder nach Starkregen können die positiven Wirkungen auf Versickerung in der Fläche, Hochwasserminderung und Pflanzenwachstum, die in der internationalen Literatur beschrieben werden, auch für Mitteleuropa gezeigt werden. In der Praxis zeigen sich fachlich fundiert geplante Hangwässersysteme daher als ernstzunehmende und höchst skalierbare Methoden der Klimaanpassung.



Abb. 1: Ein umgesetztes Hangwässersystem der Firma Baumfeldwirtschaft im konventionellen Ackerbau (© baumfeldwirtschaft.de)



Abb. 2: Anlage von Verteil- und Sickergräben durch die Firma Baumfeldwirtschaft. Die Gräben fangen Oberflächenabflüsse auf und leiten sie auf die konvexe Geländeform, wo es vorher am trockensten war (© baumfeldwirtschaft.de).





Abb. 3: Im Unterschied zu reinen Gehölzpflanzungen stoppen Geländemodellierungen effektiv Oberflächenabflüsse und Erosion. Deutlich zu sehen ist, dass sich zwar auf dem darüber liegenden Ackerstreifen Oberflächenabfluss zu Rillen und Rinnen konzentrieren kann und Boden abträgt (rote Ellipse), dies jedoch vom Keyline-Retentionsstreifen gestoppt wird (grüne Ellipse) (© baumfeldwirtschaft.de).



Abb. 4: Wasserliniensystem mit konturnahen Sickergraben bei Starkregen. Der Niederschlag wird aufgefangen, entsprechend den Zielvorgaben umverteilt und versickert (© baumfeldwirtschaft.de).

## Literatur

- del Carmen Ponce-Rodríguez, Ma.; Carrete-Carreón, F. O.; Núñez-Fernández, G. A.; de Jesús Muñoz-Ramos, J.; Pérez-López, M. E. (2021): Keyline in Bean Crop (*Phaseolus vulgaris* L.) for Soil and Water Conservation. Sustainability 13(17), <https://doi.org/10.3390/su13179982>
- Duveiller, G.; Filipponi, F.; Ceglar, A.; Bojanowski, J.; Alkama, R.; Cescatti, A. (2021): Revealing the widespread potential of forests to increase low level cloud cover. Nature Communications 12(1), <https://doi.org/10.1038/s41467-021-24551-5>
- Ellison, D.; Morris, C. E.; Locatelli, B.; Sheil, D.; Cohen, J.; Murdiyarso, D.; Gutierrez, V.; Noordwijk, M. van; Creed, I. F.; Pokorny, J.; Gaveau, D.; Spracklen, D. V.; Tobella, A. B.; Ilstedt, U.; Teuling, A. J.; Gebrehiwot, S. G.; Sands, D. C.; Muys, B.; Verbist, B.; Springgay, E.; Sugandi, Y.; Sullivan, C. A. (2017): Trees, forests and water: Cool insights for a hot world. Global Environmental Change 43, pp. 51–61, <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2017.01.002>
- Illig, T. (2025): Keyline Design und Agroforst als Anpassungsstrategien an anthropogene Landnutzungsänderungen: Ein Vergleich zweier Keyline Planungsansätze mit praktischem Beispiel. Göttingen, HAWK
- Jacobs, S. R.; Webber, H.; Niether, W.; Grahmann, K.; Lüttschwager, D.; Schwartz, C.; Breuer, L.; Bellingrath-Kimura, S. D. (2022): Modification of the microclimate and water balance through the integration of trees into temperate cropping systems. Agricultural and Forest Meteorology 323, <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2022.109065>
- Leibundgut, C.; Vonderstrass, I. (2016): Traditionelle Bewässerung – ein Kulturerbe Europas. Langenthal (Schweiz)
- Manoli, G.; Domec, J.-C.; Novick, K.; Oishi, A. C.; Noormets, A.; Marani, M.; Katul, G. (2016): Soil-plant-atmosphere conditions regulating convective cloud formation above southeastern US pine plantations. Global Change Biology 22(6), pp. 2238–2254, <https://doi.org/10.1111/gcb.13221>
- Markart, M. (2022): GIS-basierte Abschätzung von Oberflächenabfluss eines Agroforstsystems mit Keyline Design im Biosphärenreservat Rhön. Georg-August-Universität Göttingen, Master-Thesis
- Ryan, J.; Mcalpine, C.; Ludwig, J. (2010): Integrated vegetation designs for enhancing water retention and recycling in agroecosystems. Landscape Ecology 25, <https://doi.org/10.1007/s10980-010-9509-7>
- Ryan, J.; Mcalpine, C.; Ludwig, J.; Callow, J. (2015): Modelling the Potential of Integrated Vegetation Bands (IVB) to Retain Stormwater Runoff on Steep Hillslopes of Southeast Queensland, Australia. Land 4, <https://doi.org/10.3390/land4030711>
- Teuling, A. J.; Taylor, C. M.; Meirink, J. F.; Melsen, L. A.; Miralles, D. G.; Van Heerwaarden, C. C.; Vautard, R.; Stegehuis, A. I.; Nabuurs, G.-J.; Vilà-Guerau de Arellano, J. (2017): Observational evidence for cloud cover enhancement over western European forests. Nature Communications 8(1), <https://doi.org/10.1038/ncomms14065>
- Tölle, M. H.; Gutjahr, O.; Busch, G.; Thiele, J. C. (2014): Increasing bioenergy production on arable land: Does the regional and local climate respond? Germany as a case study. Journal of Geophysical Research, Atmospheres 119(6), pp. 2711–2724, <https://doi.org/10.1002/2013JD020877>
- Yeomans, P. A. (1954): The Keyline Plan. Sydney
- Zimmermann, B.; Kruber, S.; Nendel, C.; Munack, H.; Hildmann, C. (2024): Assessing the cooling potential of climate change adaptation measures in rural areas. Journal of Environmental Management 366, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.121595>



## Tropfbewässerung in Landwirtschaft und Gartenbau – Beispiele aus der Praxis

MARTIN MÜLLER

### 1 Einleitung

Mit Tropfbewässerung lassen sich die Wassergaben entlang der Pflanzenreihen gezielt im Hauptwurzelbereich platzieren. Die Bereiche zwischen den Reihen erhalten kein Wasser. Der oberflächliche Pflanzenbewuchs bleibt trocken, die Bodenoberfläche weitgehend ebenso. Die Wassermengen lassen sich exakt dosieren und bei Bedarf lässt sich Dünger beimischen, der dann ebenfalls direkt im Hauptwurzelbereich verabreicht wird. Je größer die Reihenabstände, desto größer ist das Wassereinsparpotenzial gegenüber flächiger Beregnung. Bei Dauerkulturen in Hopfengärten und Obstanlagen (Reihenabstand jeweils etwa 3 Meter) sowie dem Weinbau (Reihenabstand etwa 2 bis 2,5 Meter) ist das Verfahren heute Standard. Die Bedeutung steigt aber auch bei einjährigen Flächenkulturen. Es folgen Beispiele aus der Praxis.

### 2 Beispiele aus der Praxis

Bei Einlegegurken ist der Einsatz von Tropfbewässerung weit verbreitet (Abb. 1). Bewässert wird vor allem während der Ernteperiode von Mitte Juni bis teilweise Mitte September. Da Tropfbewässerung die Beerrntung nicht behindert und dadurch sehr hohe Produktionsintensitäten möglich sind, hat sich das Verfahren bei dieser Kulturart bereits vor etwa 20 Jahren durchgesetzt. Im Gebiet „Osterhofener Platte“ in Niederbayern werden zu Einlegegurken auf etwa 250 Hektar Anbaufläche üblicherweise auch die Düngegaben über Tropfschläuche verabreicht.



