

Wasser in der Landwirtschaft

Strategien zur Verbesserung des Wasserhaushalts und
des Mikroklimas in der Landwirtschaft





Liebe Leserin, lieber Leser,

die Landwirtschaft sieht sich mit zunehmend veränderten klimatischen Bedingungen konfrontiert, die sich auch auf die Wasserversorgung auswirken. Der Klimawandel äußert sich unter anderem in häufigeren Starkregenereignissen, veränderten Niederschlagsmustern und längeren Trockenphasen. Gleichzeitig erhöhen steigende Jahresdurchschnittstemperaturen den Wasserbedarf von Kulturpflanzen. Somit wird es zunehmend relevanter, die Bewirtschaftung landwirtschaftlicher Flächen auf die sich ändernde Wasserverfügbarkeit anzupassen und die vorhandenen natürlichen Wasserressourcen möglichst effizient zu nutzen – um langfristig Erträge sichern und Wassernutzungskonflikte vermeiden zu können.

Diese Broschüre richtet sich an Landwirtinnen und Landwirte, die landwirtschaftliche Beratung sowie Multiplikatorinnen und Multiplikatoren. Sie zeigt auf, welche landwirtschaftlichen Strategien des Flächenmanagements zur Verfügung stehen, um den Wasserrückhalt in den Flächen zu steigern und die Landschaft klimaresilienter zu gestalten. Dabei werden sowohl rechtliche Grundlagen der Wasserentnahme beleuchtet als auch alternative Wasserquellen vorgestellt. Der Fokus dieser Broschüre liegt auf betrieblichen Strategien des Flächenmanagements: von Fahrgassenbegrünung über Humusaufbau bis zu Sortenwahl und Fruchtfolge. Ebenfalls werden Agroforstsysteme und der Planungsansatz des Keyline Designs vorgestellt und auf ihren Beitrag zur Beeinflussung des Mikroklimas landwirtschaftlicher Flächen eingegangen.

Bäume können maßgeblich das Mikroklima auf landwirtschaftlichen Flächen verändern. Auch Techniken wie Hagelnetze und Agri-Photovoltaikanlagen können solche Nebeneffekte haben. Diese Broschüre gibt zudem einen Überblick darüber, was bei der Anlage von Hagelnetzen im Obstbau zu beachten ist. Aufgrund der durch den Klimawandel intensiver werdenden Hagelereignisse gewinnen sie zunehmend an Bedeutung. Abschließend wird ein Einblick in die kombinierte Flächennutzung zur Stromerzeugung und landwirtschaftlichen Produktion über Agri-Photovoltaikanlagen gegeben. Das Umweltbundesamt hat die Erarbeitung der Beiträge fachlich unterstützt.

Wir wünschen Ihnen viel Freude beim Lesen.

Ihr Bundeszentrum für Landwirtschaft

Inhalt

1	Einleitung	5
1.1	Die Nationale Wasserstrategie und ihre Bedeutung für die Landwirtschaft	8
2	Die Auswirkungen des Klimawandels auf die Landwirtschaft	12
2.1	Entwicklung des Klimas	12
2.2	Pflanzenbau im Klimawandel	14
3	Perspektiven und Herausforderungen der landwirtschaftlichen Wasserentnahme	16
3.1	Rechtliche und fachliche Rahmenbedingungen zur Wasserentnahme	17
3.2	Wasserherkünfte für die Landwirtschaft	19
3.2.1	Natürliche Wasserquellen	19
3.2.2	Alternative Wasserquellen	20
4	Gestaltung resilienter Flächen – Wasserrückhalt und Mikroklima verbessern	24
4.1	Land(wirt)schaft und Wasserrückhalt	25
4.1.1	Land(wirt)schaft und Extremwetterereignisse	25
4.1.2	Den Wasserrückhalt in der Landschaft verbessern	25
4.1.3	Einflussfaktoren der landwirtschaftlichen Nutzung auf die Wasserinfiltration	28
4.1.4	Praktische Umsetzung	29
4.1.5	Anpassungsstrategien für landwirtschaftliche Betriebe	30
4.2	Einzelbetriebliche Strategien des Wasser- und Bodenmanagements	32
4.2.1	Maßnahmen in der Feldflur	32
4.2.2	Produktionsintegrierte Maßnahmen auf dem Acker	39
4.2.3	Produktionsintegrierte Maßnahmen im Grünland	52
4.3	Die Rolle der Agroforstwirtschaft im Wassermanagement	56
4.3.1	Effekte auf das Mikroklima	57
4.3.2	Beitrag zum Wasserrückhalt	60
4.4	Keyline Design: Effiziente Wassernutzung und nachhaltige Landwirtschaft	61
4.4.1	Anlage eines Keyline Designs und Wässerlinien in der Praxis	62
4.4.2	Vielversprechender Ansatz für Mikroklima und Klimaanpassung	65

- 4.5 Ansätze zur Verbesserung des Mikroklimas auf landwirtschaftlichen Flächen 66
 - 4.5.1 Anlage und Funktion von Hagelnetzen:
Wie sie das Mikroklima verändern 66
 - 4.5.2 Exkurs: Mikroklima in Agri-Photovoltaikanlagen –
Schutz und Effizienz für eine nachhaltige Landwirtschaft 71

5 Zusammenfassung und Fazit 75

Anhang 79

- Glossar 79
- Abkürzungsverzeichnis 84
- Weitere Lesehinweise 85
- Literatur 86

KTBL-Medien 99

Weitere BZL-Medien 100

Das BZL im Netz 102

Impressum 103



1 Einleitung

Wasser ist die Grundlage allen Lebens – und damit auch existenziell notwendig für die Landwirtschaft. Mit dem Fortschreiten des Klimawandels rückt die Verfügbarkeit dieser wertvollen Ressource zunehmend ins Bewusstsein der Gesellschaft.

Der Klimawandel bringt nicht nur ansteigende mittlere Temperaturen und im Jahresverlauf verschobene Niederschläge, sondern auch intensivere und vermehrte Extremwetterereignisse wie Starkregen mit sich. Auch längere Trockenzeiten und Dürrephasen während der Vegetationsperiode werden in Deutschland häufiger (Pfeifer et al. 2020; Söder et al 2022).

Die Vegetationsperiode beginnt immer früher, während die Zeiträume mit ausbleibenden Niederschlägen über die Vegetationszeit zunehmen (Kapitel 2). Diese Veränderungen erschweren eine ausreichende Wasserversorgung der Nutzpflanzen. Trockenstress führt zum Rückgang der Biomasse und der Produktivität. Andererseits fallen in kurzer Zeit größere Regenmengen, die von den Flächen aufgenommen werden müssen. Geschieht dies nicht, sind Erosion und unbefahrte Flächen häufig die Folge.

Es wird deutlich: Die Landwirtschaft sieht sich mit sich verändernden klimatischen Bedingungen konfrontiert. Es gilt, mit

Strategien des Flächenmanagements die Wasserverfügbarkeit langfristig zu sichern und gleichzeitig die Wasserresilienz zu stärken.

Wasserbedarf in der Landwirtschaft

Seit den sehr trockenen Sommern der Jahre 2018 bis 2020 sowie 2022 ist das Thema einer nachhaltigen Wassernutzung und des saisonalen und regionalen Wassermangels auch in Deutschland angekommen (DWD 2022; BZL 2025a). Die klimatischen Änderungen führen schon heute zu einem steigenden Wasserbedarf in der Landwirtschaft. Derzeit gibt es in Deutschland keinen flächendeckenden Wassermangel, lokal treten jedoch Wasserknappheiten auf, die sich auch auf die landwirtschaftliche Wassernutzung auswirken (Bernhardt et al. 2025).

Dies verändert nicht nur die Verfügbarkeit von Wasser, sondern auch die Anforderungen an das Flächenmanagement in der landwirtschaftlichen Praxis. Besonders in niederschlagsarmen Regionen Deutschlands müssen landwirtschaftliche Betriebe zunehmend ihre Bewirtschaftung an die sich verändernde Wasserverfügbarkeit anpassen.

Im Jahr 2022, das durch sehr trockene Frühjahrs- und Sommermonate gekennzeichnet war (DWD 2023), entfielen mit rund 0,5 Milliarden Kubikmetern lediglich 2,5 Prozent der gesamten Wasserentnahmen in Deutschland auf die Landwirtschaft. Das entspricht weniger als 0,3 Prozent des gesamten Wasserdargebots. Damit macht die Landwirtschaft bisher einen kleinen Teil der Wasserentnahmen aus, jedoch mit steigender Tendenz. Im Vergleich: Für die Energieversorgung wurden 6,9 Milliarden Kubikmeter Wasser für die Eigenversorgung,

insbesondere als Kühlwasser, entnommen. Das entspricht 38,6 Prozent der gesamten Wasserentnahme und damit dem 15-fachen der landwirtschaftlichen Entnahme (UBA 2026). Dieses Wasser wird jedoch nach der Nutzung als Kühlwasser zu etwa drei Vierteln wieder Flüssen und Bächen zugeführt (DWD 2022). Für die öffentliche Wasserversorgung lag die Wasserentnahme 2022 bei 5,3 Milliarden Kubikmetern, was 29,8 Prozent der gesamten Wasserentnahme entspricht und fast das Zwölfwache der landwirtschaftlichen Wasserentnahme bedeutet (UBA 2026).

Nachhaltige Wassernutzung wird relevanter

Klimaprojektionen für Deutschland zeigen einen weiteren Anstieg der Jahresmitteltemperaturen von ein bis zwei Grad Celsius für die nahe Zukunft (2031 bis 2060) (Stein et al. 2024). Daher wird der Wasserbedarf für die landwirtschaftliche Bewässerung in weiten Teilen Deutschlands steigen. So wird beispielsweise für Niedersachsen zukünftig (bis 2050) ein jährlicher Bedarf von etwa 500 bis 600 Millionen Kubikmetern Wasser angenommen. Dieser Bedarf wird allerdings nicht flächendeckend aus dem Grundwasser gedeckt werden können (Fricke 2023). Auch Oberflächengewässer können den Bewässerungsbedarf nicht sicherstellen, insbesondere in trockenen und heißen Monaten mit Niedrigwasser (LfU o. J.).

Daher wird es zukünftig relevanter, Wasser effizienter zu nutzen und auf Wasser aus alternativen Herkünften, wie beispielsweise aufbereitetes Abwasser, zurückzugreifen (Kapitel 3). Vor allem wird auch der nachhaltige Umgang mit den Wasser- und

Bodenressourcen in der Landwirtschaft immer wichtiger. Resiliente Anbausysteme, die sowohl auf länger andauernde Trockenperioden als auch auf Starkregenereignisse flexibler reagieren können, gewinnen zunehmend an Bedeutung. Es gilt den Humusgehalt und die Wasserspeicherkapazität der Böden zu erhöhen und Erosion zu verhindern. In dieser Funktion helfen landwirtschaftlich genutzte Flächen Wasser zurückzuhalten, Überschwemmungen zu vermeiden und gleichzeitig die Grundwasserneubildung zu fördern.

Wasserrückhalt in der Landschaft durch vorsorgendes Wasser- und Bodenmanagement fördern

Diese Broschüre stellt eine Auswahl an betrieblichen Maßnahmen im Bereich des vorsorgenden Wasser- und Bodenmanagements vor (Kapitel 4.1 und 4.2), um den Wasserrückhalt in der Landschaft zu erhöhen und somit auch den Landschaftswasserhaushalt zu verbessern. Diese Maßnahmen stehen teilweise in engen Wechselbeziehungen zueinander und können sich in ihrer Kombination positiv verstärken. Außerdem ergeben sich bei einer Vielzahl der vorgestellten Maßnahmen, wie beispielsweise

- Anbau von Zwischenfrüchten,
 - reduzierte Bodenbearbeitung oder
 - Untersaat mit Leguminosen
- weitere begleitende Vorteile. Sie wirken sich mindernd auf den Ausstoß klimarelevanter Treibhausgase aus, fördern die ober- und unterirdische Biodiversität und verringern die Auswaschung von Nährstoffen in Gewässer. Einige Maßnahmen, die sich positiv auf den Wasserrückhalt auswirken, sind ebenfalls in der guten fachlichen Praxis der Landwirtschaft verankert.

Durch Strukturelemente das Mikroklima auf Flächen verändern

Es gibt nicht nur auf betrieblicher Ebene Maßnahmen im Bereich des vorsorgenden Boden- und Wassermanagements. Die Broschüre stellt ebenfalls Maßnahmen vor, die Landschaften durch Strukturelemente diverser gestalten. Gleichzeitig beeinflussen sie das Mikroklima auf landwirtschaftlichen Flächen positiv, wodurch die Wasserverfügbarkeit verbessert wird.

Agroforstsysteme kombinieren die landwirtschaftliche Nutzung von Acker- oder Grünlandflächen mit Gehölzen (Kapitel 4.3). Neben ökologischen Faktoren, wie der Förderung von Biotopvernetzung und Biodiversität, binden die Gehölze Kohlenstoff, fördern den Humusaufbau durch Laubstreu, beeinflussen das Mikroklima auf den umliegenden Flächen und schützen vor Erosion. Wird die natürliche Topografie einer Fläche genutzt, um Niederschlagswasser gezielt in der Landschaft zu verteilen und versickern zu lassen, wird vom Keyline Design gesprochen (Kapitel 4.4). Bei diesem System werden auf Acker- und Grünlandflächen Agroforstgehölze in Kombination mit Gräben und Versickerungsmulden angebaut. Das Besondere an diesem Ansatz ist, dass die natürlichen landschaftlichen Konturen berücksichtigt und gezielt genutzt werden.

Kombinierte Flächennutzung und technische Maßnahmen

Auch technische Maßnahmen und kombinierte Flächennutzung gewinnen vor dem Hintergrund des Wassermanagements an Bedeutung. So können Hagelnetze im Obstbau nicht nur vor Hagelschäden schützen, sondern tragen

durch die Verschattung auch zur Verringerung der Verdunstung bei und kühlen den Bestand. Gleichzeitig bieten Hagelnetze Schutz vor Sonnenbrand (Kapitel 4.5.1). Eine ähnliche Wirkung zeigen auch Agri-Photovoltaik(PV)-Anlagen – hier wird die Stromerzeugung über Photovoltaikanlagen mit landwirtschaftlicher Flächennutzung kombiniert (Kapitel 4.5.2). Unter den PV-Modulen entstehen beschattete Zonen mit stabileren Temperatur- und Feuchteverhältnissen, die sich je nach Kulturart positiv auf Wasserbedarf und Pflanzenwachstum auswirken können. Im Winter bieten die PV-Module empfindlichen Kulturen zudem einen Frostschutz. Gleichzeitig eröffnet diese Doppelnutzung ökonomische Perspektiven durch eine Diversifizierung der Einkommensquellen.

Ganzheitlicher Ansatz für das Wassermanagement

Die in dieser Broschüre vorgestellten Maßnahmen machen deutlich, dass landwirtschaftliches Wassermanagement eines ganzheitlichen Ansatzes bedarf. Neben technischen erfordert es auch strukturelle und landschaftsbezogene Lösungen – angepasst an Standort, Betrieb und regionale Bedingungen. Ziel dieser Broschüre ist es, Strategien und Maßnahmen vorzustellen, die landwirtschaftliche Betriebe dabei unterstützen, die Wasserspeicherkapazität der Flächen zu erhöhen, um den nachhaltigen Umgang mit der Ressource Wasser zu stärken.

1.1 Die Nationale Wasserstrategie und ihre Bedeutung für die Landwirtschaft

Angeichts der Herausforderungen durch die Auswirkungen des Klimawandels auf den Wasserhaushalt verabschiedete die Bundesregierung 2023 die Nationale Wasserstrategie (NWS), unter Federführung des Bundesministeriums für Umwelt, Klimaschutz, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMUKN). Ziel der Strategie ist, die Wasserversorgung nachhaltig und ressourcenschonend zu gestalten sowie langfristig und gerecht zu sichern (BMUV 2023).

Die Strategie bringt alle Akteure aus Bund, Ländern, Kommunen, Wasserwirtschaft sowie wassernutzenden Wirtschaftsbereichen und Gruppen zusammen und formuliert einen umfassenden Handlungsrahmen.

Im Mittelpunkt der NWS steht die **Vision**, dass bis **2050** der *„Schutz der natürlichen Wasserressourcen und der nachhaltige Umgang mit Wasser (...) in Deutschland in allen Lebens- und Wirtschaftsbereichen zum Wohle von Mensch und Umwelt verwirklicht“* ist (BMUV 2023, 10). Die Strategie umfasst zehn strategische Themen (Abbildung 2) und ein umfangreiches Aktionsprogramm mit insgesamt 78 Aktionen für eine nachhaltige Wasserwirtschaft.

Bedeutung für die Landwirtschaft

Vermehrte (Boden-)Trockenheit und Starkregenereignisse stellen landwirtschaftliche Betriebe vor wachsende Herausforderungen. Längere und intensivere Trockenphasen verursachen Mengen- und Qualitätseinbußen bis hin zu Ernteaussfällen und Futterengpässen. Zudem verursachen die sich

verändernden Niederschläge oft Erosion und Oberflächenabflüsse, die das Risiko für Bodendegradation und Stoffeinträge in Gewässer erhöhen. Perspektivisch können somit vermehrt lokal Schäden und stoffliche Belastungen von Oberflächengewässern auftreten (BMUV 2023, 27). Diese Herausforderungen für die Landwirtschaft wurden auch in der Nationalen Wasserstrategie (NWS) erkannt und benannt.

Die oben skizzierten klimabedingten Herausforderungen verdeutlichen die Notwendigkeit, langfristig nachhaltig und ressourcenschonend mit dem natürlichen Wasserhaushalt zu wirtschaften. Die Ziele der NWS sind also von zentraler Bedeutung, um die Verfügbarkeit und Qualität von Wasser auch für die Landwirtschaft zu sichern. Sie benennt daher Maßnahmen, um den natürlichen Boden- und Landwirtschaftswasserhaushalt zu stärken. Diese Maßnahmen sollen helfen, eine gewässersensible und klimaangepasste Flächennutzung in der Praxis umzusetzen. Dabei werden die Grundsätze der guten fachlichen Praxis berücksichtigt (BMUV 2023, 31).