Abb. 1: Tropfbewässerung zu Einlegegurken; Auslegen der Mulchfolie und der Tropfschläuche vor der Saat (links), Tropfbewässerung (Mitte), Erntearbeiten parallel während der Bewässerungsperiode von Mitte Juni bis Mitte September (rechts) (© ALB)



Zu einjährigen Flächenkulturen setzt in den Praxisbetrieben die Bereitschaft zur Umstellung auf Tropfbewässerung erst bei großer Wasserknappheit ein. Die wiederkehrend hohen Anschaffungs- und Unterhaltungskosten, die hohen Mengen an Kunststoffabfällen, die fehlenden Möglichkeiten die Blätter von Blattgemüse durch Tropfbewässerung direkt zu kühlen sowie die eingeschränkte Bearbeitbarkeit von Flächen mit stationär installierter Tropfbewässerungstechnik erschweren die Umsetzung. Bei einjährigen Kulturen kommt Tropfbewässerung bisher nur in Frage, wenn es sich wie z.B. bei Gurken oder Kartoffeln um Kulturen handelt, deren Anbauperiode sich vom Frühjahr bis zum Herbst erstreckt und dadurch unterjährig keine großflächige Bodenbearbeitung und Neuanpflanzung bzw. Neuaussaat erforderlich ist (Abb. 2 und 3).



Abb. 2: Tropfbewässerung zu Kartoffeln; hier: Umsetzung des Bewässerungsmanagements im Dammkronenverfahren bei anhaltender Trockenheit Anfang Juli als Notbewässerung mit Wassergaben von lediglich 9 mm/Woche (© ALB)



Abb. 3: Tropfbewässerung zu Zwiebeln; jeweils ein Tropfschlauch wurde oberflächennah zwischen zwei Pflanzenreihen abgelegt (© ALB)

Recyclingverfahren zur Produktion neuer Tropfschläuche aus gebrauchten – diese bestehen ausschließlich oder überwiegend aus Polyethylen – sind in Deutschland bisher nicht etabliert. Einige Betriebe lehnen den Einsatz von Tropfschläuchen in der Landwirtschaft daher grundsätzlich ab.

Bei Wasserknappheit kann in der Regel nicht nach Bedarf der Kulturen bewässert werden. Das verfügbare Wasser setzen die Betriebe dann vorrangig in den Kulturen mit der größten Wertschöpfung ein. Welche Kulturen das sind, schwankt zum Teil zwischen den Jahren und ergibt sich mitunter erst kurzfristig während der Saison. Nachrangige Kulturen erhalten in trockenen Jahren lediglich eine Notbewässerung zum Schutz vor dem Vertrocknen der Pflanzen. Pflanzenwachstum ist dann allerdings während der Trockenphasen nicht möglich und es steigen die Risiken bezüglich Wirtschaftlichkeit und Umweltverträglichkeit der Produktion.

Bei einjährigen Kulturen ist die Verfahrenstechnik in Deutschland bisher insgesamt noch wenig ausgereift, sodass die Betriebe zum Teil nach wie vor bezüglich des Verlegens und Bergens der Tropfschläuche auf eigene technische Entwicklungen angewiesen sind.

Auch zu Karotten ist der Einsatz von Tropfbewässerung möglich (Abb. 4). Das Verfahren wurde von einem Landwirtschaftsbetrieb westlich von Würzburg in den letzten Jahren zur Praxisreife entwickelt, siehe auch [www.alb-bayern.de/bef14](http://www.alb-bayern.de/bef14). Der Anbau von Karotten erfolgt auf Dämmen in Doppelreihen. Der Boden wird mit einer Dammfräse vorbereitet. Die Dämme haben einen Abstand von 75 cm, sind ca. 20 cm hoch und feinkrümelig. Die Tropfschläuche werden bei der Aussaat in einem Arbeitsgang verlegt. Zur Umsetzung hat der Betrieb eine vier Dämme breite pneumatische Einzelkornsämaschine mit einer selbst entwickelten Apparatur zum Verlegen von Tropfschläuchen ausgestattet. Insbesondere das schmale parallelogrammgeführte Verlegeschar hat der Betrieb selbst konstruiert. Mit einer Zahnringwalze als Frontpacker wird der Boden rückverfestigt. Dann werden die Schläuche mittig im Damm verlegt. Anschließend werden links und rechts etwas erhöht die Saatkörner abgelegt. Damit das auch bei Seitenhang präzise und symmetrisch auf den Dämmen erfolgt, ist die Sämaschine mit einem GPS-geführten Scheibensech ausgestattet.



Abb. 4: Tropfbewässerung zu Karotten; jeweils ein Tropfschlauch ist mittig unter der Dammkrone in 3 cm Tiefe zwischen zwei Saatzeilen – diese haben zueinander einen Abstand von 7 cm – abgelegt (© ALB)



Beim Einsatz dünnwandiger Tropfschläuche sind Leckagen ein Problem. Leckagen können bei Pflegemaßnahme entstehen, oder durch Wildtiere. Die wichtigste vorbeugende Maßnahme zur Vermeidung von Leckagen ist die vollständige Bedeckung der Tropfschläuche mit Erde (Abb. 5). Leckagen werden während dem Bewässern ausfindig gemacht und beseitigt.



Abb. 5: Tropfbewässerungsanlagen sind anfällig gegenüber Leckagen; die wichtigste vorbeugende Maßnahme ist die vollständige Bedeckung der Tropfschläuche mit Erde (© ALB)

Bei großer Wasserknappheit gehen Betriebe dazu über, Wasser zu Bewässerungszwecken in Erd-folienbecken und Zisternen zwischenzuspeichern (Abb. 6). Einerseits ermöglicht die Speicherung den Einsatz schlagkräftiger Tropfbewässerungstechnik mit Ausbringmengen von mehr als 50 m<sup>3</sup>/h, auch dann, wenn die Brunnenleistung deutlich geringer sein sollte. Andererseits ermöglicht die Speicherung eine Grundwasserentnahme bei ausreichend hohem Wasserdargebot während der Wintermonate sowie in niederschlagsreichen Jahren mit geringerem Bewässerungsbedarf, sodass die zunehmend geringer werdenden genehmigten Entnahmemengen von den Betrieben in jedem Jahr vollständig ausgeschöpft werden können.



Abb. 6: Erdfolienbecken zur Befüllung bei ausreichendem Wasserdargebot während der Wintermonate sowie in niederschlagsreichen Jahren mit geringerem Bewässerungsbedarf (© ALB)

### 3 Fazit

Bei einjährigen Kulturen und Reihenabständen von weniger als einem Meter ist Tropfbewässerung im deutschsprachigen Raum bisher wenig verbreitet. In diesem Fall rechnet sich das Bewässerungsverfahren nur bei ausreichend hohem Deckungsbeitrag und sehr begrenztem Wasserdargebot. Wenn die Wasserverfügbarkeit oder die genehmigten Entnahmemengen nicht für Rohrberegnung oder Starkregner ausreichen, kann Tropfbewässerung eine Alternative sein. Aus Gründen der Wirtschaftlichkeit kommen zu einjährigen Kulturen dünnwandige einjährige Tropfschläuche zum Einsatz. Gegenüber dickwandigen druckkompensierten Tropfschläuchen reduziert das die Kosten und den Arbeitsaufwand erheblich. Betriebe, die von großer Wasserknappheit betroffen sind, platzieren die Tropfschläuche bei Dammkulturen aufgrund der deutlich höheren Wassereffizienz in der Regel unter der Dammkrone, und nicht zwischen jeweils zwei Dämmen.

## Inwertsetzung von Wasserdienstleistungen: Konzepte und Strategien in der Praxis

ALEXANDRA DEHNHARDT

### 1 Die gesellschaftliche Bedeutung von Wasser

Wasser ist eine zentrale Lebensgrundlage. Wasser und aquatische Ökosysteme haben einen elementaren Wert für die Gesellschaft und sind essenziell für die Aufrechterhaltung der menschlichen und planetaren Gesundheit. Der Zustand von aquatischen Ökosystemen ist weltweit besorgniserregend und die Herausforderungen um die Ressource Wasser verschärfen sich substantiell angesichts der Auswirkungen des Klimawandels und der Übernutzung von Wasserressourcen (WBGU 2024), vor allem im Hinblick auf die Verteilung, Verfügbarkeit, Verschmutzung und wasserbezogenen Risiken. So ist der Zugang zu sauberem Wasser in vielen Regionen der Welt sehr begrenzt, viele Naturkatastrophen haben mit Wasser zu tun: mit zu wenig Wasser (Dürre) oder zu viel Wasser (Starkregen und Überflutungen).

Wasser und aquatische Ökosysteme sind (zunehmend) knappe Ressourcen. Die vielfältige Nutzung von Wasser – als Input für Produktions- und Konsumzwecke (Haushalte, Industrie, Landwirtschaft) und Aufnahmemedium für Schadstoffe oder für nicht konsumtive Nutzungen von Gewässern wie Schifffahrt, Erholung oder Hochwasserregulation – ist daher in hohem Maße durch Nutzungskonflikte gekennzeichnet. Entscheidungen über Maßnahmen zur Änderung von Wassernutzungen müssen zwischen diesen Nutzungsinteressen abwägen. Der Verlust natürlicher und naturnaher aquatischer Ökosysteme macht deutlich, dass deren Wert traditionell in gesellschaftlichen und politischen Entscheidungen, zum Beispiel über Nutzungsänderungen, nicht oder nur ungenügend einbezogen wurde. Dies liegt unter anderem daran, dass es sich bei den meisten Umweltgütern um so genannte öffentliche Güter handelt, die nicht auf Märkten gehandelt werden und daher zwar einen erheblichen gesellschaftlichen Wert, aber keinen Marktpreis haben, der zumindest einen Anhaltspunkt über den Wert geben kann (nicht jedoch mit diesem identisch ist). Ein besseres Verständnis und eine Offenlegung des Wertes sowie eine Berücksichtigung der verschiedenen Wertdimensionen führen demnach zu besseren Entscheidungen und sind notwendig für eine nachhaltige Nutzung von Wasser. Die Bereitstellung von Informationen über den ökonomischen Wert ist ein Beitrag zu dieser Entscheidungsfindung.

Angesichts der sich verschärfenden Problemlage mit Blick auf die Ressource Wasser ergibt sich zunehmend die Notwendigkeit nicht nur eines integrierten Wasserressourcenmanagements, welches sektorübergreifend unterschiedliche Nutzungsansprüche ausbalanciert und dabei eben auch den gesellschaftlichen Wert mit einbezieht, sondern eines weiter reichenden klimaresilienten und sozial ausgewogenen Wassermanagements (WBGU 2024). Dies erfordert beispielsweise die Einbeziehung von Aspekten der Risikovorsorge, aber auch einen veränderten Fokus bei der Beurteilung von Maßnahmen und verändert damit auch Perspektiven und Ansätze der Bewertung. Denn Werte sind multidimensional und werden nicht zuletzt vom kulturellen und institutionellen Kontext beeinflusst. Wasser und Gewässer werden unterschiedlich wahrgenommen, unterschiedliche Wertvorstellungen und ihr Wandel im Laufe der Zeit beeinflussen diese Wahrnehmung und Wertschätzung und damit auch gesellschaftliches Handeln. Die Bedeutung der Speicherung von Wasser in Landschaften und Erhalt der Bodenfeuchte oder der Fokus auf sogenannte Co-Benefits von Maßnahmen (engere Verzahnung von Klimaschutz, Klimaanpassung,

Biodiversitätsschutz und Wassermanagement) steigt bei einer zunehmenden Knappheit von Wasser. Der Wert von Wasser kann daher aus ganz unterschiedlichen Perspektiven und in unterschiedlichen Dimensionen betrachtet werden. Das Konzept der Ökosystemleistungen, das häufig als Grundlage einer ökonomischen Bewertung genutzt wird, blickt aus einer anthropozentrischen, vorwiegend instrumentellen Perspektive auf die Leistungen der Natur und betrachtet dabei die direkten und indirekten Beiträge zum menschlichen Wohlergehen (Naturkapital Deutschland – TEEB DE 2012). Das aktuellere Wertkonzept des IPBES (Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services) (IPBES 2022) nimmt eine plurale Wertperspektive ein und betrachtet neben den instrumentellen Wert auch noch intrinsische und relationale Werte. Die Gesamtheit dieser Nature's contribution to people (NCP) versucht, die Diversität von Werten zu erfassen: nicht nur der instrumentelle Wert, sondern auch der Eigenwert der Natur und die Mensch-Natur-Beziehungen sollen gleichermaßen handlungsleitend sein und bei einer Inwertsetzung berücksichtigt werden.

## 2 (Umwelt-)ökonomische Aspekte der Gewässer- und Umweltpolitik

In der Gewässerpolitik und anderen Politikfeldern hat Ende des 20. Jahrhunderts ein Paradigmenwechsel im Management natürlicher Ressourcen hin zu integrierten Ansätzen, die eine sektororientierte, fragmentierte Betrachtung überwinden, stattgefunden. So haben mit dem Inkrafttreten der Europäischen Wasser-Rahmenrichtlinie im Jahr 2002 beispielsweise auch ökonomische Aspekte Eingang in die Gewässerpolitik gefunden und damit den regulativen Rahmen geschaffen, um bessere Informationsgrundlagen für die Abwägung zwischen den gesellschaftlichen Kosten und Nutzen von Politikoptionen bereitzustellen. Mit der Berücksichtigung von Umwelt- und Ressourcenkosten bei der Gestaltung kostendeckender Wasserpreise (Art. 9), der wirtschaftlichen Analyse der Wassernutzungen (Art. 5) oder der Rechtfertigung von Ausnahmetatbeständen (Art. 4) finden sich hier explizit ökonomische Prinzipien, Instrumente und Methoden (Dehnhardt 2013). Weitere Richtlinien, wie beispielsweise die Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie von 2008, integrieren explizit Kosten-Nutzen-Analysen und die Bewertung von Ökosystemleistungen; auch im Rahmen der Biodiversitätspolitik soll eine Bewertung des gesellschaftlichen Nutzens der Wiederherstellung von Ökosystemen – auch durch deren Inwertsetzung – deren Umsetzung befördern. Ein insgesamt gestiegenes gesellschaftliches und politisches Bewusstsein für den Wert der Natur findet auch seinen Ausdruck in der internationalen TEEB-Studie sowie den nationalen Folgestudien (Naturkapital Deutschland – TEEB DE 2012, 2018). Ökonomische Wertkonzepte und Instrumente sowie umweltökonomische Bewertungsmethoden und deren anwendungsorientierte Weiterentwicklung haben in den letzten Jahren für die umweltpolitische Entscheidungsfindung also zunehmend an Bedeutung gewonnen (Dehnhardt 2014); eine Entwicklung, die angesichts der sich verschärfenden klima- und biodiversitätspolitischen Herausforderungen notwendig ist, um dem Wert des Wassers und den damit verbundenen aquatischen Ökosystemleistungen in einer integrativen Betrachtung und der Transformation hin zu einem klimaresilienten Wassermanagement einen ausreichenden Stellenwert einzuräumen.