Der Landschaftswasserhaushalt wird neben Bodenzustand, Vegetation und Grundwasserneubildung auch durch die Landnutzung und die Nutzung der natürlichen Wasserressourcen beeinflusst.

Zentrale Ziele der Nationalen Wasserstrategie

„Auch in 30 Jahren und darüber hinaus gibt es überall und jederzeit qualitativ hochwertiges und bezahlbares Trinkwasser in ausreichender Menge.“

Die Wasserqualität wird gesichert – Grundwasser und Gewässer wie Seen, Bäche, Flüsse und Meere werden sauberer. Die Abwasserentsorgung wird stärker nach dem Verursacherprinzip und auf Ressourceneffizienz ausgerichtet.

Der naturnahe Wasserhaushalt wird gestärkt und wiederhergestellt.

Die Infrastruktur der Wasserversorgung und Wasserentsorgung wird an die Folgen der Klimakrise angepasst.“

(BMUV 2023)

Insbesondere der Boden hat einen entscheidenden Stellenwert. Ein humusreicher Boden kann Wasser aufnehmen, in der Fläche binden und zur Grundwasserneubildung beitragen. Auf diese Weise werden Erosion und Oberflächenabfluss reduziert



Bundesministerium
für Umwelt, Klimaschutz,
und nukleare Sicherheit



WASSER
Die Nationale Strategie

Abbildung 1: Logo der nationalen Wasserstrategie (BMUKN 2025).

und das im Boden gebundene Wasser steht den Pflanzen bei Trockenheit zur Verfügung (DVL 2021b).

Der Boden als zentrale Ressource

Die NWS benennt Maßnahmen für eine **bodenschonende und erosionsmindernde Bewirtschaftung** (BMUV 2023, 32), um einen verbesserten Wasserrückhalt in der Fläche zu erreichen. Ein wesentlicher Bestandteil dabei ist eine möglichst ganz-jährige Bodenbedeckung. Diese kann beispielsweise erzielt werden über:

- Anbau von Zwischenfrüchten,
- reduzierte Bodenbearbeitung,
- Mulch- und Direktsaat sowie
- Intervall-Fahrgassenbegrünung (Steinhoff-Knopp 2025).

Auch Strukturelemente wie Agroforstanlagen können einen Beitrag für die Bodenfruchtbarkeit und den Humusgehalt von Böden leisten (JKI o. J.).

Bewässerung bedarfsgerecht und effizient gestalten

Die Nationale Wasserstrategie thematisiert ebenfalls eine effizientere Wassernutzung in der Landwirtschaft. So sollen beispielsweise die Nutzung digitaler Tools und moderner Beregnungstechnik dazu beitragen, die Bewässerung landwirtschaftlicher Flächen bedarfsgerecht und effizient zu gestalten (BMUV 2023, 30). Ebenfalls sollen Drainagen weitestmöglich zurück- oder so umgebaut werden, dass sie auch dem Wasserrückhalt oder zur Bewässerung



Abbildung 2: Die zehn strategischen Themen der nationalen Wasserstrategie (BMUKN 2025).

dienen können. Damit sollen sie einerseits den Wasserrückhalt in der Fläche unterstützen, andererseits soll dieses Wasser für die Bewässerung verwendet werden. Auch Bewässerungsteiche und Zisternen sollen helfen, das Wasser für Trockenphasen zu speichern und so den Wasserbedarf zu decken (BMUV 2023, 29).

Die Landwirtschaft als Partner

Die Nationale Wasserstrategie macht deutlich: Die Landwirtschaft ist nicht nur betroffen, sondern sie kann zur Sicherung der Wasserressourcen in Deutschland beitragen.

Mit angepassten Bewirtschaftungsformen kann sie helfen, widerstandsfähiger gegenüber den Herausforderungen des Klimawandels zu sein und gleichzeitig nachhaltig und ressourcenschonend zu wirtschaften. Dies sichert nicht nur die Erträge und Einkommen, sondern ist ein wesentlicher Faktor für die Ernährungssicherung.

Investitionen in bodenschonende Verfahren, wassersparende Techniken oder intelligente Bewässerung schützen nicht nur den eigenen Betrieb vor Risiken des Klimawandels, sondern gestalten aktiv eine Zukunft, in der Wasser auch für kommende Generationen verfügbar bleibt. Dabei spielt die landwirtschaftliche Beratung eine wichtige Rolle. Sie vermittelt Wissen über geeignete Bewirtschaftungsstrategien und unterstützt zudem die Betriebe bei der Umsetzung.

Anpassungsstrategien für landwirtschaftliche Betriebe

Diese Broschüre stellt verschiedene Strategien des Boden- und Flächenmanagements vor, mit denen sich landwirtschaftliche Betriebe an den Klimawandel anpassen können. Dabei geht es darum, das verfügbare Wasser ressourcenschonend zu nutzen, bodenschonend zu wirtschaften und somit die Wasserspeicherkapazität zu verbessern. Ziel ist es, die landwirtschaftliche Produktion auch unter veränderten klimatischen Bedingungen nachhaltig und wirtschaftlich zu gestalten.

Die Nationale Wasserstrategie bietet Ansätze, um die Landwirtschaft zukunftsfähig zu gestalten und gleichzeitig einen wichtigen Beitrag zum Schutz der Wasserressourcen zu leisten. Die Landwirtschaft wird dabei als aktiver Teil der Lösung zur langfristigen Sicherung der Wasserressourcen betrachtet.

Weiterführende Informationen finden Sie hier:

[www.praxis-agrar.de/
wasser-landwirtschaft](http://www.praxis-agrar.de/wasser-landwirtschaft)





2 Die Auswirkungen des Klimawandels auf die Landwirtschaft

Dr. Cathleen Frühauf, Deutscher Wetterdienst – Zentrum für Agrarmeteorologische Forschung

2.1 Entwicklung des Klimas

Die zurückliegenden Jahre haben eindrucksvoll gezeigt, wie stark die Niederschlagsverhältnisse variieren können. Abbildung 3 zeigt die Abweichungen der Sommerniederschläge (oben) und der Temperaturen (unten).

Seit den 90er-Jahren des letzten Jahrhunderts liegen die Sommertemperaturen konstant über dem vieljährigen Mittelwert (1960 bis 1990 = 16,3 °C). Besonders hohe Werte wurden in den Jahren 2003, 2018, 2019 und 2022 beobachtet. Es wird in

Deutschland also immer wärmer (Abbildung 3).

Was bedeutet das für die Landwirtschaft?

Bei höheren Temperaturen steigt, wenn ausreichend Wasser im Boden verfügbar ist, die Transpiration der Pflanzen und damit auch ihr Wasserverbrauch. Die Bodeneigenschaften entscheiden darüber, wie viel Wasser im Boden gehalten und welcher Anteil davon von den Pflanzen genutzt werden kann. Steht in der Vegetationsperiode nicht mehr ausreichend Wasser für die Pflanzen zur Verfügung, tritt Trockenstress auf. Ist eine ertragswichtige Entwicklungsphase von der

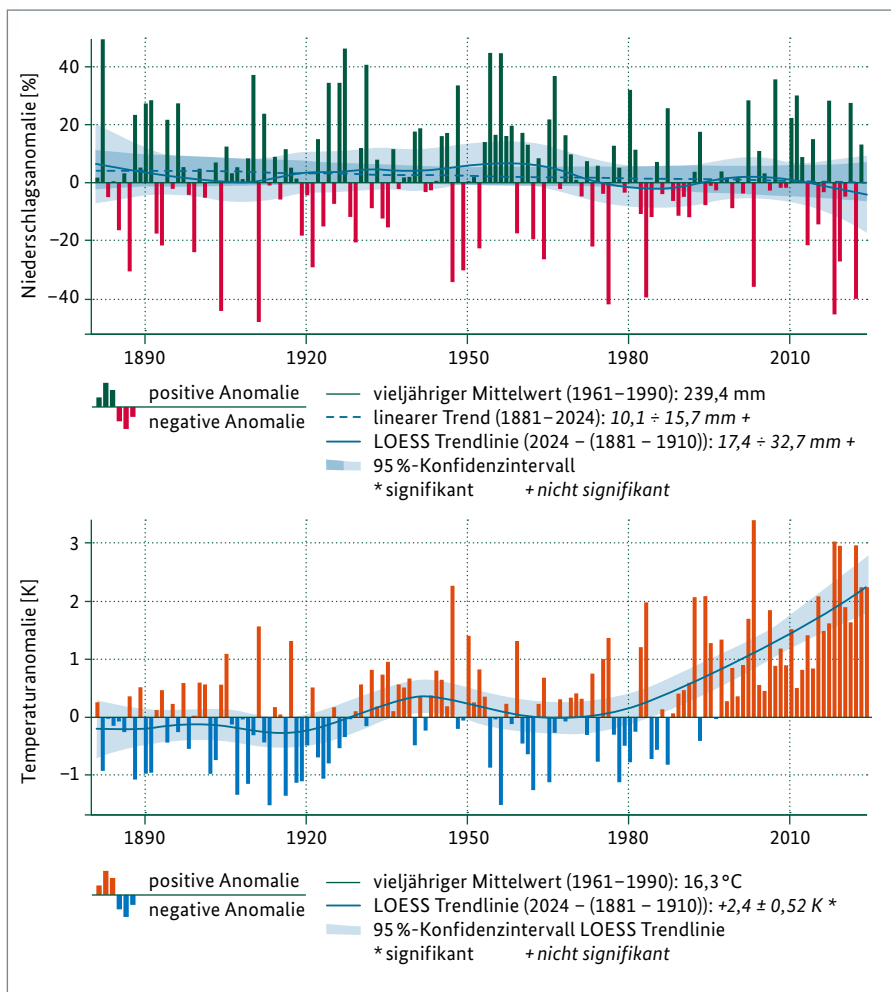


Abbildung 3: Abweichung der Niederschläge in Prozent (oben) und Temperaturen in Kelvin (K) (unten) im Sommer vom vieljährigen Mittelwert 1961 bis 1990.

Trockenheit betroffen, kann dies negative Auswirkungen auf den Ertrag haben. Besonders im Zeitraum Mitte März bis Mitte Mai sind ausreichende Niederschläge sowohl für Winter- als auch für Sommerkulturen wichtig. Bei den Winterkulturen erfolgt dann der stärkste Biomassezuwachs und die Sommerkulturen benötigen zur

Keimung und weiteren Entwicklung ausreichend Bodenfeuchte in der obersten Bodenschicht.

Seit 1881 sind die Niederschlagsmengen im Sommer leicht zurückgegangen ($-10,1 \pm 15,7 \text{ mm}$, statistisch nicht signifikant). Im Winter erfolgte jedoch ein deutlicher



Abbildung 4: Bodenerosion ist ein häufiges Problem bei nicht ausreichender Bodenbedeckung und intensiven Regenereignissen.

Anstieg ($+50,6 \pm 14,3$ mm, statistisch signifikant, siehe Abbildung 3), wobei die Niederschläge aufgrund der milderen Temperaturen meist als Regen fallen. Um dieses Wasser in den folgenden Monaten nutzen zu können, ist eine Speicherung und gezielte Versickerung in die Böden notwendig. Bei nicht ausreichender Bodenbedeckung tritt Bodenerosion auf, was einen erheblichen ökologischen und wirtschaftlichen Schaden bedeutet (Abbildung 4).

Die hohen Niederschlagsmengen führen gleichzeitig dazu, dass die Nährstoffe in tiefere Bodenschichten verlagert werden. Sie stehen dann den Pflanzen nicht mehr zur Verfügung und können ins Grundwasser gelangen.

2.2 Pflanzenbau im Klimawandel

Die immer weiter zunehmenden Konzentrationen der Treibhausgase in der Atmosphäre, wie beispielsweise Kohlenstoffdioxid (CO_2), führen zu einer stärkeren globalen Erwärmung. Der Klimawandel hatte anfangs nur positive Auswirkungen auf die Landwirtschaft in Deutschland. Die höheren Temperaturen führten zu einem früheren Vegetationsbeginn im Jahr, einer längeren Vegetationsperiode und ermöglichten den Anbau wärmeliebender Kulturen.

Bei einer höheren CO_2 -Konzentration in der Atmosphäre bilden C3-Pflanzen, zu denen viele landwirtschaftliche Kulturen

wie Getreide, Zuckerrübe und Winterraps gehören, bei ausreichender Wasser- und Nährstoffverfügbarkeit mehr Biomasse und Ertrag. Zudem steigt die Wassernutzungseffizienz, da das für die Photosynthese notwendige CO₂ leichter und schneller aufgenommen werden kann und die gleichzeitige Wasserabgabe durch die Spaltöffnungen geringer ist.

Inzwischen werden zunehmend Witterungsextreme wie Trockenheit, Nässe, Hitze oder Spätfröste beobachtet. Gleichzeitig hat sich die Niederschlagsverteilung verändert. Durch den früheren Vegetationsbeginn treten frostempfindliche Entwicklungsphasen wie beispielsweise die Obstblüte früher im Jahr auf – die Gefahr für Spätfrost nimmt zu.

Durch den Klimawandel verändern sich die Anbaubedingungen in Deutschland. Neben den im Mittel steigenden Temperaturen ist mit einer größeren Variabilität vor allem beim Niederschlag zu rechnen. Auf diese Veränderungen muss sich die Landwirtschaft einstellen und vorbereiten.

Fakten

- Zukünftig ist ein vermehrtes Auftreten von Extremwetterereignissen wahrscheinlich.
- Im Sommer ist davon auszugehen, dass sich Hitzeperioden und Starkregenereignisse abwechseln.
- Häufigere stabile (stationäre) Wetterlagen mit längeren Verweilzeiten von Tief- (Dauerregen, Hochwasser) und Hochdruckgebieten (Hitzeperioden, Dürre) führen zu einer Verschärfung extremer Wettersituationen.
- Eine Anpassung an die zu erwartenden Auswirkungen des Klimawandels ist unerlässlich.

Konkrete Anpassungsmaßnahmen werden in den folgenden Kapiteln vorgestellt.

Weiterführende Informationen finden Sie hier:

[www.praxis-agrar.de/
wasser-landwirtschaft](http://www.praxis-agrar.de/wasser-landwirtschaft)





3 Perspektiven und Herausforderungen der landwirtschaftlichen Wasserentnahme

Ulrich Ostermann, Kreisverband der Wasser- und Bodenverbände Uelzen

Die landwirtschaftliche Bewässerung steht in direkter Konkurrenz mit der Wassernutzung für Industrie und Gewerbe. Allerdings ist die landwirtschaftliche Beregnung gemäß Paragraf 50 des Wasserhaushaltsgesetzes der öffentlichen Wasserversorgung für die Bevölkerung einschließlich der Lieferung von Wasser für gewerbliche und industrielle Zwecke nachgeordnet. Insbesondere Trinkwasser – etwa als Getränk, zur Nahrungszubereitung, Körperpflege oder Reinigung – hat dabei

Vorrang. In den meisten Bundesländern sind daher die tiefer liegenden und besser geschützten Grundwasservorkommen der Trinkwasserversorgung vorbehalten. Für die Feldberegnung bleiben damit häufig nur Oberflächengewässer und die oberen Grundwasserleiter als Wasserquellen verfügbar.

Diese Einschränkungen führen zu Zielkonflikten, wenn die Wasserentnahmen zu ökologischen Nachteilen für Flora und

Fauna führen. Fielen die oberflächen-nahen Grundwasserspiegel durch die Entnahmen oder gehen die Abflüsse in Gewässer zurück, würden (grundwasser-) abhängige Landökosysteme beeinträchtigt. Daher steht das Grundwasser als eigentlich primäre Wasserquelle häufig nicht oder nur eingeschränkt zur Verfügung.

Der Bewässerungsbedarf steigt

Nach Einschätzungen in der Nationalen Wasserstrategie 2023, auf Grundlage der Klimawirkungs- und Risikoanalyse 2021 (Kahlenborn et al. 2021), steigt der Bewässerungsbedarf aufgrund der bisherigen klimatischen Bedingungen in Deutschland im Durchschnitt geringer als in vielen anderen Regionen der Welt. Allerdings hat sich der Bewässerungsbedarf durch den Klimawandel in den letzten Jahren erhöht. Prognosen zeigen, dass der Bedarf für die landwirtschaftliche Beregnung/Bewässerung bis 2100 erheblich steigen wird. So wird in einigen Regionen Deutschlands, wie beispielsweise im Nordosten Niedersachsens, ein Anstieg um 30 Prozent bis zum Ende des Jahrhunderts erwartet (Fritsch et al. 2021, 257).

Dann lassen sich die erforderlichen Wassermengen nicht mehr ausschließlich aus den vorhandenen Oberflächenwasser- und Grundwasservorkommen decken. Angesichts dessen muss sich die Landwirtschaft frühzeitig mit weiteren potenziell verfügbaren Wasserquellen und den rechtlichen Rahmenbedingungen zur Wasserentnahme auseinandersetzen.

3.1 Rechtliche und fachliche Rahmenbedingungen zur Wasserentnahme

Die landwirtschaftliche Wasserentnahme erfolgt primär aus Oberflächengewässern und den oberen Grundwasserleitern. Für die Entnahmen sind nach dem Wasserhaushaltsgesetz des Bundes (2010) grundsätzlich wasserrechtliche Erlaubnisse entsprechend den Paragraphen 11 bis 14 erforderlich. Für die Anträge gelten landesspezifische Anforderungen, die in einigen Bundesländern durch Vorgaben für die zulässigen jährlichen Gesamtentnahmemengen aus den einzelnen Grundwasserkörpern spezifiziert werden.

Vor dem Beginn der Planungen für Wasserentnahmen ist es wichtig, mit den zuständigen Wasserbehörden (in der Regel Untere Wasserbehörden) die Anforderungen für die Wasserrechtsanträge abzustimmen. Die Wasserbehörden können einschätzen, in welchem Umfang nach regionalen oder landesweiten Vorgaben Wasser (noch) zur Verfügung steht und welche Erfolgsaussichten ein Antrag hat.

Außerdem informieren die Wasserbehörden über den Umfang der Antragsunterlagen, bestimmen über die erforderlichen Nachweise zum Wasserbedarf sowie die Anforderungen zum Brunnenbau. Diese sind:

- die erforderlichen Nachweise zum Wasserbedarf,
- die maßnahmenspezifischen Anforderungen beispielsweise zum Brunnenbau,
- der Umfang benötigter Gutachten (Hydrologie, Naturschutz, Bodenkunde) und Fachbeiträge (Flora-Fauna-Habitat-Richtlinie, Wasserrahmenrichtlinie).

Die Wasserbehörden geben auch an, welche Anforderungen an Gutachten, Monitoring und an die Umweltverträglichkeitsprüfung gestellt werden. Die frühzeitige Abstimmung mit den Wasserbehörden ist wegen der erforderlichen großen Investitionen wichtig, insbesondere für den Brunnenbau. Der Umfang der Gutachten und Nachweise orientiert sich an den Mengenschwellen des Gesetzes zur Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPG) (BMJV 2024).

Gleichartig wirkende Entnahmen, die in einem räumlichen Zusammenhang stehen, haben regelmäßig eine kumulierende Wirkung auf den Wasserhaushalt. Daher sollten ihre Auswirkungen gemeinsam untersucht werden. Für die Prüfung der Umweltverträglichkeit müssen die Antragstellerin oder der Antragsteller der Wasserbehörde alle dafür erforderlichen Unterlagen vorlegen. Die Anforderungen steigen mit den jeweiligen Mengenschwellen, sodass der Umfang der Gutachten (Hydrologie, Naturschutz, Bodenkunde) und Fachbeiträge (Flora-Fauna-Habitat Richtlinie, Wasser-rahmenrichtlinie WRRL) sowie das regelmäßig erforderliche Monitoring von den erforderlichen/beantragten (Berechnungs-) Wassermengen abhängig ist.



Abbildung 5: Über Wasseruhren (oben im Bild) kann die Entnahmemenge kontrolliert werden.

Die Entnahme von Wasser muss regelmäßig überwacht werden, abhängig von den erforderlichen beziehungsweise beantragten Wassermengen. Es gibt für die Überwachung der Entnahmen keine generellen Regeln. Der Umfang und die Qualitätsanforderungen des Monitorings hängen von den Entnahmemengen und den Auswirkungen auf die Umwelt ab, die Anforderungen steigen also mit der Menge und werden von der Wasserbehörde festgelegt. Grundsätzlich reicht die Spanne von eichfähigen (aber ungeeichten) Wassermengensmessern (-uhren) (Abbildung 5) an

Tabelle 1: Mengenschwellen (in Kubikmetern pro Jahr) der Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) (BMJV 2024, Anhang 1 – Nr. 13.3.1 bis 13.3.3).

UVPG – Mengenschwelle		Art der Prüfung
S	5.000 – 100.000 m³/a	Standortbezogene Vorprüfung
A	100.000 – 10 Millionen m³/a	Allgemeine Vorprüfung
V	> 10 Millionen m³/a	Verbindliche Prüfpflicht
K	Kumulierende Entnahmen	Prüfung nach S, A oder V je nach Gesamtmenge

den Entnahmepunkten bis zu geeichten Wassermengennessern und Kontrollbrunnen zur Messung der Grundwasserstände im Einzugsgebiet der Entnahme.

3.2 Wasserherkünfte für die Landwirtschaft

Als Wasserquellen für die Beregnung werden bisher primär Oberflächengewässer und Grundwasservorkommen genutzt. Die wissenschaftlichen Bedingungen (beispielsweise Qualität, verfügbare Mengen oder geeignete Oberflächengewässer und Grundwasserleiter) dafür werden von den Fachbehörden der Bundesländer festgelegt und von den Wasserbehörden in den Wasserrechtsverfahren fachrechtlich berücksichtigt. Soweit sich die Entnahmen aus den Wasserkörpern regional und standortbezogen im Rahmen der zulässigen Mengen bewegen, werden die Wasserrechte nach den oben beschriebenen Regeln erteilt.

Die Auswirkungen des Klimawandels führen in den nächsten Jahrzehnten und teilweise schon heute dazu, dass sich der Wasserhaushalt verändert, weil sich die Grundwasserneubildung ändert und/oder sich die Abflüsse in den Gewässern verringern und jahreszeitlich verschieben. Neben den temperaturabhängig höheren Bedarfen führt dies dazu, dass die bisherigen Wasserentnahmen nicht mehr erweitert werden können, sodass andere Wasserquellen genutzt und auch der Wasserhaushalt stabilisiert werden müssen.

Aktuell steht der Landwirtschaft Wasser aus primär natürlichen Wasserherkünften zur Verfügung, aber alternative Wasserquellen werden zukünftig an Bedeutung gewinnen.

3.2.1 Natürliche Wasserquellen

Regenwasser

Regenwasser ist die primäre Wasserquelle für die Landwirtschaft. Es kann effektiv genutzt werden, wenn beispielsweise Regenwasserauffangsysteme errichtet werden. So wird das Wasser in Zeiten hoher Niederschläge gespeichert und steht in trockenen Perioden zur Verfügung. Indem Regenwasser gesammelt und genutzt wird, kann die Abhängigkeit von anderen Wasserquellen verringert werden. Soweit eine Speicherung von Regenwasser technisch oder ökonomisch nicht sinnvoll ist, sollte es möglichst gezielt versickert werden, um die Grundwasserneubildung zu stärken und den Grundwasserhaushalt zu stabilisieren.

Grundwasser

Grundwasser ist eine weitere natürliche Wasserquelle, die durch Brunnen und Bohrungen erschlossen wird. Grundwasser bietet eine relativ konstante und zuverlässige Wasserversorgung, insbesondere in Regionen mit unregelmäßigen oder geringen Niederschlägen. Die Übernutzung von Grundwasserressourcen kann jedoch zu ernsthaften ökologischen Problemen führen, wie beispielsweise dem dauerhaften Absinken des Grundwasserspiegels. Die nachhaltige Nutzung des Grundwassers ist unerlässlich, sodass sich der Grundwasserspiegel in den Wintermonaten erholen kann und das langjährige Mittel ausgeglichen bleibt.

Oberflächenwasser

Oberflächenwasser, das aus Flüssen, Seen und Stauseen gewonnen wird, zählt auch zu den natürlichen Wasserherkünften und spielt ebenfalls eine wichtige Rolle in der Landwirtschaft. Der Zugang zu Oberflächenwasser kann jedoch durch saisonale Schwankungen, Umweltauflagen und Konkurrenz mit anderen Nutzern eingeschränkt sein. Die Nutzung von Oberflächengewässern hat oft zur Folge, dass relativ lange Versorgungsleitungen zu den Ackerflächen verlegt werden müssen.

3.2.2 Alternative Wasserquellen

Wie eingangs erklärt, wird in vielen Regionen Deutschlands langfristig der Bewässerungsbedarf nicht mehr über die vorhandenen Oberflächen- und Grundwasservorkommen gedeckt werden können. Daher sollte ein möglichst ganzheitlicher Ansatz in der Landwirtschaft zur Verbesserung der Wasserresilienz angestrebt werden.

Neben Maßnahmen zur Verbesserung des Boden- und Landschaftswasserhaushalts (Kapitel 4) und Einsparmöglichkeiten bei der Wasserverwendung, wie beispielsweise durch den Einsatz von Tropfschläuchen oder Kreisberegnung, sind alternative Wasserquellen ein vielversprechender Ansatz. Ein Beispiel ist Niedersachsen, wo deutschlandweit am meisten landwirtschaftliche Fläche bewässert wird. Die Beregnung in der Region Lüneburg/Uelzen wird durch Wasser aus einer Zuckerfabrik gestützt, das jährlich in einer Größenordnung von rund 1,4 Millionen Kubikmetern anfällt.

Nutzung von Klarwasser aus Kläranlagen

Deutschlandweit könnten aus Kläranlagen jährlich mit über einer Milliarde Kubikmetern Wasser erhebliche Mengen verfügbar gemacht werden. In der Praxis ist die anfallende Wassermenge für Bewässerungszwecke jedoch geringer, da ein Großteil des gereinigten Wassers in den Wasserkreislauf zurückgeführt werden muss. Die Nutzung von Klarwasser aus Kläranlagen zählt zu den alternativen Wasserquellen, sie ist im Einzelfall und unter jeweils spezifischen Bedingungen möglich.

Unter der Nutzung von Klarwasser ist die Verwendung von aufbereitetem Abwasser zu verstehen, das in Kläranlagen gereinigt wurde, um es für landwirtschaftliche Zwecke oder beispielsweise die Bewässerung von Grünflächen nutzbar zu machen. Seit 2023 wird die landwirtschaftliche Bewässerung mit aufbereitetem Abwasser durch die EU-Verordnung über *Mindestanforderungen für die Wasserwiederverwendung* geregelt (EU 2020/741). Ergänzende nationale Vorgaben, die dem Ziel dienen, ein in Deutschland akzeptables Mindestmaß an Gesundheitsschutz und Sicherheit für Erzeuger und Verbraucher gleichermaßen zu garantieren, befinden sich derzeit in Erarbeitung.

Übergeordnetes Ziel ist die Gewährleistung eines umfassenden Schutzes der Sicherheit für Mensch, Tier und Umwelt. Die große Herausforderung dabei ist, die qualitative Aufbereitung des Wassers auf die Anforderungen seiner Verwendung abzustimmen, sodass Risiken für die Wassernutzenden in der Anwendung und in der Vermarktung der landwirtschaftlichen Produkte kategorisch ausgeschlossen werden. Es bedarf daher einer Festlegung von Mindestanforderungen

an Güte, Qualität und Beschaffenheit des aufbereiteten Wassers für die jeweiligen Einsatzzwecke in Deutschland. Zudem sollten nach aktuellem Stand der Wissenschaft und Technik bestimmte sensible Anwendungsbereiche grundsätzlich von der Bewässerung mit aufbereitetem Abwasser ausgenommen werden.

Im Kontext der Nutzung aufbereiteter Abwässer braucht es zudem klare Regeln hinsichtlich des Zugangs zu Wasserressourcen in Zeiten zunehmenden Wassermangels. So müssen mögliche Nutzungskonkurrenzen zwischen der landwirtschaftlichen Bewässerung und anderen bedeutenden Nutzungsarten vermieden werden.

Mit der EU-Verordnung (EU 2020/741) zu Water Reuse wird die Wiederverwendung von Wasser aus Kläranlagen für die landwirtschaftliche Bewässerung geregelt. Die dort festgelegten Mindestanforderungen an die Wasserqualität gelten seit 2023. Ergänzende Regelungen für Deutschland werden derzeit erarbeitet. Diese dienen dem Ziel, ein in Deutschland akzeptables Mindestmaß an Gesundheitsschutz und Sicherheit für Erzeugende und Verbrauchende gleichermaßen zu garantieren und möglichen Nutzungskonkurrenzen vorzubeugen.

Entscheidend für den Einsatz von aufbereitetem Abwasser wird auch die Frage sein, wie der Bau und Betrieb der zusätzlichen Wasseraufbereitung finanziert werden können. Es ist zu erwarten, dass zunächst die Kläranlagen im ländlichen Raum wegen der Nähe zu den landwirtschaftlichen Flächen eine größere Rolle spielen werden. Seitens der Erzeugenden werden neben der Abschätzung möglicher Risiken zweifellos

auch wirtschaftliche Erwägungen entscheidend sein, ob sich eine nennenswerte Nachfrage nach alternativen Wasserressourcen etabliert.

Nutzung von aufbereitetem Wasser aus Industrie und Gewerbe

Bereits genutztes Wasser kann einer weiteren Verwendung in der Landwirtschaft zugeführt werden (*Water Reuse*). Voraussetzungen dafür sind eine ausreichende Menge, geeignete Qualität sowie gegebenenfalls technische Maßnahmen zur Aufbereitung oder Zwischenspeicherung. Dadurch wird vermieden, dass dieses Wasser in Gewässer eingeleitet wird. Die Nutzung von Wasser aus Industrie und Gewerbe erfolgt bisher nur in Einzelfällen.

Für die Aufbereitung von Wasser aus Industrie und Gewerbe sind primär Wässer aus der Lebensmittelverarbeitung geeignet, da sie in der Regel nur mit Inhaltsstoffen aus den jeweiligen Produkten belastet sind: Die Inhaltsstoffe des Wassers sind somit häufig Nährstoffe wie Kalium, Stickstoff oder Phosphat. Wird dieses Wasser für die Beregnung genutzt, können Mineral- oder Wirtschaftsdünger zumindest teilweise ersetzt werden und müssen bei der Düngplanung berücksichtigt werden, sofern wesentliche Nährstoffmengen gemäß Paragraph 2 Düngeverordnung (DüV) auf den Schlägen ausgebracht werden.

Für die Nutzung von Klarwasser aus Kläranlagen und aufbereitetem Wasser in der Landwirtschaft sind Qualität und Inhaltsstoffe des verfügbaren Wassers sowie die erforderliche Aufbereitung entscheidend.



Abbildung 6: Der Wasserspeicher Borg mit 440.000 Kubikmetern des Bewässerungsverbands Uelzen speichert Wasser aus der Zuckerfabrik in Uelzen.

Ein Beispiel für die Verwendung von Wässern aus der Nahrungsmittelproduktion ist die Nutzung von Wasser aus der Zuckerfabrik in Uelzen, Niedersachsen. Bei der Verarbeitung der Zuckerrüben fallen im Herbst und Winter große Wassermengen an, die in drei Speicherbecken (Abbildung 6) zurückgehalten werden. Dadurch stehen im folgenden Frühjahr und Sommer rund 1,4 Millionen Kubikmeter Wasser für die landwirtschaftliche Beregnung zur Verfügung. Der Grundwasserhaushalt im östlichen Teil des Landkreises Uelzen wird damit entlastet. Die mit dem Wasser auf die Äcker aufgebrachten Nährstoffe werden von den Landwirtinnen und Landwirten bei der Düngplanung berücksichtigt.

Herausforderungen beim Bau solch großer Wasserspeicher sind die Finanzierung und die Organisation der Wasserverwendung aus den Speichern. Gedichtete Wasserspeicher in einer Größe von rund 500.000 Kubikmetern kosteten 2025 zwischen 10 und 20 Euro pro Kubikmeter Speicherraum, sodass für die Errichtung öffentliche Fördermittel erforderlich werden. Die Verwendung des Wassers für die Beregnung lässt sich aufgrund der großen Mengen nur in Form von Beregnungsverbänden organisieren. Für kleine Speicher in einer Größenordnung unter etwa 50.000 Kubikmetern sind auch einzelbetriebliche Lösungen denkbar.

Grundwasseranreicherung

Die Grundwasseranreicherung bezeichnet Verfahren, die darauf abzielen, den Grundwasserspiegel und damit die verfügbare Grundwassermenge durch gezielte Wasser-einbringung in den Boden zu erhöhen. Sie setzt voraus, dass die verfügbaren Wassermengen chemisch-physikalisch geeignet sind und die Auswirkungen der versickerten Wassermengen auf Wasserhaushalt und -stände mit einem hydrogeologischen Modell untersucht werden können.

Eine Grundwasseranreicherung kann grundsätzlich mit chemisch-physikalisch geeignetem Wasser durch die Versickerung von bereits verwendetem Wasser wie Kühlwasser oder unbelastetem Prozesswasser aus Gewerbe/Industrie auf geeigneten Standorten erfolgen. Beim Prinzip der Grundwasseranreicherung versickert gezielt Regenwasser oder aufbereitetes Abwasser in den Boden, um die natürliche Grundwasserneubildung zu fördern.

Bei der Anreicherung wird der Grundwasserkörper als Wasserspeicher genutzt und der mengenmäßige Zustand des Grundwasserkörpers verbessert. Die zusätzlichen Wassermengen können durch geeignete Brunnen teilweise wieder entnommen werden. Durch das Anlegen von Rückhalte- und Speicherbecken (Abbildung 6), Versickerungsanlagen oder Gräben wird dieser Prozess unterstützt. Die Grundwasseranreicherung mit aufbereitetem Abwasser wird bisher jedoch nur in einem Ausnahmefall in Niedersachsen angewendet. Es ist dennoch absehbar, dass das Verfahren zukünftig an Bedeutung gewinnen wird, wenn die qualitativen Aspekte beherrschbar sind.

Neben der Grundwasseranreicherung mit geeignetem Wasser kann die Grundwasserneubildung auch durch den Umbau von Nadelwaldbeständen in Laub- oder Mischwälder verbessert werden.

Weiterführende Informationen
finden Sie hier:

[www.praxis-agrar.de/
wasser-landwirtschaft](http://www.praxis-agrar.de/wasser-landwirtschaft)





4 Gestaltung resilienter Flächen – Wasserrückhalt und Mikroklima verbessern

Klimawandelbedingt ist nicht nur mit steigenden Temperaturen zu rechnen. Auch die Häufigkeit von Wetterereignissen wie Starkregen, Hagel und Trockenheit wird steigen. Daher muss sich die Landwirtschaft in den nächsten Jahren nicht nur auf einen erhöhten Bewässerungsbedarf, zunehmende Trockenheit und zeitweise auftretende Wasserknappheit einstellen. Ebenfalls heißt es, Flächen vor Starkregen und Hochwasser zu schützen. Dabei ist das Ziel, große Niederschlagsmengen in kurzer Zeit in der Fläche zu binden und Erosion zu vermeiden. Gleichzeitig kann Wasser in der Landschaft gezielt (ab)geleitet werden,

durch Vegetation das Mikroklima in der Landschaft beeinflusst und Windgeschwindigkeiten abgeschwächt werden, wodurch auch Winderosion verringert wird.

Dieses Kapitel stellt eine Auswahl von Maßnahmen vor, die sowohl auf Landschaftsebene als auch auf betrieblicher Ebene umgesetzt werden können. Der Schwerpunkt liegt auf Maßnahmen des vorsorgenden Wasser- und Bodenmanagements. Dabei stehen sie teilweise in Wechselbeziehungen zueinander und können sich in Kombination miteinander positiv verstärken. Ergänzend werden ausgewählte Maßnahmen

vorgestellt, wie indirekt mehr Wasser auf landwirtschaftlichen Flächen zur Verfügung stehen kann. Ziel der vorgestellten Maßnahmen ist es, zu verdeutlichen, dass durch eine geeignete Bewirtschaftung Flächen an den Klimawandel angepasst werden können.