### 3 Inwertsetzung von Wasser(dienst)leistungen

Im engeren Sinne der Wasserrahmenrichtlinie umfasst der Begriff Wasserdienstleistungen die Wasserversorgung und Abwasserentsorgung. Hier wird eine weitere Begriffsdefinition (Wasserleistungen, aquatische Ökosystemleistungen) verwendet, um den vielfältigen Wertdimensionen aquatischer Ökosysteme, beispielsweise auch im Hinblick auf die Verbesserung der Wasserqualität für die Trinkwasserversorgung, Rechnung zu tragen und diese in Entscheidungen besser zu berücksichtigen. Im Zusammenhang mit dem Wasserressourcenmanagement wird zwischen unterschiedlichen ökonomischen Konzepten unterschieden: den Kosten der Wasserbereitstellung und -nutzung, dem Preis des Wassers (d. h. dem Betrag, der für den Zugang, die Nutzung und den Konsum von Wasser ausgegeben wird, entspricht dem Tauschwert) und dem Wert des Wassers (d. h. der Nutzen, der aus dem Zugang, der Nutzung und dem Konsum des Wassers gezogen wird) (Grafton et al. 2023, Rogers et al. 2002). Der Marktpreis von Wasser entspricht dabei nicht dem ökonomischen und auch nicht dem gesamten Wert von Wasser (letzterer umfasst auch die intrinsischen Werte, d. h. den Eigenwert). Eine umweltökonomische Perspektive fokussiert auf den Beitrag des Wassers zum gesellschaftlichen Wohlergehen und versucht den Wert – zumindest einen Teil, nämlich vorwiegend die instrumentellen Werte – in monetären Einheiten auszudrücken. Auch eine vollständige Kostendeckung von Wasserdienstleistungen bezieht neben den Bereitstellungskosten die Externalitäten der Wassernutzung mit ein, d. h. beispielsweise die Umwelt- und Ressourcenkosten. Eine nachhaltige Nutzung von Wasserressourcen erfordert die vollständige Kostendeckung bei der Wasserpreisgestaltung. Sowohl die Betrachtung der unterschiedlichen Dimensionen des Wertes von Wasser als auch die Berücksichtigung der Externalitäten von Wassernutzungen erfordert also die Ermittlung und Bewertung der vielfältigen nutzungsabhängigen und nutzungsunabhängigen Werte, die häufig mit dem Konzept des ökonomischen Gesamtwertes (mit der Differenzierung zwischen nutzungsabhängigen und nutzungsunabhängigen Werten) oder auch mit dem Konzept der Ökosystemleistungen gefasst werden. Hierfür stehen unterschiedliche, mittlerweile etablierten Bewertungsmethoden zur Verfügung. Eine aktuelle Studie des WWF kommt beispielsweise zu dem Ergebnis, dass der ökonomische Wert von Wasser und Süßwasserökosystemen bei rund 58 Billionen US-Dollar liegt (WWF 2023). Das oben skizzierte Wertkonzept des IPBES betrachtet darüber hinaus noch relationale und intrinsische Werte, die sich nicht mit ökonomischen Methoden erfassen lassen. Der Begriff der Inwertsetzung, der sich vor allem im Zusammenhang mit der Naturkapital Deutschland-Studie zunehmend durchgesetzt hat, umfasst dabei nicht nur die Erfassung der gesellschaftlichen Bedeutung von Ökosystemleistungen – zumeist mit monetären Methoden –, sondern auch ihre Integration in private und gesellschaftliche Entscheidungen.

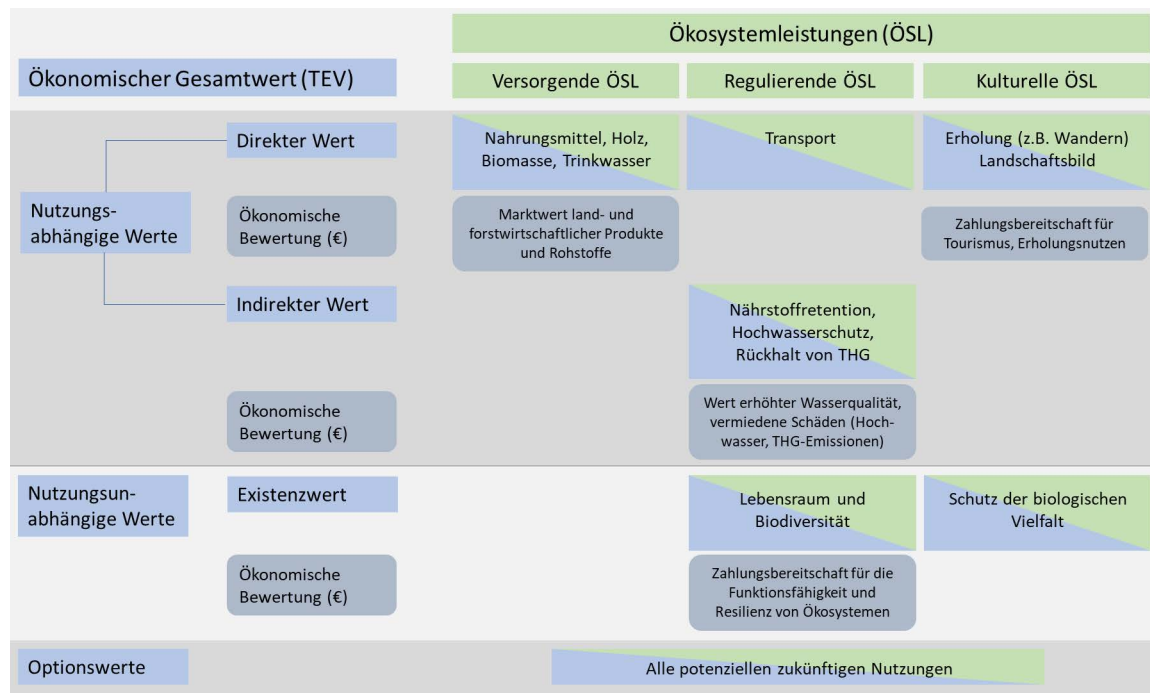


Abb. 1: Ausgewählte Ökosystemleistungen (ÖSL; grüne Felder), deren Zuordnung zu Kategorien des (Total Economic Value (TEV); blaue Felder) und mögliche ökonomische Bewertungsansätze (graue Felder)

Im Bereich aquatischer Ökosystemleistungen erfassen umweltökonomische Bewertungsstudien häufig den Wert von Gewässer- und Auenlandschaften. Hier werden die positiven Auswirkungen von naturnahen Flusslandschaften beispielsweise mit Blick auf die Trinkwasserbereitstellung als versorgende Ökosystemleistung, auf regulierende Ökosystemleistungen wie die Klima-, Nährstoff- oder Hochwasserregulation oder kulturelle Ökosystemleistungen wie die Erholungsnutzung der Landschaft erfasst und ökonomisch bewertet. Abbildung 1 zeigt auf der linken Seite die Kategorisierung von Umweltgütern im Sinne des ökonomischen Gesamtwertes (Total Economic Value, TEV) und eine Zuordnung von ausgewählten Beispielen zu den jeweiligen Kategorien nach dem Konzept der Ökosystemleistungen (Dehnhardt et al. 2019). Grau unterlegt sind mögliche ökonomische Bewertungsmethoden.

Für die Stabilisierung des Wasserhaushaltes in der Landschaft sind die Agroforstwirtschaft oder die Renaturierung von Mooren geeignete Maßnahmen, die mit zahlreichen gesellschaftlichen Nutzen verbunden sind (Naturkapital Deutschland – TEEB DE 2014).

## 4 Konzepte und Strategien der Integration des Wertes von Wasser

Die Integration des Wertes von Wasser in das Management von Wasserressourcen und die Wasserpolitik erfordert eine Governance, die (i) den Wert von Wasser erfasst und in die Politikgestaltung einbezieht, (ii) Instrumente anwendet, die ausreichend Anreize für eine nachhaltige Nutzung von Wasserressourcen bieten (z.B. Honorierung von Ökosystemleistungen, Wasserpreisgestaltung) und (iii) den institutionellen und regulativen Rahmen für eine nachhaltige Nutzung schafft. Im Zusammenhang mit der Veränderung institutioneller Strukturen wird in den letzten Jahren auch die Frage der Rechte der Natur diskutiert, die insbesondere zur Berücksichtigung relationaler und intrinsischer Werte geeignet ist. So wurde einer Salzwasserlagune im Südosten Spaniens im Jahr 2002 aufgrund zunehmender ökologischer Probleme der Status einer juristischen Person verliehen.

### Literatur

- Dehnhardt, A. (2014): Zur Ökonomisierung umweltpolitischer Entscheidungsfindung. *Ökologisches Wirtschaften* 29(2), <https://doi.org/10.14512/OEW290>
- Dehnhardt, A. (2013): Zur Anpassung traditioneller Entscheidungsfindung. Die Nutzung und Akzeptanz von Kosten-Nutzen-Analysen im Kontext der europäischen Wasserrahmenrichtlinie. Dissertation, TU Berlin
- Dehnhardt, A.; Häfner, K.; Blankenbach, A.-M.; Meyerhoff, J. (2019): Valuation of Wetlands Preservation. *Oxford Research Encyclopedia of Environmental Science*, <https://doi.org/10.1093/acrefore/9780199389414.013.457>
- Grafton, R.Q.; Manero, A.; Chu, L.; Wyrwoll, P. (2023): The price and value of water: An economic review. *Cambridge Prisms: Water* 1, e3, <https://doi.org/10.1017/wat.2023.2>
- IPBES (2022): Summary for Policymakers of the Methodological Assessment Report on the Diverse Values and Valuation of Nature of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. Pascual, U., Balvanera, P., Christie, M., Baptiste, B., González-Jiménez, D., Anderson, C.B., Athayde, S., Barton, D.N., Chaplin-Kramer, R., Jacobs, S., Kelemen, E., Kumar, R., Lazos, E., Martin, A., Mwampamba, T.H., Nakangu, B., O'Farrell, P., Raymond, C.M., Subramanian, S.M., Termansen, M., Van Noordwijk, M., and Vatn, A. (eds.). Bonn, IPBES secretariat, <https://doi.org/10.5281/zenodo.6522392>
- Naturkapital Deutschland – TEEB DE (2018): Werte der Natur aufzeigen und in Entscheidungen integrieren – eine Synthese. Leipzig, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ
- Naturkapital Deutschland – TEEB DE (2014): Naturkapital und Klimapolitik – Synergien und Konflikte. Kurzbericht für Entscheidungsträger. Berlin, Technische Universität Berlin; Leipzig, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ
- Naturkapital Deutschland – TEEB DE (2012): Der Wert der Natur für Wirtschaft und Gesellschaft – Eine Einführung. München, ifuplan; Leipzig, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ; Bonn, Bundesamt für Naturschutz
- Rogers, P.; Silva, R.; Bhatia, R. (2002): Water is an economic good: How to use prices to promote equity, efficiency, and sustainability. *Water Policy* 4, pp. 1–17
- WBGU (2024): Wasser in einer aufgeheizten Welt: Zusammenfassung. Berlin, Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen
- WWF (2023): High cost of cheap water. The true value of water and freshwater ecosystems to people and planet. Gland (Schweiz), World Wide Fund For Nature

## Zielkonflikte im Blick: der Umgang mit Wasser in der Land(wirt)schaft von morgen

CARLA SCHÖNFELDER

### 1 Einleitung

Die nachhaltige Nutzung von Wasserressourcen stellt eine große Herausforderung der modernen Landwirtschaft dar. Auch in Deutschland, wo Klimawandel, Wachstum oder Schrumpfung von Regionen und Nahrungsmittelproduktion die Wasserverfügbarkeit regional unterschiedlich beeinflussen, sind Landwirtinnen und Landwirte besonders gefordert, ihre Wasserverwendung effizienter und nachhaltiger zu gestalten. Das Risiko für Wassermangel in einigen Regionen Deutschlands soll vor allem ab 2050 deutlich steigen, die Vorsorge für Starkregenereignisse beschäftigt alle Beteiligten immer wieder neu – die Herausforderungen für eine Verbesserung der Wasserqualität einmal ganz beiseitegelassen.

EU-Regelungen (z. B. GAP, Wiederherstellungsverordnung, Wasserrahmenrichtlinie), nationale Strategien und Programme (z. B. Nationale Wasserstrategie, Spurenstoffstrategie, Aktionsprogramm Natürlicher Klimaschutz) sowie Aktivitäten der Länder (z. B. Hochwasserschutzprogramme, Niedrigwasserstrategien, Wasserentnahmeentgelte) setzen Leitplanken, denen die Akteure folgen müssen oder wollen. Sie schaffen neue Spielräume oder schränken sie ein. In jedem Fall sieht sich die Wasserwirtschaft hochdynamischen Prozessen ausgeliefert; die Landwirtschaft muss sich neben allen anderen Anforderungen auch den Auswirkungen des Klimawandels stellen, der Naturschutz kämpft ebenfalls mit Flächenverlusten und Biodiversitätskrise und bei all den Themen wächst das öffentliche Bewusstsein. Es wird deutlich, dass – auch wenn Akteure grundsätzlich bereit sind, sich den Herausforderungen im Bereich „Wasser“ zu stellen – sie weitere Herausforderungen auf der Agenda haben, die (mindestens) ihre Ressourcen binden und zu Zielkonflikten führen.

Das Büro team ewen aus Darmstadt ist auf Konfliktmoderation- und Prozessmanagement spezialisiert und setzt bewusst inhaltliche Schwerpunkte. Dazu gehören auch die Themenfelder Wasser, Boden und Landwirtschaft, zu denen team ewen in Strategieprozessen (u. a. Nationale Wasserstrategie, Leitbildprozess IWRM Rhein-Main, Strategiedialog Landwirtschaft Baden-Württemberg, Veränderungsdialog Baden-Württemberg), Forschungsprojekten (u. a. NaBioKom, Abschätzung Umwelt- und Ressourcenkosten) und bei konkreten Vorhaben vor Ort (u. a. Integriertes Rheinprogramm, Wasserrechtsanträge, Renaturierungsprojekte) tätig ist. Der Beitrag zeigt aus den konkreten Vorhaben Einzelbeispiele mit Bezug zu Wasserhaushalt und Landwirtschaft auf. Schlaglichtartig wird der Blick auf Konfliktsysteme im öffentlichen Raum geworfen und beschrieben, wie prozessuale Herausforderungen in dem Kontext angegangen werden können.

### 2 Konfliktsysteme im öffentlichen Raum und mögliche Zugänge

Die beschriebene Gemengelage führt zu Nutzungs- oder Zielkonflikten: Einerseits soll die landwirtschaftliche Produktion sichergestellt oder sogar gesteigert werden, um die Ernährungssicherheit zu gewährleisten, andererseits gilt es, Wasserressourcen zu schonen und die ökologischen Auswirkungen der Flächenbewirtschaftung zu minimieren. Flächeninanspruchnahmen durch Hochwassermanagement und weite-

re Maßnahmen für den Wasserrückhalt in der Fläche sowie Moor- und Auen-Renaturierung sorgen für weitere Nutzungskonflikte. Pachtende (oder Eigentümerinnen und Eigentümer) bewirtschaften, beregnen, düngen oder spritzen ihre Flächen, auf denen ihre Produkte wachsen sollen, und stehen dabei oft unter öffentlicher Beobachtung. Darüber hinaus werden auch Gemeinwohlaspekte an Landwirtinnen und Landwirte herangetragen und der Druck wächst, diesen gerecht zu werden.