4.1 Land(wirt)schaft und Wasserrückhalt

Corinna Friedrich, Deutscher Verband für Landschaftspflege (DVL) e. V.

4.1.1 Land(wirt)schaft und Extremwetterereignisse

Die Landwirtschaft ist stärker vom Wetter abhängig als andere Branchen. Extremwetterereignisse wie Stark- und Dauerregen oder Dürren als Folgen des Klimawandels (Kapitel 2) können von Ernteeinbußen bis zu erheblichen ökonomischen Verlusten führen. Es sind aber nicht alle Betriebstypen gleichermaßen betroffen. Landwirtinnen und Landwirte können Maßnahmen ergreifen, um das Risiko zu vermindern und ihre Resilienz zu stärken. Gleichzeitig ist die Agrarlandschaft selbst eine wichtige Stellschraube zur Abmilderung der Folgen von Extremwetterereignissen für Landwirtschaft, Siedlungen und Infrastruktur. Die Hälfte der Fläche der Bundesrepublik wird landwirtschaftlich genutzt (Destatis 2025). Damit ergibt sich ein großes Potenzial, den natürlichen Wasserrückhalt in der Agrarlandschaft zu verbessern: durch Landnutzungs- und Bewirtschaftungsmaßnahmen sowie den Um- oder Rückbau von Entwässerungsgräben und Drainagen. Werden sie umgebaut, können sie auch dem Wasserrückhalt oder zur Bewässerung dienen.

4.1.2 Den Wasserrückhalt in der Landschaft verbessern

Stark- und Dauerregen führen zu einem höheren Oberflächenabfluss, der mit einer verstärkten Wassererosion einhergeht. Fruchtbarer Humus geht verloren, die Bodenqualität verschlechtert sich und die Wasserspeicherkapazität des Bodens nimmt ab. Grund hierfür ist, dass Humus (organische Substanz des Bodens) das Drei- bis Fünffache seines Gewichtes an Wasser speichern kann (Blume et al. 2010, 69). Dürren verursachen eine Abnahme der Wasservorräte im Oberboden und bei längerer Dauer auch im Grundwasser. Trockene Böden sind zudem anfällig für Winderosion, die ebenfalls mit Humusverlust einhergeht.

Ziel ist deshalb die Gestaltung von Landschaften, in denen Oberflächenabflüsse reduziert werden und stattdessen mehr Wasser versickert, das im Boden und Grundwasser gespeichert wird. Diese Landschaften können bei hohem Wasseraufkommen beispielsweise durch Stark- und Dauerregen oder bei der Schneeschmelze im Frühjahr mehr Wasser aufnehmen. Dadurch werden negative Auswirkungen wie Erosion, Schlammlawinen, Hochwasser und Überschwemmungen abgemildert und bestenfalls ganz vermieden. In niederschlagsarmen Phasen steht das gespeicherte Wasser für Pflanzen und Menschen zur Verfügung. Dieses Ziel ist auch in der Nationalen Wasserstrategie für das Jahr 2050 formuliert: „Das Wasser wird möglichst lange in der Fläche zurückgehalten, Boden- und Landschaftswasserhaushalt sind stabilisiert (Ausgleich zwischen Niederschlags- und Trockenphasen).“



Abbildung 10: Eine strukturreiche Agrarlandschaft mit vielen Landschaftselementen reduziert Oberflächenabfluss, Erosion und fördert den Wasserrückhalt.

Entwässerungsgräben und Drainagen von land- und forstwirtschaftlichen Flächen sind weitest möglich zurückgebaut oder so umgebaut, dass sie auch dem Wasserrückhalt oder sogar der Bewässerung dienen können. Bewässerungsteiche (...) puffern den landwirtschaftlichen Wasserbedarf in Trockenphasen ab.“ (BMUV 2023, 29).

Strukturreiche Agrarlandschaft fördern

Für einen optimalen Wasserrückhalt sorgt eine **abwechslungsreiche, kleinstrukturierte Agrarlandschaft** mit vielen Landschaftselementen, kurzen Hanglängen und einem ausreichenden Anteil von Gehölzen, Sträuchern und Grünland (Abbildung 7). Denn dann verlaufen bei hohem Wasseranfall die Oberflächenabflüsse weniger in linearer Form, bei der sich Abflüsse konzentrieren. Stattdessen bilden sich dezentrale Abflüsse. Diese bewirken

geringere Fließgeschwindigkeiten, höhere Versickerung und weniger Erosion.

Bei dem landschaftsplanerischen Ansatz des **Keyline Designs** (Kapitel 4.4) werden Bearbeitungs- und Pflanzmuster (die Schlüssellinien, englisch: Keylines) so erstellt, dass Oberflächen- und Bodenvasser entlang der Geländekontur abfließt. Dadurch kann das Wasser besser einsickern und auch an trockene Stellen geleitet werden. Wird auf den modellierten Abflusslinien Vegetation gepflanzt, kann die Abflussgeschwindigkeit zusätzlich verringert und die Wasserinfiltration erhöht werden. Hecken, Feldgehölze und Bäume, ob als geschützte Landschaftselemente oder als produktionsintegrierte **Agroforstsysteme** (Kapitel 4.3), bieten Schutz vor Wasser- und Winderosion. Die Wurzeln tragen zum Humusaufbau bei und können

Wasser aus tieferen Schichten im System zur Verfügung stellen. Durch die vermehrte Wasserverdunstung (Evapotranspiration) von Boden und Gewässern (Evaporation) sowie Pflanzen (Transpiration) steigt der Wassergehalt in der Luft. Das Mikroklima wird kühler. Einige Studien und Modellierungen zeigen, dass dieser Effekt auf Landschaftsebene zu positiven Effekten von Aufforstungen auf die lokale Niederschlagswahrscheinlichkeit geführt hat. Durch die hohe Luftfeuchtigkeit kommt es zur Wolkenbildung und die Regenwahrscheinlichkeit steigt (Meier et al. 2021).

Auch die **Gewässer** spielen im Landschaftswasserhaushalt eine wichtige Rolle für die Grundwasserneubildung und die Evaporation. Die Renaturierung von begradigten Fließgewässern und überflutbaren Auen zielt darauf ab, Fließgeschwindigkeiten zu verringern und die Grundwasserneubildung zu fördern. Zusammenhängende Gewässerentwicklungskorridore können nicht nur Wasserrückhalt, Grundwasserneubildung und Stoffrückhalt positiv beeinflussen, sondern tragen auch zur Biodiversitätsförderung, Habitat-Konnektivität und Diversifizierung der Landschaft bei (Abbildung 8). Bei ehemaligen oder entwässerten Auengebieten kann eine Bachrenaturierung so dimensioniert werden, dass die Auen künftig mehrmals im Jahr überflutet werden.

Auch die **Wiedervernässung von Mooren** verbessert den Wasserrückhalt in Landschaften deutlich, weil die künstliche Ausleitung von Wasser über Drainagen angepasst und damit der Wasserstand wieder bis nahe an die Geländeoberfläche angehoben wird. Nasser Torf wirkt wie ein Schwamm: Er nimmt große Mengen



Abbildung 11: Extensiv bewirtschaftetes Dauergrünland in steilem Gelände mit Bachlauf. Steile, erosionsgefährdete Standorte sollten mit Grünland bewirtschaftet werden um Erosion zu vermeiden.

Wasser auf, speichert es langfristig und gibt es nur langsam wieder ab. Somit wird der regionale Wasserhaushalt stabilisiert. Gleichzeitig sinken die Zersetzungsprozesse im Torf, wodurch weniger Nährstoffe und Treibhausgase freigesetzt werden. Die Wiedervernässung ist daher nicht nur eine Klimaschutzmaßnahme, sondern auch ein wirksamer Beitrag zur Wasserspeicherung in der Landschaft (Buschmann et al. 2023).

Auen und Moore sind wichtige Rückhalteräume, die Hochwasserspitzen am unteren Flusslauf verzögern und abmildern können. Diese Form der Hochwasservorbeugung führt allerdings in vielen Fällen zu veränderten Betriebsabläufen und Nutzungsmöglichkeiten für die landwirtschaftlichen Betriebe. Diese Flächen können

mit speziellen Beweidungskonzepten und angepassten Rassen wie Heckrindern, Galloways, Dexter oder Fjäll-Rindern beweidet werden. Auf Moorflächen mit hohen Wasserständen können Paludikulturen wie Schilf oder Rohrkolben angebaut und mit Spezialmaschinen mit breiten Reifen oder Kettenlaufwerk bewirtschaftet werden (DVL 2021a).

So entstehen wasserreiche Ökosysteme, die nicht nur resilienter gegenüber Trockenheit und Starkregen sind, sondern durch die hohe Verdunstung über nassen Flächen auch einen lokal abkühlenden Effekt auf die Landschaft haben.

4.1.3 Einflussfaktoren der landwirtschaftlichen Nutzung auf die Wasserinfiltration

Die Wasserdurchlässigkeit des Bodens wird einerseits von den regional vorherrschenden Bodeneigenschaften wie Bodenart, Humusgehalt, Lagerungsdichte, Porengrößenverteilung und hydraulische Wasserleitfähigkeit beeinflusst, andererseits von der aktuellen und vergangenen Nutzung und Bewirtschaftung der Böden. Das Umweltbundesamt hat in einer Studie die Einflussfaktoren landwirtschaftlicher Bewirtschaftung auf die Wasserinfiltration nach ihrer Bedeutung identifiziert (Beisecker et al. 2020):

1. Nutzung,
2. Oberflächenverschlammung und Bodenbedeckung,
3. Makroporen,
4. Bodenbearbeitung,
5. Bodenverdichtung,
6. Anbauverfahren,
7. Humusgehalt und Hydrophobie.

Die **Landnutzung** ist die wichtigste Einflussgröße für die Wasserinfiltration. Die Kapazität zur Wasserinfiltration nimmt von Wald oder Gehölzen über Grünland hin zur Ackernutzung ab. Verschlammte Böden ermöglichen eine deutlich verringerte Wasserinfiltration. Die **Oberflächenverschlammung** wird neben den Faktoren Bodenart, Humusgehalt und mikrobieller Aktivität vor allem von der **Bodenbedeckung** beeinflusst. Ab einem Bedeckungsgrad von 30 Prozent können wesentliche Verbesserungen bei der Infiltration erzielt werden, weshalb auf landwirtschaftlichen Nutzflächen eine ganzjährige Bodenbedeckung angestrebt werden sollte.

Auch **Makroporen** beeinflussen die Wasserrückhaltefähigkeit. Bei Starkregenereignissen erhöhen Porenkontinuität und Durchgängigkeit der Poren bis zur Bodenoberfläche die Wasserinfiltration. Bei Dauerregen ist die Wirkung aber vernachlässigbar, da hier die Wassersättigung des Bodens entscheidend ist. In der Landwirtschaft können die Bildung und der Erhalt von Makroporen beispielsweise durch konservierende Bodenbearbeitung, Anbaukulturen mit tief reichenden Pfahlwurzeln und organische Strukturen an der Bodenoberfläche (Mulch und ähnliches) gefördert werden.

Der Verzicht oder die Minimierung von wendender **Bodenbearbeitung** über einen mehrjährigen Zeitraum können die Wasserinfiltrationskapazität erhöhen. Bodenschonende Bearbeitung verbessert die Anzahl und Kontinuität der Makroporen und unterstützt zudem den Erhalt der organischen Substanz im Oberboden.

Dichtere Böden vermindern die Wasserinfiltration in den Oberboden, da sie ein niedrigeres Porenvolumen haben. Die **Verdichtung** verschlechtert außerdem die Bedingungen für Pflanzen durch eine geringere Wasser- und Sauerstoffversorgung sowie ein erschwertes Wurzelwachstum. Die Bodenverdichtung auf landwirtschaftlichen Flächen entsteht durch mechanische Belastungen (wie Maschinen und Viehtritt), vor allem bei zu hoher Bodenfeuchte. Die Druckbelastung durch das Befahren mit schweren Maschinen kann beispielsweise durch weniger Bearbeitungsgänge, versetztes Befahren, Breitreifen, Reifendruckregelanlagen, leichtere landwirtschaftliche Maschinen und Bearbeitung nur bei optimaler Bodenfeuchte reduziert werden (Kapitel 4.2.2.6). Auf Grünland können angepasste Rassen mit geringem Gewicht und breiteren, flacheren Hufen sowie Weidekonzepte helfen. Auch der Einsatz kleiner Wiederkäuer wie Ziegen und Schafe helfen dabei, Verdichtung zu vermeiden. Ein gesundes Bodengefüge ist außerdem widerstandsfähiger gegenüber Verdichtung.

Bestimmte **Anbauverfahren** erhöhen die Infiltrationsleistung des Bodens. Hierzu zählen zum Beispiel vielfältige Fruchtfolgen, wiederkehrende Bodenruhe, Untersaaten oder Zwischenfruchtanbau, da sie das Bodengefüge verbessern. Auch eine regelmäßige Kalkung wirkt sich positiv auf die Bodenstruktur aus (Kapitel 4.2.2).

Ein weiterer Einflussfaktor auf den Wasserrückhalt sind **Humusgehalt** und **Hydrophobie**. Hydrophobie (altgriechisch: Wasserfurcht) bezeichnet die Benetzungshemmung des Bodens und ist stark von

der Bodenart, dem Humusgehalt und dem Ausgangswassergehalt abhängig. Umso trockener, sandiger und humusärmer ein Boden ist, desto eher tritt eine Benetzungshemmung auf, diese Böden sind hydrophob. Auf diesen Böden kann bei Starkregen nach längerer Trockenheit weniger Wasser infiltrieren, mehr Oberflächenabfluss tritt auf. Humusreiche Böden sind hydrophil (altgriechisch: wasserliebend). Somit haben diese Böden eine verbesserte Wasserinfiltration und können mehr Wasser bei Starkregen binden.

4.1.4 Praktische Umsetzung

Um mehr Maßnahmen zur Verbesserung des Wasserrückhaltes in die Fläche zu bringen, sind sowohl die einzelbetriebliche Sichtweise als auch eine regionale Betrachtungsweise wichtig.

Aus einzelbetrieblicher Sichtweise muss berücksichtigt werden, dass die landwirtschaftlichen Aktivitäten eng mit den rechtlichen Rahmenbedingungen und Förderungen der Gemeinsamen EU-Agrarpolitik verbunden sind. Sie wird aktuell in Deutschland über den Nationalen Strategieplan des Bundesministeriums für Landwirtschaft, Ernährung und Heimat (BMLEH) geregelt (BMEL 2024). In diesem sind bereits **Förderangebote** für Maßnahmen zum verbesserten Wasserrückhalt verankert, wie beispielsweise bodenschonende Bewirtschaftung oder Agroforstsysteme.

Um großmaßstäbliche und integrierte Maßnahmen auf Landschaftsebene umzusetzen, reicht die einzelbetriebliche Sichtweise nicht aus. In der Praxis sind großflächige Planungen aufgrund unterschiedlicher



Abbildung 12: Strukturreiche Agrarlandschaften erhöhen die Infiltrationsrate und verbessern den natürlichen Wasserrückhalt im Boden.

Eigentumsverhältnisse und Nutzungen sehr komplex. Besondere Chancen bieten hier Flurbereinigungs- oder Neuordnungungsverfahren. Generell ist eine **intensive interkommunale und regionale Zusammenarbeit** verschiedener Stakeholder aus Landwirtschaft, Regionalplanung, Wasserwirtschaft, Naturschutz und Tourismus notwendig. In dieser Herausforderung liegt gleichzeitig die Chance, Ressourcen zu bündeln. Durch die Entwicklung von Landschaften mit verbessertem Wasserrückhalt können landwirtschaftliche Erträge langfristig und nachhaltig gesichert werden. Darüber hinaus ergeben sich auch Vorteile für andere Bereiche. Hierzu zählen:

- Ertrags- und Ernährungssicherung,
- Biodiversitätsschutz,
- Klimaschutz,
- Boden- und Gewässerschutz,
- Sicherung der Grundwasserressourcen,
- verbessertes Mikroklima und
- Freizeitnutzung.

Wie es bereits gelingt, diese vielseitigen Interessen zu bündeln und überbetriebliche Maßnahmen praktisch umzusetzen, zeigen Projekte der deutschlandweit 200 Landschaftspflegeverbände, in denen auf freiwilliger Basis gleichberechtigt Landwirtschaft, Naturschutz und Kommunen zusammenarbeiten.

4.1.5 Anpassungsstrategien für landwirtschaftliche Betriebe

Um die Auswirkungen von Extremwetterereignissen abzumildern, können Betriebe mehrere Anpassungsstrategien beim Anbau, der gesamtbetrieblichen Ausrichtung und im Management verfolgen.

Großes Potenzial zur Prävention vor Dürren und Anpassungen an Stark- oder Dauerregen bieten Maßnahmen zur **Verbesserung des natürlichen Wasserrückhalts auf dem Betrieb**. Sie sind vielfältig und

können je nach Betriebstyp, Fläche und Fördermöglichkeiten individuell von den Betrieben angewandt werden. Auf Betriebsebene ist zunächst wichtig, standortangepasste Kulturarten auf erosionsgefährdeten Flächen anzubauen. Kleine Schläge, Hecken, Feldgehölze, Bäume und Grünlandflächen erhöhen die Infiltrationsrate (Abbildung 9).

Gleichzeitig können sie zu einer Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit beitragen. Zu den produktionsintegrierten Maßnahmen zählen etwa die bodenschonende Bewirtschaftung zur Förderung des Bodenlebens und des Humusaufbaus, die Anbaudiversifizierung oder die Anpassung von Kulturarten, Sorten und Fruchtfolgen (DVL 2021b). Die einzelbetrieblichen Maßnahmen werden im Kapitel 4.2 näher vorgestellt. Sie tragen in der Regel nicht nur zur Verbesserung des Schutzgutes Wasser bei, sondern entfalten häufig zugleich positive Synergieeffekte zum Umwelt-, Natur- und Klimaschutz.