Nahezu alle diese Konflikte verlassen die bilaterale Ebene. Sie werden zu öffentlichen oder teil-öffentlichen Konflikten, die besonderen Spielregeln folgen (Ewen et al. 2019). Es ist unabdingbar, einen Blick auf Konfliktkonstellationen und das Konfliktsystem zu haben, fachliches Hintergrundwissen mitzubringen und das richtige methodische Handwerkszeug einzusetzen.

Der Verlauf öffentlicher Konflikte kann mit einer Theateraufführung verglichen werden. Es gibt die Akteure, die auf der Bühne auftreten. Es gibt die Zuschauer (Wählende, Anwohnende, Interessierte), die Beifall oder Missfallen kundtun, mehr oder weniger interessiert zuschauen oder abschalten. Und es gibt die Theaterkritikerinnen und -kritiker (die Medien), die denjenigen, die der Aufführung nicht beiwohnen konnten oder wollten, einen Eindruck vom Geschehen vermitteln. Gelöst werden können die (Ziel-)Konflikte häufig nicht. Unser Ziel ist daher: Es geht darum, eine Bühne für einen fairen Dialog zu bauen, der auf allparteilichen Informationen beruht – mit dem Ziel, dass die Konflikte benannt, Eskalation begrenzt und die gemeinsame Handlungsfähigkeit der Akteure gestärkt wird.

Ob bei räumlichen Planungsprozessen, Genehmigungsverfahren, Gesetzesvorhaben oder Infrastrukturplanungen: Je früher die Akteursgruppen beteiligt werden, desto eher können die Interessenslagen konstruktiv diskutiert und integriert werden. Mehrfache Treffen über einen längeren Zeitraum ermöglichen das Erarbeiten von inhaltlichen Verbesserungen oder im Idealfall von Win-win-Situationen (Tab. 1).

Tab. 1: Charakteristika von Akteursgruppen in Abhängigkeit vom Planungsstadium

|                   | Frühe Beteiligung                                                                                 | Späte Beteiligung                                                                                            |
|-------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Beispiele         | Erarbeiten einer Strategie<br>im Vorfeld einer Entscheidung<br>im Zuge von Gesetzgebungsverfahren | nach Einreichen von Planfeststellungsunterlagen oder Genehmigungsanträgen<br>nach getroffenen Entscheidungen |
| Akteursgruppen    | Beteiligte<br>(„interested parties“)                                                              | Betroffene<br>(„affected parties“)                                                                           |
| Organisationsgrad | organisierte Zivilgesellschaft<br>(Verbände)                                                      | nicht organisierte Zivilgesellschaft<br>(Initiativen)                                                        |
| Übliche Bühne     | Sitzungsraum                                                                                      | große Säle                                                                                                   |
| Fokus             | Nutzenfokus                                                                                       | Schadenfokus                                                                                                 |

### 3 Praxisbeispiele

Bei Konfliktmoderation und Prozessgestaltung im Themenfeld von Landwirtschaft und Wasser sind unter anderem folgende prozessuale Herausforderungen zu beachten:

- Regionale Besonderheiten sowohl in der landwirtschaftlichen Struktur als auch bei Wasserdargebot und -bedarfen sind zu beachten. Daher sind übergeordnete Regelungen von Landes- oder gar Bundesebene nicht immer übertragbar, sondern bedürfen regionaler oder gar lokaler Konzepte.
- Die räumlichen Zuschnitte für die Projekte sind möglichst unabhängig von administrativen Grenzen anzulegen, um Flussgebietsgemeinschaften oder Grundwasserkörper berücksichtigen zu können. Dies kollidiert aber teilweise mit der Logik politischer Entscheidungen, Finanzierungsstrukturen oder von Verwaltungshandeln.

- Eine breite Akteursbeteiligung aus unterschiedlichen Sektoren (Landwirtschaft, Wasserwirtschaft, Naturschutz, Forstwirtschaft, Siedlungsbau, Regionalplanung) soll ermöglicht werden, um integrativ vorgehen zu können. Dabei ist die Frage der Akteure bei Wasser teilweise nicht einfach zu definieren: Wem „gehört“ das Wasser, über das man spricht? Von wo kommt es und wo fließt es hin? Wie geht man mit der Ober- und Unterliegerproblematik um? Und so weiter.

Anhand der folgenden Praxisbeispiele wird skizziert, wie diese Herausforderungen in der Konzeption und Umsetzung von Dialogprojekten aufgegriffen werden können.

### 3.1 Hochwasservorsorge – Projekt „Dialogprozess Reserveraum für Extremhochwasser Eich-Guntersblum“

#### Ausgangssituation

In der rheinland-pfälzischen Rheinniederung werden zusätzlich zu den Deichrückverlegungen und Hochwasserrückhalteräumen (Polder) „Reserveräume für Extremhochwasser“ geplant. Diese sollen eingesetzt werden, wenn trotz des Einsatzes aller anderen Rückhaltemaßnahmen die Deiche am Oberrhein gefährdet sind, um unkontrollierte Überflutungen der Deiche mit all ihren Konsequenzen zu vermeiden. Einer dieser Reserveräume wird derzeit im Bereich von Eich, Guntersblum und Gimsheim (zwischen Worms und Mainz) geplant. Der geplante Deich verläuft weitgehend auf landwirtschaftlichen Nutzflächen, die der Landwirtschaft nach dem Deichbau nicht mehr zur Verfügung stehen. team ewen war mit der Moderation des mehrjährigen Informations- und Dialogprozesses beauftragt (Abb. 1).

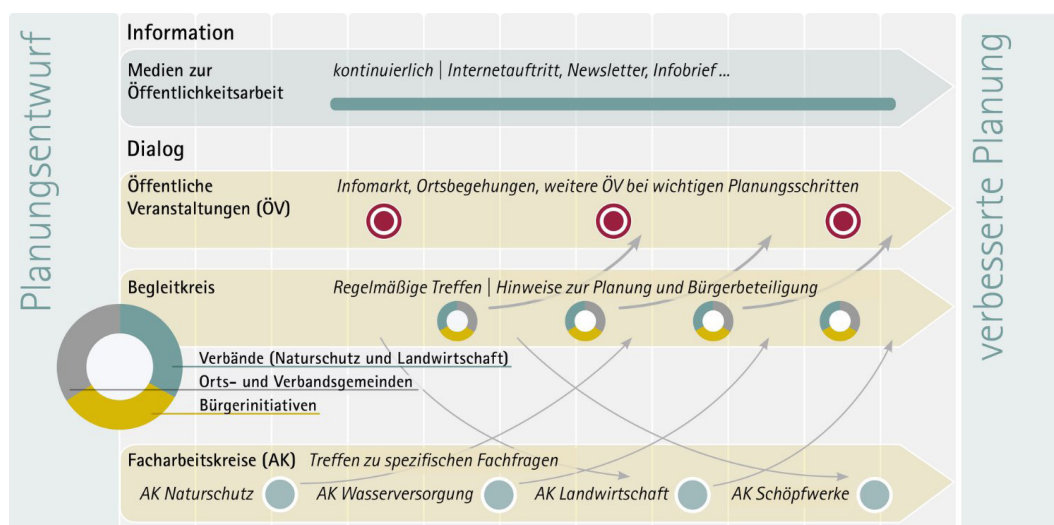


Abb. 1: Schematische Darstellung des Informations- und Dialogprozesses zum Reserveraum für Extremhochwasser Eich-Guntersblum (© team ewen)

In diesem Projekt ging es darum, die langjährige Planung des Vorhabens bis zum Einreichen der Planfeststellungsunterlagen durch Dialog und Information zu begleiten, lokales Wissen durch Arbeitskreise, Ortsbegehungen und öffentliche Veranstaltungen aufzugreifen und die Anliegen, u.a. der Landwirtschaft, in die Planung einzubringen. Zudem war es wichtig, die sich teilweise beeinflussenden Anliegen von Naturschutz und Landwirtschaft aktiv anzusprechen und die Akteure in den Dialog zu bringen.



### Kennzeichen

- Langjähriger und kontinuierlicher Dialogprozess (2017 bis 2024) hilft, Vertrauen zwischen den Beteiligten aufzubauen.
- Lokales Wissen wird integriert und hilft, die Planung an lokale Bedürfnisse – wo möglich – anzupassen.
- Interessen der Akteursgruppen können in geschützten Räumen vorgebracht werden.
- Gemeinsame Sitzungen verschiedener Akteursgruppen bringen widerstreitende Interessen auf den Tisch.
- Geplante Informationsbausteine bieten „Schaufenster“ für die breite Öffentlichkeit und somit Transparenz – die Bühne wird von den Beteiligten gemeinsam bespielt.

Unter anderem wurden folgende Zielkonflikte aufgegriffen:

- Schutz des Hinterlandes durch den Deich versus Verlust landwirtschaftlicher Flächen: Da der Deich – im Unterschied zu Poldern – nur im Fall von Extremhochwasser geflutet wird, kann im Reserveraum die Landwirtschaft wie gewohnt weiterbetrieben werden. Dennoch bleibt ein Verlust von landwirtschaftlicher Fläche durch die Aufstandsfläche des Deichs. Der Deichverlauf wurde daher im Austausch mit der Landwirtschaft mehrfach angepasst, um den Flächenverbrauch zu minimieren und den Flächenzuschnitt für die landwirtschaftliche Nutzung zu verbessern.
- Ökologische Ausgleichsmaßnahmen versus Verlust landwirtschaftlicher Flächen: Um den Flächenentzug möglichst gering zu halten, wird ein Teil der Ausgleichsmaßnahmen durch sogenannte produktionsintegrierte Kompensationsmaßnahmen (PIK) erfolgen, die eine Fortführung der Landwirtschaft bei gleichzeitigem Naturschutz ermöglichen.

Es bleiben Konflikte bestehen, die sich nicht lösen ließen: Die Landwirte verlieren trotz aller Anpassungen Flächen durch den Bau des Deiches wie auch durch den Entzug von landwirtschaftlichen Flächen für den ökologischen Ausgleich. Sie empfinden die finanzielle Kompensation als nicht ausreichend und haben weiterhin Bedenken hinsichtlich der wirtschaftlichen Folgen durch die möglichen Flutungen. Hier wird sich zeigen, was im Zuge des Planfeststellungsverfahrens seitens der Genehmigungsbehörde an Festlegungen getroffen werden wird.

### 3.2 Grundwasseranreicherung – Projekt „Runder Tisch Hessisches Ried“

#### Ausgangssituation

Der Auftrag für den Runden Tisch (RT) „Verbesserung der Grundwassersituation im Hessische Ried“ lautete, zu prüfen, mit welchen Maßnahmen der u. a. durch Grundwasserspiegelabsenkungen bedingte teilweise kritische Zustand des Waldes im Hessischen Ried (Gebiet zwischen Odenwald und Rhein bei Darmstadt) verbessert werden kann (RT 2015). Dabei spielte insbesondere die Frage eine Rolle, ob die in einer Machbarkeitsstudie beschriebene Grundwasseraufspiegelung ein gangbarer Weg wäre.

Es ging um das Ausbalancieren der Interessen von Forstwirtschaft, Landwirtschaft, Anwohnenden in Siedlungsgebieten, Wasserwirtschaft und Naturschutz mit dem Ziel, den Wald im Hessischen Ried zu stabilisieren und zu erhalten (Abb. 2), der im Bereich der europäischen Schutzgebiete die rechtlichen Vorgaben erfüllt. Eingebettet in einem Gebiet, in dem die Förderung von Wasser für Südhessen sowie Teile von Rheinland-Pfalz und Baden-Württemberg weiterhin stattfinden soll, ohne dass für die Landwirtschaft und für die Siedlungen im Ried die Vernässungsprobleme zunehmen (Hessisches Ministerium für Umwelt 2005).

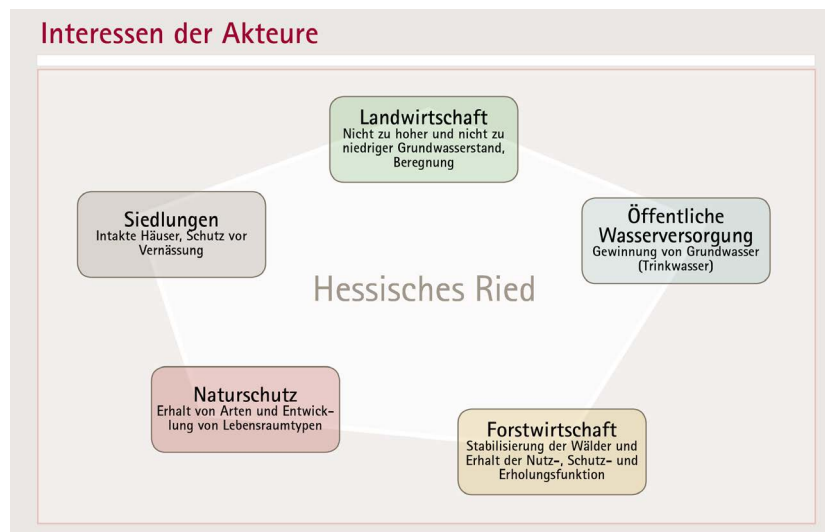


Abb. 2: Interessen der beteiligten Akteure beim Runden Tisch Hessisches Ried (© team ewen)

### Kennzeichen

- Politischer Beschluss des hessischen Landtags als Arbeitsgrundlage
- Breite Akteursbeteiligung, sorgsamer Blick auf ausgeglichene Besetzung, auch in den Arbeitskreisen
- Möglichkeit, zusätzliche Fachgutachten einzuholen
- Arbeit mit Szenarien eröffnet Zukunfts- und Diskussionsräume
- Vertraulichkeit und Transparenz: nicht öffentliche Sitzungen des Runden Tisches und seiner Arbeits- und Begleitgruppen, aber Veröffentlichung der Ergebnisse und Möglichkeit für weitere Fachleute und Politik, an Sitzungen teilzunehmen
- Gemeinsam verabschiedete Geschäftsordnung ebnet Grundlage für Arbeitsweise: „Die Teilnehmerinnen und Teilnehmer des RT lassen sich davon leiten, dass der Grad der Akzeptanz und damit das Gewicht ihrer Beschlüsse auch vom Grad des erreichten Konsenses abhängen“.

Der zentrale **Zielkonflikt** mit direktem Bezug zur Landwirtschaft bestand darin, Grundwasserspiegel für die Waldsanierung zu erhöhen, ohne landwirtschaftliche Flächen und/oder Siedlungsbereiche schadhaft zu vernässen. Dies wurde mit folgenden Ansätzen aufgegriffen:

- Aufwand und Nutzen der Grundwasseraufspiegelung sowie möglicher Alternativen (wie z. B. Waldumbau) wurden gründlich geprüft und abgewogen.
- Räumlich differenzierter Blick: Es wurden Gebiete identifiziert, die als „Aufspiegelungszentren“ geeignet sind, indem die Zielkonflikte möglichst gut aufgegriffen werden und Kosten und Nutzen in vertretbarem Verhältnis stehen.
- Alternative Lösungen pilothaft testen: Die Option der Oberflächenbewässerung im Wald (als Alternative zur Aufspiegelung) wurde als Pilotprojekt initiiert.