Gegen Trockenheit werden in der Deutschen Ackerbaustrategie 2035 auch die **Bewässerung und Beregnung** empfohlen (BMEL 2021). Gleichzeitig wird darauf hingewiesen, dass die Nutzung von Grundwasser kritisch geprüft werden sollte, da eine Erweiterung der Bewässerungsflächen gegebenenfalls durch das regional verfügbare Wasserangebot begrenzt ist. Außerdem kann sich die Konkurrenz um Wasser zwischen verschiedenen Verbrauchern bis hin zu den Privathaushalten vielerorts verschärfen. Sofern möglich, kann überschüssiges Niederschlagswasser, beispielsweise von Stalldächern, in Bewässerungsteichen und Zisternen für trockene Zeiten gespeichert werden. Beide Verfahren sind aber kostspielig und zeitaufwendig, weshalb sie sich bisher auch aus ökonomischen

Gründen meist nur für ertragsstarke, bewässerungswürdige Kulturen eignen. Wichtig ist daher, neben technischen auch naturbasierte Lösungen umzusetzen, die mehr Wasser in den Böden speichern.

Eine weitere Strategie ist die **Diversifizierung**. Die Erschließung neuer Betriebszweige, ergänzend zur landwirtschaftlichen Urproduktion, senkt das unternehmerische Risiko bei Extremwetterereignissen. Möglichkeiten sind beispielsweise Weiterverarbeitung, alternative Vermarktungsstrukturen wie die Direktvermarktung, Gastronomie, Angebote für Freizeit und Tourismus, Landschaftspflege und Naturschutz, Erzeugung erneuerbarer Energien, Umweltbildungsangebote und Seminare.

Staatliche **Versicherungen** für Ernteschäden gibt es nicht. Landwirtinnen und Landwirte müssen das Risiko selbst absichern. Private Versicherungen sind beispielsweise für Hagel ein sinnvolles Instrument. Versicherungen gegen Produktionsausfall in Dürrejahren oder bei Hochwasser und Überschwemmungen sind aber selten und sehr teuer (BZL 2023).

Weiterführende Informationen finden Sie hier:

[www.praxis-agrar.de/
wasser-landwirtschaft](http://www.praxis-agrar.de/wasser-landwirtschaft)



4.2 Einzelbetriebliche Strategien des Wasser- und Bodenmanagements

Matthias Böldt, Deutscher Verband für Landschaftspflege (DVL) e. V.

4.2.1 Maßnahmen in der Feldflur

4.2.1.1 Schon- und Uferrandstreifen

Bei Starkregenfällen werden auf abschüssigen Flächen häufig Bodensedimente abgeschwemmt, abhängig von der Hangneigung und der Bodenbedeckung. Diese sogenannte Wassererosion (Abbildung 10) führt dazu, dass bei mangelnder Bodenbedeckung und Bodenstabilität fruchtbare

Bodenpartikel als Sedimente in tieferliegende Bereiche oder sogar in angrenzende Gewässer und Wege geschwemmt werden.

Gezielt angelegte **Grün- oder Ackerschonstreifen** bieten hier einen effektiven Schutz (Abbildung 11). Je nach Breite und Lage im Feld sowie Art des Bewuchses können sie die Geländerauigkeit erhöhen und damit die Fließgeschwindigkeit des Oberflächenabflusses und den Sedimentverlust bei Starkregenereignissen verringern. Die Streifen sollten idealerweise im oberen Teil des Hanges, am Entstehungsort der Erosion, entlang der natürlichen Geländelinien und -rillen angelegt werden. Die Begrünung sollte mehrjährig sein, um einen möglichst dichten Bewuchs zu



Abbildung 15: Hangabwärtsgerichtete Fahrgassen stellen oft Erosionsrillen dar.



Abbildung 16: Gräserbetonter Ackerrandstreifen am Maisfeld.

erhalten. Dieser hält Bodenpartikel wie ein Kamm zurück und schützt effektiv vor Abschwemmungen. Gleichzeitig verbessert die höhere Anzahl von Bioporen die Wasserinfiltration in den Streifen.

Werden **Grünschonstreifen** an Gewässern angelegt, spricht man auch von Uferandstreifen. Auch hier spielt die Filterwirkung eine wichtige Rolle, um unerwünschte Schadstoffe aus dem Oberflächenabfluss zurückzuhalten. Ausreichend breite Uferandstreifen verhindern als natürliche, physikalische Barrieren, dass Bodensedimente sowie Dünge- und Pflanzenschutzmittel aus den angrenzenden Feldern in die

Gewässer gelangen können. Insbesondere der an Bodenpartikel gebundene Phosphor führt über den Sedimenteintrag zu einer verstärkten Eutrophierung der Gewässer und wirkt sich negativ auf die Gewässerqualität und -biologie aus.

Werden tiefwurzelnde Pflanzen oder sogar Gehölze auf den Uferandstreifen angepflanzt, erstreckt sich die Filterwirkung auch auf die Bereiche des oberflächennahen Abflusses. Hier wird der im Bodenwasser gelöste Nitrat-Stickstoff besser reduziert, bevor er in die Fließgewässer eingeschwemmt wird. Somit leisten ausreichend breite Uferandstreifen



Abbildung 17: Gewässerentwicklungskorridore können die Fließgeschwindigkeit und den Grundwasserspiegel beeinflussen. Sie tragen zur Diversifizierung einer Landschaft bei.

oder **Gewässerentwicklungskorridore**

(Abbildung 12), die auch eine Renaturierung des Gewässers erlauben, neben einem verbesserten Wasserrückhalt auch einen Beitrag zum Erhalt der Wasserqualität und des Gewässerschutzes. Gewässerentwicklungskorridore tragen zur Diversifizierung einer Landschaft bei. Sie geben einem Fließgewässer mehr Fläche, sodass sich neue Habitate und Ökosysteme bilden können. Zudem haben sie einen Einfluss auf die Fließgeschwindigkeit von Gewässern und können den Grundwasserspiegel beeinflussen.

Auch **begrünte Schonstreifen** bieten je nach Größe, Lage, Pflege und Dauerhaftigkeit wertvollen Lebensraum für verschiedenste Wildtiere, Insekten und Pflanzen. Durch die Erhöhung der Biodiversität im und am Feld kann die natürliche Schädlingsbekämpfung

gefördert werden. Insbesondere als breite Uferrandstreifen (Abbildung 13) und als Gewässerentwicklungskorridore können sie Lebensräume besser miteinander vernetzen. Sie können wichtige Wanderwege für Organismen darstellen und so als Trittsteine zum regionalen Biotopverbund beitragen. Bei der Anlage von Grünstreifen für den Erosionsrückhalt empfehlen sich gräserbetonte Mehrarten-Mischungen, da sie eine höhere Narbendichte ausbilden.

Zur Förderung der Diversität sollten verschiedene Grasarten mit tiefwurzelnden Kräutern kombiniert werden. Bei ausreichender beziehungsweise guter Pflege und entsprechender Abfuhr des Schnittgutes etablieren sich schnell dichte Bestände. Für eine dauerhafte biodiversitätsfördernde Flächenaufwertung sollte auf



Abbildung 18: Beidseitige Uferrandstreifen am Gewässer dienen neben dem Gewässerschutz auch zur Biotopvernetzung für Organismen und fördern die Biodiversität.



Abbildung 19: Ein mehrjähriger Blühstreifen grenzt an ein Binnengewässer und schützt so vor Einträgen, gleichzeitig wird die Biodiversität gefördert.

den Streifen arten- oder kräuterreiches und somit naturnahes Grünland etabliert werden. Hierfür eignet sich beispielsweise die Einsaat mit zertifiziertem, gebietsheimischem Regiosaatgut.

Die Anlage und Pflege von dauerhaft begrünten Schonstreifen lässt sich ohne großen Aufwand in die Betriebsabläufe integrieren. Wird Grünland bereits betrieblich genutzt, dann ist die zusätzliche Verwertung des Aufwuchses in der Regel unproblematisch. Je nach Lage und Funktion der Streifen fällt zusätzlicher Arbeitsaufwand für die Pflege der Flächen an. Auf stark erosionsgefährdeten Flächen ist eine extensive Nutzung sinnvoll, um den Wasserrückhalt zu verbessern. Dadurch kann eine längere Bodenruhe erreicht werden.

Die dauerhafte Umwandlung von Ackerflächen in Dauergrünland hat insgesamt die höchsten Effekte für den Erosionsschutz (Kapitel 4.2.3.1).

4.2.1.2 Fahrgassenbegrünung und Schlaggestaltung

Insbesondere ungünstig gelegene Fahrgassen in Hangabwärtsrichtung können sich bei Starkniederschlägen zu Erosionsrillen entwickeln. Hier kann durch eine gesonderte **Begrünung der Fahrspuren** als gesamter Streifen oder nur in bestimmten Intervallen die Erosionsgefahr effektiv reduziert werden (Abbildung 15). Generell sind hangabwärts gerichtete Fahrspuren möglichst zu vermeiden. Wenn sich die Bearbeitungslänge gegenüber der



Abbildung 20: Die Intervallbegrünung bei hangabwärts ausgerichteten Fahrgassen reduziert die Erosionsgefahr.

ursprünglichen Bearbeitungsrichtung nicht deutlich verkürzt, sollte die Hauptbearbeitungsrichtung insgesamt quer zum Hang verlaufen. Außerdem sollte sie möglichst parallel zur Höhenlinie verlaufen.

Bei einer intensiven Bodenbearbeitung mit dem Pflug wird das Wasser in den Pflugspuren besser zurückgehalten. Flächen mit einer Hangneigung von bis zu 15 Prozent eignen sich optimal für die **Querbewirtschaftung**.

Für die Abfuhr des Erntegutes ist auf eine seitliche Erschließung der Schläge durch hangparallel verlaufende Wege zu achten. Ist eine Bewirtschaftung quer zum Gefälle aufgrund einer ungünstigen Schlagform oder steileren Hangneigung in der Umsetzung nicht möglich, kann eine Verkürzung der Hanglänge auch durch die gezielte Anlage einer **zusätzlichen Saatreihe als Streifen** parallel zum Hang erreicht werden. Durch die höhere Pflanzendichte kommt es zu einer Unterbrechung der hangabwärts gerichteten Drillreihen. Gleiches gilt für den Anbau von Dammkulturen auf Erosionsflächen. Hier sorgt die gezielte Anlage von **Querdämmen** als kleine Staudämme für einen besseren Wasserrückhalt, geringere Abschwemmung und höhere Sickerwasserraten. Eine gezielte Begrünung zwischen den Dämmen mit Gräsern oder Getreide bietet zusätzlichen Erosionsschutz.

Auf erosionsgefährdeten Flächen ist eine sinnvolle Kombination zur Querbewirtschaftung auch die **Aufteilung größerer Schläge** in kleinere Bewirtschaftungseinheiten. Ein kleinstrukturierter Anbau durch unterschiedliche Sommer- und

Winterkulturen verhindert das großflächige Auftreten erosionsfördernder Bodenbedingungen zum Zeitpunkt eines Starkregenereignisses. Idealerweise sollten die Schläge maximal zwei Hektar groß sein. Allerdings ist diese Zielgröße in der Realität aus verfahrenstechnischen und wirtschaftlichen Gründen oft nicht realisierbar. Durch die verschiedenen Saat-, Pflege- und Erntezeitpunkte ist die Schlagteilung mit einem deutlich höheren Arbeits- und Kostenaufwand verbunden.

Eine zusätzlich **gezielte Anlage von Landschaftselementen und Saumbiotopen** wie Feldgehölzen, Hecken, Streuobstwiesen oder auch Agroforststreifen sollte entlang von Gelände- und Höhenlinien erfolgen. Sie helfen als natürliche und langfristige Barrieren, den Oberflächenabfluss weiter zu reduzieren und besser zu steuern. Die größten Effekte für den Wasserrückhalt können nur erzielt werden, wenn erosionsmindernde Maßnahmen nicht einzelbetrieblich, sondern auf Flurebene in **überbetrieblicher Kooperation** durch eine **gemeinsame Anbauplanung** umgesetzt werden.

4.2.1.3 Abfluss- und Rückhaltemulden

Abfluss- und Rückhaltemulden sind Vertiefungen in der Landschaft, die das Oberflächenwasser einer bestimmten umgebenden Fläche aufnehmen können (Abbildung 16). Sie können künstlich in oder neben einem Schlag vertieft angelegt werden. Unter Berücksichtigung von bestimmten Abflussmustern und -dimensionen können sie insbesondere dazu beitragen, dass Flächen Starkregen und veränderte Niederschlagsmuster besser bewältigen können. Überschwemmungen werden vermieden, indem



Abbildung 22: Anlage einer Rückhaltemulde, die das Oberflächenwasser der umgebenden Fläche aufnimmt, den unkontrollierten Abfluss verhindert und vor Überschwemmungen auf der Fläche schützt.

Wasser über einen längeren Zeitraum zurückgehalten wird. Wasseransammlungen an unerwünschten Stellen in der Feldflur oder unkontrolliertes Abfließen werden verhindert. Eine dauerhafte Begrünung der Mulden und ihrer Randbereiche verstärkt die „abflussbremsende“ Wirkung zusätzlich.

Der Rückhalt des Niederschlagswassers in der Fläche ermöglicht eine Versickerung über einen längeren Zeitraum und trägt damit zu einer stärkeren Grundwasserneubildung bei. Durch die Möglichkeit der Sedimentablagerung in den strömungsberuhigten Mulden wird zudem die Gefahr der Belastung umliegender Gewässer mit unerwünschten Nähr- und Schadstoffen reduziert. Werden die künstlich angelegten Mulden größer dimensioniert, spricht

man auch von **Drainagegräben** (Hauptfunktion Sedimentrückhalt und -ablagerung) oder **Regenrückhaltebecken** (Hauptfunktion Wasserrückhalt).

Abfluss- und Rückhaltemulden können auf Flächen angelegt werden, die ohnehin nicht optimal für den Ackerbau geeignet sind. So können beispielsweise natürliche Senken durch eine aufgeschobene Verwallung oder bereits existierende Gräben durch eine zusätzliche Aufweitung zu Rückhaltemulden entwickelt werden.

In vielen Fällen reichen nur leichte Erdbewegungen aus, um die gewünschten Effekte zu erzielen. Die Umsetzung ist relativ kostengünstig und einfach zu realisieren. Es geht dabei wenig wertvolle Anbaufläche verloren.



Abbildung 23: Die Abflussmulde nimmt das Oberflächenwasser der umgebenden Fläche auf, verhindert den unkontrollierten Abfluss und schützt vor Überschwemmungen auf der Fläche. Durch einen geregelten Ablauf kann das Wasser gezielt und kontrolliert abgeleitet werden.

4.2.2 Produktionsintegrierte Maßnahmen auf dem Acker

4.2.2.1 Humusaufbau und Bodenleben

Der Humusaufbau ist die wichtigste Steuerungsgröße für die Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit. Die organische Substanz im Boden beeinflusst nicht nur dessen physikalische, chemische und biologische Eigenschaften. Sie trägt unmittelbar zur Verbesserung der Bodenstruktur, der Nährstoffverfügbarkeit und des Bodenwasserhaushaltes bei. Durch die Fähigkeit von Humus, ein Vielfaches seines Gewichts an Wasser zu speichern, stellt er die Wasserversorgung der Pflanzen über einen längeren Zeitraum sicher. Insbesondere in Regionen mit ausgeprägten,

langanhaltenden Trockenperioden spielt dieser Faktor eine zentrale Rolle.

Humus bietet den verschiedensten Bodenlebewesen Nahrung und steigert deren Aktivität. Als Folge verbessern sich die Stabilität der Bodenaggregate und die Wasserinfiltration. Generell gilt: Je länger und ungestörter das Pflanzenwachstum auf einer Fläche erfolgen kann, desto höhere Humusgehalte stellen sich ein. Die klimawirksame Kohlenstoffeinlagerung im Boden nimmt zu. Unter landwirtschaftlicher Ackerbaunutzung liegen die Humusgehalte in den Oberböden in der Regel zwischen 1,5 und 3 Prozent. Sie sind abhängig von:

- Bodenart und Bodennutzung,
- Klima und
- Anbausystem.



Abbildung 24: Bodenprofil einer Braunerde mit humusreichem Oberboden.



Abbildung 25: *Phacelia* eignet sich als Gründünger und trägt zum Humusaufbau bei.



Abbildung 26: Anlage einer gesteuerten Drainage.

Grünland- oder Agroforstsysteme weisen gegenüber ackerbaulich genutzten Böden höhere Humusgehalte auf.

Humusaufbau fördern

Der Humusgehalt des Bodens kann einerseits über eine regelmäßige Zufuhr von organischen Düngern wie beispielsweise Festmist- oder Kompostdünger aufgebaut werden. Andererseits fördert auch der Verbleib von eingearbeiteten Pflanzenresten im Boden den Humusaufbau. Dies kann über den Verbleib von Ernterückständen auf der Fläche oder den gezielten Anbau von Kulturen wie Zwischenfrüchten und Untersaaten als Gründüngung erfolgen (Abbildung 19).

Humusabbau verhindern

Um Humus vor dem Abbau zu schützen, ist eine Reduzierung der Bearbeitungsintensität der wesentliche Hebel. Unter den gegebenen Standort- und Nutzungsbedingungen ist daher eine möglichst bodenschonende Bodenbearbeitung und ausgeglichene Nährstoffzufuhr zu gewährleisten. Einerseits sind die stabilen Bodenaggregate und der darin gebundene Dauerhumus vor mechanischer Zerstörung zu schützen, andererseits sollte die mikrobielle Zersetzung von organischer Bodensubstanz nicht zu stark angeregt werden. Lange Zeiträume mit Bodenbedeckung reduzieren zudem die Gefahr des unwiederbringlichen Humusverlustes durch Bodenabtrag bei Wind- oder Wassererosion.

Die aktive Entwässerung landwirtschaftlicher Flächen durch Drainage- und Grabensysteme führt zu einer besseren Durchlüftung der Böden. Gleichzeitig steigen jedoch die Mineralisierungsprozesse im Boden und damit der Humusabbau. Die humuszehrende Wirkung erstreckt sich

dabei auch auf den Unterboden und führt bei Böden mit hohem organischem Anteil, insbesondere bei Moorböden, zu erheblichen Kohlenstoffverlusten und setzt Treibhausgase frei. Die Entwässerung von Moorböden sollte daher aus Klimaschutzgründen unbedingt vermieden werden.

Durch den Einsatz von gesteuerten Drainagen (Abbildung 20) bei der klassischen Rohrdränung auf landwirtschaftlich genutzten Flächen kann die Entwässerung besser eingestellt und gesteuert werden. Dadurch lässt sich eine kontrollierte, verzögerte Entwässerung am Dränauslauf flächenscharf betreiben. Der Durchfluss wird besser reguliert und Abflussspitzen werden vermieden. So kann beispielsweise während Trockenperioden eine ausreichende Wasserversorgung für die Pflanzenbestände sichergestellt werden. Umgekehrt kann in nassen Perioden, insbesondere im Winterhalbjahr, die Fläche wieder stärker entwässert und dadurch länger befahrbar bleiben. Die Verwendung kontrolliert gesteuerter Drainagen ist allerdings häufig von der Geländetopografie begrenzt und eignet sich eher für Flächen mit geringem Gesamtgefälle.

Ungesteuerte Drainagen bedeuten eine permanente ungesteuerte Entwässerung der Landschaft, auch in der Vegetationsperiode und bei anhaltender Trockenheit. Unter den heutigen klimatischen Bedingungen sollten Drainagen daher grundsätzlich immer steuerbar sein und entsprechend einer regulierbaren Funktion betrieben werden. Das Aufheben der aktiven Flächenentwässerung durch den kontrollierten Verzicht auf Instandhaltungsmaßnahmen, den aktiven Verschluss

oder den aktiven Rückbau von Drainagen, hat den höchsten Einfluss auf den flächen- und landschaftsbezogenen Wasserrückhalt. Dies wirkt sich vielfältig positiv auf den Natur- und Umwelthaushalt sowie das Klima aus.

Zu berücksichtigen sind dabei die Struktur des Einzugsgebietes der Drainagen, die geohydrologischen Verhältnisse, die aktuelle Flächennutzung, die Bodeneigenschaften und die Intensität von Niederschlagsereignissen und Schneeschmelze. Auch Art, Lage, Flächenumfang und Alter der Entwässerungsanlage spielen eine Rolle. Durch die Aufhebung der Drainagen oder das Verfüllen von Gräben ist in der Regel keine produktive Nutzung der betroffenen Flächen mehr möglich. Eine Nutzungsänderung hin zu extensiven Anbausystemen ist daher häufig die Folge.

4.2.2.2 Ganzjährige Bodenbedeckung

Durch einen ganzjährigen Pflanzenbewuchs und den damit verbundenen Humusaufbau sinkt die Verschlämungsneigung. Folglich wird auch die Erosionsgefährdung der Böden deutlich reduziert. Die Integration von Zwischenfrüchten oder Untersaaten in die Fruchtfolge kann eine geschlossene Bodenbedeckung über einen möglichst langen Zeitraum im Jahr und über den Winter hinweg gewährleisten (Abbildung 21).

In Abhängigkeit von der gebildeten ober- und unterirdischen Biomasse haben Zwischenfrüchte zusätzlich eine gesteigerte Wirkung auf die Humusbildung und Regenwurmakktivität. Nährstoff- und Wasservorräte im Ober- und Unterboden werden besser erschlossen und der Folgekultur

zur Verfügung gestellt. Die Menge und die Dauer des Sickerwasseranfalls im Winterhalbjahr werden durch den Einsatz von Zwischenfrüchten und Untersaaten insgesamt reduziert. Nitrat wird in der pflanzlichen Biomasse gebunden und so im Winterhalbjahr vor der Auswaschung ins Grundwasser geschützt. Darüber hinaus unterdrücken Zwischenfrüchte durch Licht-, Wasser- und Nährstoffkonkurrenz unerwünschte Beikräuter besser. Der gezielte Einsatz tiefwurzelnder Zwischenfrüchte lockert den Boden in tieferen Schichten. Auf diese Weise können Bodenschadverdichtungen aufgelöst (Kapitel 4.2.2.6) und die Wasserinfiltration erhöht werden.

Bei Zwischenfrüchten wird zwischen dem Anbau von Sommer- und Winterzwischenfrüchten unterschieden. Sommerzwischenfrüchte stehen zwischen zwei Hauptkulturen und nutzen die Vegetationszeit von der Ernte der Hauptkultur bis zum Spätherbst zur Biomassebildung. In der Praxis werden häufig Kruziferen wie Senf und Ölrettich mit wüchsigen Grob- und Feinleguminosen kombiniert. Die geringe Frosttoleranz vieler **Sommerzwischenfrüchte** führt in der Regel zum Absterben über den Winter.

Winterzwischenfrüchte werden eher im Herbst gesät, können überwintern und stehen im Frühjahr als Grünfutter zur Verfügung. Hier werden häufig winterharte Mischungen mit einem höheren Gräseranteil verwendet. Wird auf eine direkte Nutzung der Zwischenfrüchte verzichtet, kann es sinnvoll sein, diese vor dem ersten Frost zu schlegeln oder zu walzen. So wird die Samenreife verhindert und ein sicheres Absterben über den Winter erreicht. Dadurch wird die Wasser- und



Abbildung 37: Erprobung verschiedener Zwischenfrüchte in einem Feldversuch der Universität Kiel.



Abbildung 38: Klee-Gras wurde als Untersaat im ökologischen Getreidebestand gesät und sichert die dauerhafte Bodenbedeckung.

Nährstoffverfügbarkeit für die Folgekultur im Frühjahr verbessert.

Untersaaten sind Pflanzen, die gleichzeitig oder zeitlich versetzt in eine Hauptkultur (Deckfrucht) ausgesät werden. Sie werden häufig in Kulturen mit weiterem Reihenabstand verwendet. Mais ist eine typische Frucht, die sich gut mit Untersaaten

kombinieren lässt. Nach der Ernte der Deckfrucht bleibt die Untersaat in der Regel bis zum Anbau der Folgekultur stehen. Durch ihr anhaltendes Wachstum hält sie den Boden dauerhaft bedeckt und erfüllt dabei die gleichen Funktionen wie Zwischenfrüchte. Als Untersaaten werden häufig Gräser- und Leguminosenarten eingesetzt (Abbildung 22). Raschwüchsige

Untersaaten können jedoch während der Vegetationsperiode eine Konkurrenz um Wasser und Licht für die Deckfrucht darstellen. Dies kann zu Störungen im Auflaufbild und Ertragsdepressionen führen. Aussaat, Pflege und eventuell weitere Bodenbearbeitungsgänge für die Anlage von Zwischenfrüchten erfordern häufig einen zusätzlichen Arbeits- und Maschineneinsatz.

In trockeneren Regionen mit geringen Niederschlägen kann der Wasserverbrauch insbesondere von winterharten Zwischenfrüchten im Frühjahr eine Konkurrenz für den Bodenwasser- und Nährstoffbedarf für die Folgekultur darstellen. Bei der Auswahl der Zwischenfruchtarten sind mögliche Fruchtfolgekrankheiten zu berücksichtigen. Als grüne Brücke können sie bestimmten Schädlingen und Krankheitserregern eine bessere Überwinterung ermöglichen. Umgekehrt bieten blühende Arten in der Zwischenfruchtmischung ein verlängertes Nahrungsfenster für Bestäuber und andere Nützlinge. Kommt es zur Samenreife von Zwischenfrüchten, erhöht sich das Winterfutterangebot für Vögel in der Agrarlandschaft. Zwischenfrüchte und Untersaaten eignen sich aufgrund ihrer positiven Wirkung auf die Bodenfruchtbarkeit und -lockerung grundsätzlich gut für eine Kombination mit Verfahren der konservierenden Bodenbearbeitung (Kapitel 4.2.2.4).

Auch der **Zweitfruchtanbau** gewährleistet bei ausreichend langer Vegetationszeit und ausreichendem Wasserdargebot eine längere Bodenbedeckung. Dabei werden innerhalb eines Anbaujahres zwei Hauptkulturen nacheinander angebaut und geerntet. So kann nach einer Winterung

im späten Frühjahr eine Zweitfrucht wie Mais oder Sommergetreide folgen. Für die Winterung eignen sich beispielsweise Futter- oder Energiepflanzen mit Erntezeitpunkten zur Teig- oder Milchreife wie der Grünroggen als Ganzpflanzensilage.

Den höchsten Effekt für den Wasserrückhalt auf ackerbaulich genutzten Flächen haben **mehrfährige Anbaukulturen**. In Futterbaubetrieben kommen häufig Klee-grasgemenge zum Einsatz. Für Biogasfruchtfolgen können als Alternative zum erosionsfördernden Maisanbau auch mehrjährige Energiekulturen angebaut werden. Dafür kommen beispielsweise Miscanthus, Durchwachsene Silphie (Abbildung 23), Riesenweizengras oder gleichzeitig biodiversitätsfördernde mehrjährige Blühpflanzenmischungen in Frage.

4.2.2.3 Anpassung der Fruchtfolge und Sortenwahl

Der jährliche Wechsel möglichst vieler verschiedener Kulturen von Sommerungen und Winterungen sowie Blatt- und Halmfrüchten kann ebenfalls die Bodenfruchtbarkeit, die Nährstoffnachlieferung und die Wasserspeicherfähigkeit des Bodens erhöhen. Besonders positiv wirken sich hohe Anteile von tiefwurzelnden sowie bodendeckenden oder gar mehrjährigen Kulturen in der Fruchtfolge aus. Beispiele für angepasste Fruchtfolgen sind die Integration von Kulturen des Ackerfutterbaus in Marktf Frucht-Fruchtfolgen oder der verstärkte Einsatz von Zwischenfrüchten und Untersaaten (Kapitel 4.2.2.2).

In Zukunft wird vor allem der Anbau trockenstresstoleranter Kulturen in der



Abbildung 39: Die Durchwachsene Silphie eignet sich als mehrjährige Energiekultur.

Fruchtfolge an Bedeutung zunehmen. Die Anbaugrenzen verschieben sich aufgrund steigender Jahresdurchschnittstemperaturen weiter nach Norden zugunsten wärme liebender Pflanzen wie beispielsweise Soja, Körnermais oder Sonnenblumen. Der Anteil von Sommergetreide wie der Sommergerste mit ihren höheren Temperatur- und geringeren Wasseransprüchen wird in trockeneren Regionen zunehmen. Alternative Ackerkulturen, die gut mit längeren Trockenperioden zurechtkommen, sind beispielsweise Hartweizen und Sorghumhirse.

Bei den Körnerleguminosen, als wichtiger Bestandteil einer vielfältigen, eiweißreichen Fruchtfolge, gewinnt die Weiße Lupine zunehmend an Bedeutung. Sie kann mit ihrer ausgeprägten Pfahlwurzel Wasser aus tieferen Bodenschichten besser erschließen und weist dadurch eine gute Trockentoleranz auf. Auch Kichererbsen haben einen geringeren Wasserbedarf und sind besser an hohe Temperaturen und Trockenheit

angepasst. Im Ackerfutterbau ist die Luzerne ein relativ anspruchsloser und trockenheitsverträglicher Eiweißlieferant.

Auch bei den klassischen Kulturpflanzen kann durch eine angepasste Sortenstrategie die Wassernutzungseffizienz durch die Wahl unterschiedlicher **Reifegruppen oder Sorten** erhöht werden. In der Pflanzenzüchtung spielen **trockentolerante Eigenschaften** als Selektionskriterium eine immer wichtigere Rolle. Dabei geht es darum, das Verhältnis von aufgenommenem Wasser zu erzieltm Ertrag zu verbessern (Wassernutzungseffizienz). Züchtungsziele sind zum Beispiel:

- Toleranzen gegen intensive Sonneneinstrahlung, periodischen Wassermangel, Hitze oder Kälte,
- Resistenzen gegenüber Schaderregern,
- effizientere Nährstoff- und Wasserausnutzung und
- Steuerungsmechanismen von Entwicklungsstadien (Frühreife).

So können einige neue Pflanzensorten ihre Spaltöffnungen bei Hitze besser regulieren, um die Verdunstung zu verringern. Auch Veränderungen an den Blattanlagen in Form, Größe, Stellung oder bei bestimmten Oberflächeneigenschaften haben Einfluss auf die Verdunstungsverluste. Ein weiteres Merkmal trockenheitstoleranter Sorten ist häufig ein ausgeprägteres Wurzelsystem mit verbesserter Wurzeldichte, Wurzeltiefe oder einer verbesserten Symbiosefähigkeit mit bodenbürtigen Mykorrhizapilzen. So können Wasser und Nährstoffe aus dem Bodenhorizont von den Pflanzen besser erschlossen und ausgenutzt werden.

Der **Gemenge-** oder auch **Mischanbau** bezeichnet den Anbau von mindestens zwei Arten oder Sorten zur gleichen Zeit auf derselben Fläche (Abbildung 24). Grundsätzlich



Abbildung 40: Mischanbau von Erbsen, Hafer und Sommergerste.

müssen dabei Saat- und Erntezeitpunkt der Gemeengepartner gut zusammenpassen. Im Vergleich zur Reinsaat können sich positive, aber auch negative Konkurrenzeffekte durch die unterschiedlichen Standort- und Nährstoffansprüche ergeben.

Unter ungünstigen Anbaubedingungen wie langanhaltender Trockenheit oder Nässe kann der Gemeengeanbau allerdings die Ertragssicherheit auf der Fläche erhöhen. Der Grund dafür ist, dass sich die Folgen von Wetterextreme nicht gleichermaßen negativ auf die Ertragsbildung der einzelnen Bestandspartner auswirken. In der Praxis werden häufig Gemenge aus Leguminosen und Nichtleguminosen angebaut, um die Nährstoffbereitstellung über die Stickstofffixierung der Leguminosen zu nutzen. Der gemeinsame Anbau von Körnerleguminosen in Kombination mit Getreide ist bereits heute weit verbreitet.

Eine besondere Form des Mischfruchtanbaus ist der Anbau von **Staffelkulturen**, sogenanntes *Relay Intercropping*. Bei diesem Anbauverfahren werden, ähnlich wie beim Untersaaten- oder Zweitkulturenanbau, die positiven Aspekte einer dauerhaften Bodenbedeckung verstärkt (Kapitel 4.2.2.2). Im Staffelanbau werden zwei Hauptkulturen zeitlich versetzt ineinander angebaut. Dabei wird in der Regel Wintergetreide wie eine Reihenkultur mit weiten Abständen gedreht. Im Frühjahr erfolgt dann die Aussaat einer Sommerung zwischen diese Saatzeilen. Auch der Drusch erfolgt entsprechend zeitversetzt, wobei das Getreide mit großer Schnitthöhe geerntet wird, um die unterwüchsige Zweitkultur nicht zu schädigen. Dieses Anbausystem ist in der Praxis bisher vor

allem im kombinierten Getreide-Sojaanbau erprobt. Wenn die Witterungsbedingungen während der Vegetationsperiode den insgesamt höheren Wasserbedarf decken, können die Ertragsverluste beim Getreide durch eine zusätzliche Ernte des Sojas ausgeglichen werden. Bei gleichzeitiger guter Unkrautregulierung eignet sich der Anbau von Staffelnkulturen auch für Verfahren der konservierenden Bodenbearbeitung.

4.2.2.4 Konservierende Bodenbearbeitung

Unter **konservierender Bodenbearbeitung** werden landwirtschaftliche Anbauverfahren zusammengefasst, die darauf abzielen, den Boden möglichst wenig zu stören. Dabei verbleiben Ernterückstände wie Stroh als Mulchmaterial auf der Bodenoberfläche und bilden einen natürlichen Schutz vor dem Austrocknen des Bodens. Durch reduzierte mechanische Eingriffe in den Oberboden behält dieser sein natürliches Porengefüge. Der Verzicht beziehungsweise die Minimierung von wendender Bodenbearbeitung über einen mehrjährigen Zeitraum kann die Infiltrationsfähigkeit des Bodens deutlich erhöhen. Grund hierfür ist eine höhere Anzahl an gebildeten Makroporen sowie der Erhalt der organischen Substanz im Oberboden.

Vor allem auf erosionsanfälligen Flächen bieten die Verfahren der konservierenden Bodenbearbeitung viele Vorteile:

- Die Bodenfeuchtigkeit bleibt über längere Zeit erhalten,
- der Oberflächenabfluss ist verringert und
- Krustenbildung, Oberflächenverschlammung sowie Erosionsgefahr werden effektiver reduziert.

Beim Pflügen wird die Mineralisation der organischen Bodensubstanz stärker angeregt, was den Humusabbau begünstigt. Im Gegensatz dazu fördert die reduzierte Bodenbearbeitung den Humusaufbau, insbesondere im Oberboden. Die Bodenfruchtbarkeit und die Wasserspeicherkapazität bleiben erhalten oder werden verbessert. In trockenen Jahren und Regionen sowie auf leichten Böden kann dadurch der Trockenstress für die Kulturpflanzen verringert werden.

Die vorrangigen Formen der konservierenden Bodenbearbeitung sind nicht-wendende **Mulchsaat-Verfahren**. Dabei wird auf den Einsatz des Pfluges generell verzichtet, was Zeit- und Energieaufwand bei der Bodenbearbeitung einspart. Die Saatbettbereitung erfolgt häufig mit Grubbern, wobei die Stoppelbearbeitung oft durch Häckseln der Strohreste unterstützt wird. Die Einarbeitung erfolgt nur oberflächlich bis zu einer Tiefe von zehn Zentimetern. Die Mulchsaat kann häufig mit herkömmlichen Bodenbearbeitungsgeräten und Sämaschinen durchgeführt werden. Allerdings kann die Einarbeitung zu großer Mengen von Mulchmaterial aus der Vorfrucht den Einsatz spezieller und damit kostenintensiver Mulchsaattechnik erfordern.

Die **Direktsaat als minimal-invasives Verfahren** verzichtet gänzlich auf den Einsatz von Bodenbearbeitungsgeräten. Die Direktsaat arbeitet nur in der Saatreihe, indem das Saatgut mit einer Schlitzsaattechnik direkt in die Pflanzenreste der Vorfrucht oder abgestorbene Zwischenfrüchte gesät wird (Abbildung 25).



Abbildung 41: Junge Zuckerrüben wachsen in Pflanzenresten von Maispflanzen aus dem Vorjahr.