## 4 Fazit

Die nachhaltige Bewirtschaftung unserer Wasserressourcen in der Land(wirt)schaft erfordert eine enge Zusammenarbeit zwischen Landwirtschaft, Wasserwirtschaft, Behörden, Naturschutz und teilweise auch Zivilgesellschaft. Zielkonflikte, die sich aus unterschiedlichen Nutzungsansprüchen ergeben, können durch folgende prozessuale Maßnahmen und Prinzipien adressiert werden:

- Förderung eines kontinuierlichen Dialogs, um gemeinsame Lösungen zu entwickeln und umzusetzen.
- Austausch zu Best Practice von Bewirtschaftungspraktiken, die ökologische, ökonomische und soziale Dimensionen verknüpfen.
- Nutzung von bestehenden überregionalen Institutionen als Kommunikationsplattformen, um Dialog- und Aushandlungsprozesse zu unterstützen und zu fördern.
- Entwicklung und Umsetzung von regionalen Ansätzen und Konzepten, die die Bedürfnisse der verschiedenen Nutzergruppen berücksichtigen.
- Durchführung von Bildungs- und Sensibilisierungskampagnen, um das Bewusstsein für die Bedeutung einer nachhaltigen Wasserbewirtschaftung zu stärken und Wissenstransfer auch in Richtung von Entscheidungsträgerinnen und Entscheidungsträgern zu ermöglichen.
- Einbindung der Öffentlichkeit und der lokalen Gemeinschaften in Entscheidungsprozesse, um eine breite Unterstützung für nachhaltige Maßnahmen zu gewährleisten.

Häufig sind die übergeordneten Ziele von Landwirtschaft, Naturschutz und Wasserwirtschaft gar nicht so unterschiedlich. Es sind häufig die Fragen des Weges dorthin und fachliche Details, bei denen Konflikte deutlich werden. Diese Konflikte gilt es frühzeitig sichtbar zu machen und gemeinsam an Lösungen zu arbeiten, die für alle Beteiligten möglichst viele Vorteile bringen. Durch eine kooperative Planung und Kommunikation können wir sicherstellen, dass unsere Wasserressourcen auch für zukünftige Generationen erhalten bleiben.

## Literatur

- Ewen, C.; Knapstein, Y.; Schönfelder, C. (2019): Bürger, Behörden und Blockaden. Konflikthafte Entscheidungen in Planung und Politik im Dialog begleiten. Göttingen, <https://www.team-ewen.de/publication/buerger-behoerden-und-blockaden>, Zugriff am 28.01.2025
- Hessisches Ministerium für Umwelt, ländlichen Raum und Verbraucherschutz (2005): Das Hessische Ried zwischen Vernässung und Trockenheit: eine komplexe wasserwirtschaftliche Problematik. <https://rp-darmstadt.hessen.de/umwelt-und-energie/gewaesser-und-bodenschutz/grundwasser-und-wasserversorgung/hessisches-ried>; Zugriff am 28.01.2025
- RT (2015): Runder Tisch Verbesserung der Grundwassersituation im Hessischen Ried. Abschlussbericht, [https://landwirtschaft.hessen.de/sites/landwirtschaft.hessen.de/files/2021-06/abschlussbericht\\_des\\_runden\\_tischs\\_vom\\_april\\_2015.pdf](https://landwirtschaft.hessen.de/sites/landwirtschaft.hessen.de/files/2021-06/abschlussbericht_des_runden_tischs_vom_april_2015.pdf), Zugriff am 28.01.2025

## Mitwirkende

**Javad Ahamdi**

Technische Universität München  
München

**Lea Augustin**

Technische Universität München  
München

**Dr. Benedikt Aumeier**

Technische Universität München  
München

**Dr. Tim aus der Beek**

IWW Institut für Wasserforschung gGmbH  
Mülheim an der Ruhr

**Prof. Dr. Thomas Baumann**

Technische Universität München  
München

**Till Belau**

Kuratorium für Technik und Bauwesen  
in der Landwirtschaft e.V. (KTBL)  
Darmstadt

**Prof. Dr. Ralf Bloch**

Hochschule für nachhaltige Entwicklung  
Eberswalde

**Prof. Dr. Dietrich Borchardt**

Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH  
Magdeburg

**Dr. Udo Busch**

Deutscher Wetterdienst  
Offenbach

**Dr. Alexandra Dehnhardt**

Institut für ökologische Wirtschaftsforschung GmbH  
Berlin

**Prof. Dr. Jörg Drewes**

Technische Universität München  
München

**Dr. Philipp Gerhardt**

Deutsche Agroforst GmbH  
Wiesenburg

**Prof. Dr. Eberhard Hartung**

Christian-Albrechts-Universität zu Kiel  
Kiel

**Manuela Helmecke**

Umweltbundesamt  
Dessau-Roßlau

**Dr. Mathias Herbst**

Deutscher Wetterdienst  
Braunschweig

**Dr. Veikko Junghans**

Landesamt für Ländliche Entwicklung, Landwirtschaft und  
Flurneuordnung (LELF) des Landes Brandenburg  
Paulinenaue

**Thomas Keller**

Wasserwirtschaftsamt Ansbach  
Ansbach

**Simon Keutmann**

Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen  
Köln

**Stefan Kirchner**

Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau  
Veitshöchheim

**Bernd Kirschbaum**

Umweltbundesamt  
Dessau-Roßlau

**Dr. Martin Komainda**

Georg-August-Universität Göttingen  
Göttingen

**Dr. Andrea Krähmer**

Julius Kühn-Institut  
Berlin

**Dr. Sandra Kruse**

Hessisches Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt,  
Weinbau, Forsten, Jagd und Heimat  
Wiesbaden

**Axel Lietzow**

Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie  
Hannover

**Dr. Birgit Maria Müller**

DVGW – Technologiezentrum Wasser  
Karlsruhe

**Dr. Martin Müller**

Arbeitsgemeinschaft Landtechnik und Landwirtschaftliches  
Bauwesen in Bayern e.V.  
Freising

**Dr. Wiebke Niether**

Justus-Liebig-Universität Gießen  
Gießen

**Dr. Jörg Rechenberg**  
Umweltbundesamt  
Dessau-Roßlau

**Dr. Moritz Reckling**  
Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung e.V.  
Müncheberg

**Uwe Roth**  
Wasser-, Boden- und Landschaftspflegeverband Hessen  
Griesheim

**Nadine Schmidt**  
Hochschule Geisenheim  
Geisenheim

**Dr. Thomas Schmidt**  
Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft  
Berlin

**Dr. Burkhard Schmied**  
Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft  
Berlin

**Carla Schönfelder**  
team ewen GbR  
Darmstadt

**Dr. Ute Schultheiß**  
Kuratorium für Technik und Bauwesen  
in der Landwirtschaft e.V. (KTBL)  
Darmstadt

**Henning Stahl**  
Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und  
Geologie  
Nossen

**Prof. Dr. Thilo Streck**  
Universität Hohenheim  
Stuttgart

**Dr. Nataliya Stupak**  
Johann Heinrich von Thünen-Institut  
Braunschweig

**Sebastian Sturm**  
DVGW – Technologiezentrum Wasser  
Karlsruhe

**Matthew Suomi**  
Hochschule Geisenheim  
Geisenheim

**Claudia Taeger**  
Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau  
Veitshöchheim

**Tanja Vollmer**  
DVGW – Technologiezentrum Wasser  
Karlsruhe

**Prof. Dr. Tobias Weber**  
Universität Kassel  
Kassel

**Florian Zaun**  
IWW Institut für Wasserforschung gGmbH  
Mülheim an der Ruhr

**Prof. Dr. Jana Zinkernagel**  
Hochschule Geisenheim  
Geisenheim