Das Strip-Till-Verfahren kombiniert die Vorteile der Mulchsaat und der Direktsaat. Ernterückstände und Stoppeln der Vorfrucht werden mit Zinken oder Strohräumern aus der Saatreihe entfernt. Die Aussaat erfolgt in die gelockerten Streifen. Etwa zwei Drittel der Fläche bleiben dabei mit abgestorbenem Pflanzenmaterial bedeckt. Strip-Till ersetzt die Stoppelbearbeitung, die Grundbodenbearbeitung und die Saatbettbereitung in einem Arbeitsgang.

Trotz der zahlreichen Vorteile bringen die verschiedenen Verfahren der konservierenden Bodenbearbeitung auch Herausforderungen mit sich. Ein wesentlicher Nachteil ist ein verstärkter Unkrautdruck. Dies erfordert einen erhöhten Einsatz von Herbiziden und mechanischer Unkrautregulierung. Außerdem führt eine Mulchauflage auf der Bodenoberfläche zu einem

langsameren Abtrocknen und Erwärmen des Oberbodens im Frühjahr, was zu Entwicklungsverzögerungen bei der Hauptkultur führen kann.

Auch der Schädlingsdruck kann zunehmen, da die Erntereste an der Bodenoberfläche vielen Schadorganismen und -pilzen günstige Schutz- und Nahrungsmöglichkeiten bieten. Auf Böden mit vorhandenen Verdichtungserscheinungen kann die Mulchsaat diese verstärken, da sich der Boden unter der Mulchauflage weiter verfestigt und nur unzureichend gelockert wird. Schließlich erfordert die konservierende Bodenbearbeitung je nach Verfahren häufig den Einsatz von Spezialmaschinen und ein angepasstes Management. Dies kann mit höheren Anfangsinvestitionen und teilweise noch fehlenden Erfahrungen in der praktischen Umsetzung verbunden sein.



Abbildung 42: Ein Schlepper bringt Kalk auf einem Stoppelfeld aus.

4.2.2.5 Kalkung

Eine gute Bodenstruktur ist entscheidend, um Wasser aufzunehmen und Erosion zu vermeiden. Eine standortgerechte Kalkdüngung verbessert die Bodenstruktur, indem sie den pH-Wert erhöht und dadurch die Bodenaggregate stabilisiert. Der Boden wird lockerer, seine Durchlüftung verbessert sich und die Nährstoffverfügbarkeit wird erhöht. Eine Kalkung verringert zusätzlich auch die Gefahr von Bodenerosion und Verdichtung.

Für den optimalen pH-Wert gilt: *Je höher der Tongehalt des Bodens, desto höher der anzustrebende pH-Wert; je höher der Humusgehalt, desto niedriger der optimale pH-Wert.* Aufgrund der natürlichen Versauerungsprozesse durch Kalkauswaschungen, der Anwendung von kalkzehrenden

Mineraldüngern oder durch den regelmäßigen Entzug über das Erntegut ist eine regelmäßige Überprüfung des pH-Wertes des Bodens sinnvoll. Dies erfolgt anhand von Standard-Bodenanalysen, welche nach VDLUFA (VDLUFA 1991) die Kalkversorgung des Bodens in Gehaltsklassen einstuft. Eine Erhaltungs- oder Gesundungskalkung ist in Abhängigkeit der Tragfähigkeit des Bodens ganzjährig möglich. In Abhängigkeit der Verarbeitungsform des Kalkdüngers können für die Ausbringung Schleuder- oder Schneckenkorntreuer sowie spezielle Kalkstreuer eingesetzt werden (Abbildung 26).

4.2.2.6 Bodenschadverdichtungen vermeiden

Bodenschadverdichtungen entstehen, wenn die Bodenstruktur durch zu hohe



Abbildung 43: Bodenverdichtung tritt oft in Fahrspuren auf, insbesondere nach Befahren von nassem Boden oder infolge von zu hoher Gewichtsbelastung.

Gewichtsbelastung zerstört wird (Abbildung 27). Dies führt zu einer Verringerung der Porenräume, was die Durchlüftung des Bodens reduziert und damit die Aktivität von Bodenorganismen einschränkt. Die Wasserinfiltration ist in der Folge deutlich beeinträchtigt. Die Gefahr von Boden- und Wassererosion steigt. Gleichzeitig wird das ungehinderte Wurzelwachstum in tiefere Schichten erschwert oder verhindert und die Nährstoff- und Wasseraufnahme der Pflanzen gehemmt.

Böden sind besonders anfällig für Verdichtungen, wenn sie feucht oder nass sind, denn die Bodenaggregate sind im wasser-gesättigten Zustand weniger stabil. Das Risiko einer Verdichtung des Bodengefüges steigt mit zunehmendem Sättigungsgrad.

Generell sind schwere Böden mit hohem Tonanteil (über 25 Prozent) und geringeren Gehalten an organischer Bodensubstanz verdichtungsgefährdet. Hauptursachen für Bodenschadverdichtungen sind der Einsatz schwerer Maschinen mit hoher Reifen-beziehungsweise Achslast sowie das Befahren bei zu feuchten Bodenbedingungen. Zu schmale Reifen erhöhen zusätzlich die punktuelle Belastung auf den Boden, was die Verdichtung in tieferen Schichten noch verstärkt.

Wird die Bodenstabilität überschritten, können die unteren Bodenschichten so stark verdichtet werden, dass sie durch normale Bodenbearbeitungsverfahren wie Pflügen nicht mehr gelockert werden können. Es bildet sich eine sogenannte Pflugsohle, eine verdichtete Schicht unterhalb der bearbeiteten Fläche. Sie hemmt das Wurzelwachstum in tiefere Bodenschichten und kann nur schwer von Wasser durchdrungen werden. Damit steigt die Gefahr von Staunässe und Überstauung, Ertragsdepressionen sind die Folge. Diese Verdichtungen beeinträchtigen langfristig die Bodenfunktionen. Daher gilt der Grundsatz: Eine vorausschauende Bodenschonung ist wirksamer als eine Bodenlockerung.

Bodenverdichtung vorbeugen

Neben den bereits in den Kapiteln 4.2.2.1 bis 4.2.2.5 genannten vorsorgenden Maßnahmen zur Verbesserung der Bodenbedeckung und -tragfähigkeit können weitere Maßnahmen helfen, Bodenverdichtungen vorzubeugen. In erster Linie sollten Arbeitsgänge auf dem Feld, insbesondere bei der Bodenbearbeitung, an die Bodenart und Witterungsbedingungen angepasst werden. So sollten Überfahrten bei nassen

Verhältnissen möglichst vermieden und leichtere Maschinen mit geringerer Achslast bevorzugt werden. Durch das Zusammenlegen von Arbeitsgängen und/oder die Vergrößerung der Arbeitsbreite kann die Anzahl der Feldüberfahrten verringert werden. Die Verwendung von festen Fahrspuren oder GPS-Systemen hilft, die Verdichtung nur auf bestimmte Feldbereiche zu beschränken. Der Einsatz von Breit- oder Niederdruckreifen sowie Reifendruckregelanlagen ermöglicht es, über eine größere Bodenkontaktfläche die Achslast gleichmäßiger zu verteilen.

Um den Reifenschlupf möglichst gering zu halten, sind Zugkraft und Zugleistung unter Berücksichtigung der Bodenverhältnisse an den Bedarf der Zuggeräte anzupassen. Ein zu hoher Schlupf führt zu Bodenverschiebungen und -verformungen bis in tiefere Bodenschichten. Eine Störung des Bodengefüges und der Durchwurzelbarkeit ist die Folge.

Bodenverdichtung identifizieren und aufbrechen

Um bereits vorhandene Bodenschadverdichtungen festzustellen, können im Feld einfach zu handhabende Bodendichtensonden eingesetzt werden. Die Sonden zeigen Verdichtungshorizonte an, indem sie erhöhte Eindringwiderstände anzeigen. Eine weitere Methode ist die Spatenprobe (Abbildung 28).

Zeigen die Methoden Verdichtungshorizonte an, sollten immer zuerst Maßnahmen geprüft werden, die zu einer natürlichen Verbesserung des biologischen und physikalischen Bodengefüges führen. Dies geschieht in erster Linie über die



Abbildung 44: Verdichtungshorizonte können über Bodensonden mit Druckanzeige oder mit der Spatenprobe ermittelt werden.

Anpassung der Fruchtfolge (Kapitel 4.2.2.3). Eine dauerhafte Bodenbedeckung und Zufuhr organischen Materials fördert das Bodenleben und stabilisiert damit die Bodenaggregate und das Porengefüge. Der Einsatz von pfahlwurzelbildenden Kulturen und Zwischenfrüchten bei gleichzeitig reduzierten Eingriffen in den Boden hilft, Verdichtungshorizonte mittelfristig aufzulösen.

Auch auf mechanischem Wege können Bodenschadverdichtungen aufgebrochen, dichtlagernde Schichten zertrümmert und dadurch ein größeres Porenvolumen geschaffen werden. Die Lockerung der Krumenbasisverdichtung (Pflugsohle) geht dabei 40 bis 50 Zentimeter in die Tiefe. Die Tiefenlockerung erreicht sogar



Abbildung 45: Artenreiches Dauergrünland hat zahlreiche Vorteile für den Boden-, Gewässer- und Klimaschutz.

Bodenschichten bis in 90 Zentimetern Tiefe. Sie erfolgt mit speziellen Anbaugeräten wie beispielsweise Tiefenpflug, Bodenmeißel, Untergrundlockerer, Schichtengrubber oder Spatenmaschinen.

Bei feuchtnassen Verhältnissen sind Bodenlockerungsmaßnahmen zu vermeiden, da sonst das Bodengefüge zerstört statt aufgebaut wird. Auf Flächen mit hohem Steingehalt und vielen Drainagen oder anderen Leitungen sind Eingriffe durch tiefgehende mechanische Lockerungsmaßnahmen nicht möglich. Nicht zuletzt sind diese Verfahren kosten- sowie energieintensiv und die Effekte nur von kurzer Dauer, wenn die Bewirtschaftung und die Fruchtfolge anschließend nicht angepasst werden. Daher sollte nach intensiven Lockerungsmaßnahmen eine nachhaltige Stabilisierung des Bodengefüges durch tiefwurzelnde, schnellwüchsige Kulturen

wie beispielsweise Zwischenfrüchte weiter gefördert werden.

4.2.3 Produktionsintegrierte Maßnahmen im Grünland

4.2.3.1 Umwandlung Acker zu Grünland

Die Umwandlung von Ackerland in Grünland und Dauergrünland bietet zahlreiche Vorteile für den Boden-, Gewässer- und Klimaschutz. Im Gegensatz zu Ackerflächen zeichnet sich Grünland/Dauergrünland durch eine dichte, ganzjährige Pflanzendecke aus, die den Boden effektiv vor Erosion schützt (Abbildung 29). Der Bodenabtrag ist im Vergleich zu Ackerflächen deutlich geringer und die Gefahr von Nährstoffverlusten insgesamt verringert.

Ein weiterer Vorteil ist die verbesserte Wasserinfiltration unter Dauergrünland.



Abbildung 46: Überstautes Grünland im Überschwemmungsbereich einer Flussmündung ermöglicht, Wasser in der Fläche zu halten und Abflussspitzen zu vermeiden.

Die dichten Wurzelsysteme der Gräser und die tiefen Pfahlwurzeln der Kräuter lockern den Boden auf und erhöhen das Wasserinfiltrationsvermögen. Dadurch können auch große Niederschlagsmengen über einen längeren Zeitraum in der Fläche gehalten und Abflussspitzen vermieden werden. Ein Aspekt, der gezielt angelegtes Grünland in hochwassergefährdeten Überflutungsgebieten und in Hochwasser-Entstehungsgebieten für das regionale Wassermanagement unverzichtbar macht (Abbildung 30). Wird bei der Anlage von Grünland auf eine ausreichende Pflanzendiversität geachtet und kräuterreiche Mischbestände etabliert, wirkt sich dies zusätzlich positiv auf die Biodiversität aus.

Darüber hinaus trägt Dauergrünland zur Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit bei: Es baut über einen langen Zeitraum organische Substanz auf und lagert damit große

Mengen Kohlenstoff in den oberen Bodenschichten ein. Als Kohlenstoffsенke erfüllt Grünland/Dauergrünland eine wichtige Funktion im flächenbezogenen Klimaschutz. Bestehendes Dauergrünland ist daher insgesamt zu erhalten, ausreichend zu pflegen und nur in Ausnahmefällen umzubrechen.

4.2.3.2 Grünlandpflege und Nutzungszeitpunkte

Die Winter werden insgesamt milder, die Anzahl der Frosttage nimmt ab und das Frühjahr setzt zeitiger ein. Die Vegetationsperiode beginnt klimawandelbedingt immer früher und hält länger an. Diese Entwicklung kann für Grünland durchaus auch Chancen bieten, da sie eine Erhöhung der Schnittintensität oder eine Verlängerung der Weidesaison bedeuten kann. Um eine ausreichende Futterqualität zu gewährleisten, kann der erste Schnitt früher erfolgen.

Auch auf trockenen Standorten ist ein früherer Schnitt vorteilhaft, da die Wahrscheinlichkeit eines Wassermangels durch ausbleibende Niederschläge im Frühjahr und Sommer steigt. Nach langanhaltender Trockenheit sollte ein später Schnitt generell vermieden werden, um die geschwächte Grasnarbe nicht zusätzlich zu schädigen. Die immer häufiger über das Jahr auftretenden Schwankungen in der Niederschlagsmenge und -verteilung erfordern insgesamt eine flexiblere Anpassung der Nutzungsintensität hinsichtlich Düngung, Schnittintervallen und Futterkonservierung.

Hohe Niederschläge im Winterhalbjahr erschweren häufig eine frühe Bewirtschaftung. Die Gefahr von Bodenverdichtungen durch die Ausbringung von Wirtschaftsdüngern mit schwerer Technik oder von Trittschäden bei zu frühem Weideaustrieb steigt. Auch länger anhaltende Trockenperioden hinterlassen oft großflächige Schäden. Disteln, Ampfer und andere Unkräuter profitieren stärker von trockenen Bedingungen und füllen lückige Bestände schnell auf. Im Vergleich zu den Futtergräsern können sie über ihr tiefgehendes Wurzelwerk besser Wasser aus tieferen Bodenschichten erschließen und sollten frühzeitig bekämpft werden. Dies macht mitunter häufigere Über- oder Nachsaat zur Narbenerneuerung erforderlich. Diese sollte idealerweise im Frühjahr erfolgen, um die Restfeuchte des Winters zu nutzen. Um Qualitäts- und Ertragseinbußen besser zu kompensieren, sollte dabei der Kleeanteil in der Bestandszusammensetzung erhöht werden. Weißklee zeichnet sich beispielsweise durch eine gute Trittschädlichkeit und ein rascheres Wachstumsvermögen

aus. Rotklee eignet sich aufgrund seiner tiefgehenden Pfahlwurzel insbesondere für trockenere Standorte.

4.2.3.3 Weidemanagement anpassen

Zu trockene oder feuchte Bodenbedingungen erfordern besondere Sorgfalt bei der Weidenutzung. Ein zu hoher Tierbesatz zum falschen Zeitpunkt kann die Grasnarbe durch Trittbelastung schädigen, die Bodenverdichtung fördern und zu lückigen Beständen führen. Auf Hangflächen steigt durch die offenen Bodenstellen die Erosionsanfälligkeit.

Durch die zunehmenden Ertragsschwankungen des Aufwuchses wird ein Weidesystem und -management, das an das tatsächliche Futterangebot auf der Fläche angepasst ist, immer wichtiger. Das System der **Kurzrasenweide** mit ständiger Beweidung bei hohen Tierdichten kommt daher nur in Gebieten mit ausreichender Wasserversorgung infrage. Bei zunehmender Trockenheit ist die Nutzung des Grünlands als **Mähweide** häufig ertragreicher. Hier wird durch die Schnittnutzung in der ersten Jahreshälfte zunächst qualitativ hochwertiges Futter geborgen. In der zweiten Jahreshälfte erfolgt dann eine Beweidung bis in den Frühherbst.

Bei geringem Futterangebot auf der Fläche ist generell darauf zu achten, dass die Grasstoppeln durch die Beweidung nicht zu tief verbissen oder geschnitten werden. Die meisten wertvollen Futtergräser lagern ihre Reservestoffe in den Stoppeln ein. Diese Reservestoffe dienen als Energiequelle für den Neuaustrieb. Die Bildung neuer Triebe wäre daher bei zu tiefem Schnitt/zu



Abbildung 47: Der erste Grasschnitt im Frühjahr kann bedingt durch den Klimawandel früher erfolgen.



Abbildung 48: Der trockenheitstolerante Wiesenschwingel (*Festuca pratensis* L.) eignet sich für trockene Standorte.

intensiver Beweidung eingeschränkt und unerwünschte Arten werden gefördert. In Trockenperioden ist daher die Beweidungsdichte auf der Fläche möglichst gering zu halten, und es muss gegebenenfalls im Stall zugefüttert werden.

Die Planung und Sicherstellung eines ausreichenden Futtervorrates wird immer wichtiger, um den Leistungsbedarf der Weidetiere ganzjährig sicherzustellen. Auf der Weidefläche sind ausreichend Schattenplätze, beispielsweise durch größere Gehölzstrukturen, und eine ausreichende Wasserversorgung für die Weidetiere vorzuhalten.

4.2.3.4 Sorten- und Artenwahl

Nach langanhaltender Trockenheit oder Überstauung ist oft eine Nach- oder Neuansaat erforderlich, um die Bestände zu regenerieren. Trockenheitstolerante Gräser spielen dabei eine Schlüsselrolle. **Knaulgras, Rohrschwingel und Wiesenschwingel** (Abbildung 32) eignen sich gut für trockene Standorte, wobei Knaulgras und Rohrschwingel insbesondere in schnittgenutzten Systemen bevorzugt zum Einsatz kommen sollten. Auch das Deutsche Weidelgras bleibt für die Ertrags- und Qualitätssicherung wichtig, da es trotz flacher Wurzeln eine gute Robustheit gegenüber schwankenden Witterungsbedingungen aufweist.

Auch der vermehrte Anbau **früher Sorten-typen des Deutschen Weidelgrases**

gewinnt an Bedeutung, da diese die Winterfeuchte besser ausnutzen können als späte Sorten. Je nach Standort können auch trockenheitstolerantere Sorten des Deutschen Weidelgrases gewählt werden.

Mischbestände mit verschiedenen Gräsern, Leguminosen und Kräutern wie Zichorie, Futterchicorée oder Spitzwegerich können die Ertragsstabilität und Trockenheitstoleranz von Grünlandbeständen wesentlich erhöhen. Je höher und diverser die Artenzahl, desto besser können sich die Grünlandbestände auf veränderte Umweltbedingungen anpassen.

Weiterführende Informationen
finden Sie hier:

[www.praxis-agrar.de/
wasser-landwirtschaft](http://www.praxis-agrar.de/wasser-landwirtschaft)



4.3 Die Rolle der Agroforstwirtschaft im Wassermanagement

*Dr. Christian Böhm,
Deutscher Fachverband für
Agroforstwirtschaft (DeFAF) e. V.*

Von Agroforstwirtschaft wird gesprochen, wenn Ackerkulturen oder Grünland zusammen mit Bäumen und Sträuchern angebaut und genutzt werden. Ebenso können Dauerkulturen wie Rebflächen sowie die Nutztierhaltung mit dem Anbau von Bäumen auf einer Fläche kombiniert werden. Die gemeinsame Bewirtschaftung von

landwirtschaftlichen Kulturen und Gehölzen stellt eine sehr alte und effiziente Form der Landnutzung dar. Noch erhaltene Knick- und Haglandschaften zeugen davon.

Diese Form der Landnutzung ist sowohl mit einem **ökologischen** als auch **ökonomischen Mehrwert** verbunden. So können die Flächenproduktivität gesteigert und nachhaltig sichere/stabile Erträge der Ackerkulturen erzielt werden (Tsonkova et al. 2012; Mølgaard Hald et al. 2020). Dies kommt insbesondere in Regionen zum Tragen, wo das Risiko witterungsbedingter Ertragseinbußen hoch ist. Durch die fortschreitenden Klimaänderungen nehmen gerade Trockenperioden vielerorts zu, sodass das Interesse an einer agroforstlichen Flächenbewirtschaftung wächst. Denn die Integration von Gehölzen auf Äckern und Grünland verbessert das Mikroklima, reduziert Windgeschwindigkeiten und fördert den Wasserrückhalt, was zu stabileren Erträgen und einer höheren Resilienz gegenüber extremen Wetterbedingungen führt. Gleichzeitig tragen die Gehölzflächen zum Klima- und Bodenschutz bei, schützen angrenzende Gewässer und fördern die biologische Vielfalt.

In der heutigen Landwirtschaft, in der Felder mit großen Maschinen bewirtschaftet werden, muss die exakte **Lage der Gehölzstrukturen** an die **technischen Gegebenheiten** des jeweiligen Betriebes **angepasst** sein. Beispielsweise ist es sinnvoll, die Gehölze, die in landwirtschaftlich geprägten Agroforstsystemen einen Flächenanteil von zumeist fünf bis 20 Prozent einnehmen, streifenförmig anzuordnen und als Abstand zwischen zwei Gehölzstreifen ein Vielfaches der im Betrieb üblichen Arbeitsbreite der Maschinen zu wählen.



Abbildung 50: Agroforstsystem mit Obst- und Nussbäumen in Mecklenburg-Vorpommern.

Darüber hinaus ist bei der Gestaltung einer Agroforstfläche auf die **Maximierung der gewünschten Effekte** zu achten. Je nach Bedarf können sowohl einzelne Ökosystemleistungen, wie beispielsweise der Schutz vor Bodenabtrag oder eine höhere Klimaresilienz, als auch bestimmte Produktionsziele, wie etwa die Erzeugung von Stammholz oder die Fruchtproduktion, im Vordergrund stehen. Diese Ziele sind letztlich auch für die Wahl der Gehölze und deren Anordnung und Pflanzdichte ausschlaggebend.

4.3.1 Effekte auf das Mikroklima

Ein wesentlicher Vorteil ist, dass die Bäume und Sträucher das Mikroklima verbessern und so die Klimaresilienz landwirtschaftlich genutzter Standorte erhöhen. Trockenphasen können besser überdauert und Starkregenereignisse unbeschadeter überstanden werden. Häufig werden die

Gehölze in ein- oder mehrreihigen Streifen angepflanzt. Hierdurch können Agroforstsysteme nicht nur effektiv bearbeitet, sondern positive Effekte auch gezielt verstärkt werden.

Entstehen in einer Region sehr viele Agroforstflächen, ist dies auch auf Landschaftsebene spürbar. Einerseits nehmen kleinklimatische Unterschiede innerhalb einer Fläche deutlich zu, andererseits unterscheiden sich wichtige Klimaparameter, wie zum Beispiel Lufttemperatur und Windgeschwindigkeit, zwischen einem Agroforstsystem und einem Feld ohne Gehölze häufig deutlich voneinander.

Die Gehölze bewirken **Windschutz** und sorgen auf Teilen des Feldes für **Beschattung**. Sie transpirieren mehr als die Feldfrüchte und kühlen so ihre Umgebung. Nach einer Studie aus den USA ist die tägliche Evapotranspiration (Summe aus



Abbildung 51: Luftaufnahme einer streifenförmig angelegten Agroforstfläche.

Boden- und Pflanzenverdunstung) in einer Weiden-Plantage zum Beispiel etwa 1,6-mal höher als bei Grünland, jedoch etwa 1,7-mal niedriger als in alten Laubholzbeständen (Minor 2009).

Entgegen der Hauptwindrichtung angelegte Gehölzstreifen sorgen für einen äußerst wirksamen Windschutz. Bei einer **Nord-Süd-Ausrichtung** der Streifen kann die Windgeschwindigkeit am stärksten reduziert werden. Bei hintereinander gestaffelten Gehölzstreifen kann der **Wind in streifenförmig aufgebauten Agroforstsystemen besonders effizient gebremst** werden, da dieser bis zum nächsten Windschutz beziehungsweise Gehölzstreifen

nicht wieder seine volle Geschwindigkeit entfalten kann. Auf einer Agroforstfläche in Südbrandenburg mit durchgängig bewachsenen, mehrreihigen Gehölzstreifen von im Mittel vier Metern Höhe wurden folgende Ergebnisse erzielt (Abbildung 35):

- Erosionsrelevante Winde ($> 3,6 \text{ m/s}$) in der Mitte von Ackerfruchtstreifen mit Breiten von 24, 48 und 96 Metern wurden um 36, 75 beziehungsweise 91 Prozent vermindert (Böhm et al. 2014).
- Mäßige und starke Winde ($> 5,6 \text{ m/s}$) wurden um 77, 96 beziehungsweise 100 Prozent reduziert, außerhalb der Vegetationsperiode. Während der Sommermonate war der Windschutz noch effizienter.

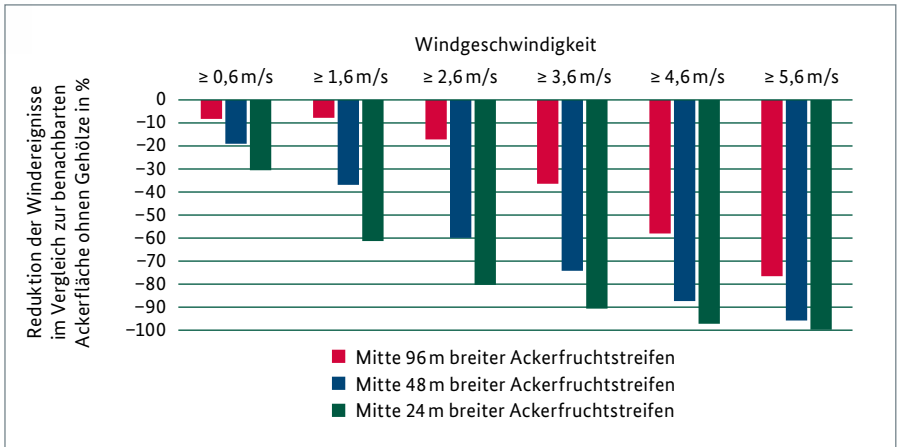


Abbildung 52: Reduktion der Windereignisse durch die Gehölzstreifen eines Agroforstsystems in Südbrandenburg in Abhängigkeit von Windgeschwindigkeit und Abstand zwischen zwei Gehölzstreifen, als Referenz diente eine benachbarte Ackerfläche ohne Gehölze; Messzeitraum war Oktober bis März; Messintervall 10 Minuten.

Dieser Windschutz bewirkt wiederum, dass im Bereich der Ackerfrüchte die Verdunstung, insbesondere jene des Bodens, deutlich abnimmt. Zusätzlich wird die Umgebung der Bäume durch deren größere Transpiration gekühlt. So werden vor allem sehr hohe Temperaturen abgepuffert und die Luftfeuchtigkeit sowie die Taubildung erhöht.

Verstärkt wird dieser Effekt durch die Beschattung der Bäume. Aufgrund der Konkurrenz um Licht sollte ein Agroforstsystem allerdings so gestaltet werden, dass eine ganztägige Beschattung nur im Nahbereich der Gehölze auftritt.

Die **Lufttemperatur**, die durch die Beschattung und die kühlende Wirkung der Gehölze beeinflusst wird, ist in Agroforstsystemen allgemein ausgeglichener. Extremwerte sind gerade an heißen Tagen weniger stark ausgeprägt. Besonders im Sommer wurden im Feldfruchtbereich

eines Agroforstsystems um ein bis zwei Grad Celsius geringere Lufttemperaturen als auf einer Ackerfläche ohne Bäume gemessen (Böhm und Tsonkova 2018).

Allerdings können in einem Agroforstsystem **an warmen Tagen auch höhere Temperaturen** auftreten. Dies ist vor allem dann der Fall, wenn der Luftaustausch durch die windbremsende Wirkung zu stark reduziert wird und sich die Fläche zwischen den Gehölzstreifen aufheizen kann. Es sollte daher darauf geachtet werden, dass trotz des Windschutzes ein ausreichender Luftaustausch gewährleistet ist, beispielsweise indem die Stirnseiten einer streifenförmig angeordneten Agroforstfläche offenbleiben.

Generell sind **Ausrichtung, Höhe und Abstand der Gehölzstreifen** wichtige Stellgrößen, um das Mikroklima zu beeinflussen. Je höher die Bäume und je enger die Abstände sind, desto stärker ist der Kühlungseffekt. Allerdings nehmen



Abbildung 54: Agroforstsystem mit dreijährigem Pappelbestand und Getreideanbau in Brandenburg. Durch die Transpiration der Bäume wird die Temperatur in der Umgebung gekühlt und die Luftfeuchtigkeit steigt.

dann auch der Wasserverbrauch durch die Bäume sowie der Flächenanteil zu, auf denen Konkurrenzeffekte auftreten. Sollen gängige Ackerkulturen wie Getreide oder Ölfrüchte angebaut werden und die Baumhöhe im Mittel unter 15 Metern bleiben, so sind Abstände zwischen 30 und 80 Metern sinnvoll.

4.3.2 Beitrag zum Wasserrückhalt

Studien in Brandenburg haben gezeigt, dass an Sommertagen die potenzielle Bodenverdunstung zwischen den Gehölzstreifen bei einem Abstand von 50 Metern um durchschnittlich 27 Prozent niedriger ist als auf einem Acker Schlag ohne Gehölze (Kanzler et al. 2017; Kanzler et al. 2019). Die Bäume tragen also dazu bei, im Bereich der Feldfrüchte **mehr Wasser auf der Fläche zu halten**, das dann den Ackerkulturen zur

Produktion von Biomasse zur Verfügung steht. Die potenziell höhere Transpiration der Bäume wirkt sich in Agroforstsystemen, in denen die Gehölzfläche einen untergeordneten Flächenanteil von zumeist fünf bis 20 Prozent einnimmt, dabei nicht nachteilig aus. Vielmehr übersteigt der wassersparende Effekt einer deutlich reduzierten Bodenverdunstung den höheren Wasserverbrauch der Bäume zumeist deutlich. Dies wird durch Forschungsergebnisse von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern aus Göttingen untermauert, die Agroforstflächen und benachbarte Reinkulturflächen bezüglich der Evapotranspiration verglichen und feststellten, dass es durch die Bäume nicht zu einem erhöhten Wasserverlust in die Atmosphäre kommt (Markwitz 2020).

Ein weiterer Vorteil der Bäume in einem Agroforstsystem ist, dass sie die **Infiltration**

des Niederschlagwassers in den Boden erhöhen und somit den Oberflächenabfluss und damit auch den Bodenabtrag durch Wasser verringern. Zudem verkürzen bei geneigtem Gelände quer zur Hangneigung gepflanzte Gehölzstreifen die Hanglänge, wodurch auch die Fließgeschwindigkeit des Oberflächenabflusses stark herabgesetzt wird. Agroforstgehölze bewirken somit, dass ein Großteil des Niederschlagwassers auf der Fläche verbleibt.

Somit stellen Agroforstsysteme eine geeignete Form des Landbaus dar, um Wasser auf den Flächen zurückzuhalten und die Wasserverfügbarkeit für die dort wachsenden Kulturen zu steigern. Sie bieten auf einfache Art und Weise eine effiziente Möglichkeit, landwirtschaftlich genutzte Flächen besser an die sich ändernden Klimabedingungen anzupassen. Mit Blick auf den Wasserrückhalt betrifft dies insbesondere das Überstehen von Trockenperioden. Aber auch Schäden durch Starkregenereignisse und Starkwinde beziehungsweise Stürme können durch die Schutzwirkung der Bäume abgemildert werden. In der Konsequenz sorgen die Bäume und Sträucher in einem Agroforstsystem so für eine höhere Ertragsstabilität. In vielen, insbesondere durch Wassermangel gekennzeichneten Regionen konnten zudem höhere Ackerfruchterträge je Einheit Anbaufläche nachgewiesen werden (Böhm et al. 2020).

Weiterführende Informationen finden Sie hier:

www.praxis-agrar.de/wasser-landwirtschaft



4.4 Keyline Design: Effiziente Wassernutzung und nachhaltige Landwirtschaft

Dr. Philipp Gerhardt, baumfeldwirtschaft.de

Keyline Design ist ein Planungsansatz, um Wasser effektiver und effizienter auf landwirtschaftlichen Flächen zu nutzen. Er wurde in den 1940er-Jahren in Australien von P. A. Yeomans entwickelt (Yeomans 1954). Häufig wird er mit Agroforstwirtschaft kombiniert. Dabei wird die Geländekontur analysiert und genutzt, um Wasser in der Landschaft zu verteilen und in die Bereiche zu leiten, wo es am meisten benötigt wird. Das Konzept fußt darauf, dass durch die Beeinflussung des Wasserhaushalts an einem Ort gleichzeitig Böden, Pflanzenwachstum und Mikroklima verbessert werden können.

Was bedeutet Keyline Design heute?

Ursprünglich ist Keyline Design ein ganzheitliches Gestaltungsprinzip, bei dem die Landschaft mit Bezug auf verschiedene Faktoren betrachtet wird, die die Nachhaltigkeit der Landwirtschaft sicherstellen. Es umfasste unter anderem ein System, das mithilfe des sogenannten **Schlüsselpunkts** (*keypoint*) und der dazu horizontal verlaufenden **Schlüssellinie** (*keyline*) Oberflächen- und Bodenwasser aus Tälern und Hangmulden auf Talflanken und Geländerücken leiten soll. Dieser Teil des Keyline Designs ist aus heutiger Sicht für die kleinräumige Landwirtschaft in Europa ungeeignet. Daher sind in den letzten zehn Jahren zahlreiche Verbesserungen eingeführt worden.



Abbildung 59: Ein Keyline Design schafft Strukturen im Gelände, um Wasser in der Landschaft gezielt zu verteilen und zu speichern.

Nach dem heutigen Verständnis des Keyline Designs muss auf die örtlichen Gegebenheiten eingegangen und eine effiziente Bewirtschaftung, Erosionsschutz und gutes Pflanzenwachstum sichergestellt werden. Da es die Keylines des ursprünglichen Ansatzes nicht mehr gibt, wird heute von **Wässerlinien** in Anlehnung an die Wässergräben auf traditionellen Hangwässerwiesen gesprochen. Dieses **Wässerliniensystem** oder auch **Hangwässersystem** ermöglicht, Oberflächenwasser gezielt in der Landschaft zu verteilen und versickern zu lassen. Gleichzeitig können die landwirtschaftlichen Flächen weiterhin gut bearbeitet werden. Ideal ist ein zielorientierter Ansatz, der verschiedene (auch traditionelle) Methoden kombiniert.

Abbildung 38 zeigt den Ausschnitt eines Keyline Designs im Ackerbau. Im Unterschied zu reinen Gehölzpflanzungen stoppen diese Geländemodellierungen effektiv Oberflächenabflüsse und Erosion.

Es ist erkennbar, dass sich 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). Das Wasser wird hier gezielt auf den Geländerücken (Kurve rechts im Bild) geleitet und versickert dort. So wurde auf einer Schlagfläche von 8,3 Hektar die abflusswirksame Fläche um etwa 68 Prozent reduziert. Auf 5,6 Hektar versickert somit jegliches Niederschlagswasser und kommt dem Pflanzenwachstum zugute (baumfeldwirtschaft.de 2022).

4.4.1 Anlage eines Keyline Designs und Wässerlinien in der Praxis

Für die Anlage eines Wässerliniensystems werden das Wissen aus der traditionellen Hangbewässerung, Kompetenzen aus dem Erdbau sowie moderne Vermessungs- und Planungsmethoden genutzt. Dabei steht



Abbildung 60: Ausschnitt eines Keyline Designs im Ackerbau.



Abbildung 61: Anlage von Verteil- und Sickergräben. Die Gräben fangen Oberflächenabflüsse auf und leiten sie auf die konvexe Geländeform, wo es vorher am trockensten war.

eine sinnvolle Integration in den landwirtschaftlichen Betrieb an erster Stelle. Durch die Planung mit modernen Vermessungstechniken und Fernerkundungsdaten werden auf die Fläche bezogene Bearbeitungsmuster erstellt. Diese berücksichtigen die Maschinenarbeitsbreiten, Kurvenradien und notwendigen Vorgewende im Betrieb.

Zwischen Acker- oder auch Grünlandflächen werden Streifen ausgewiesen, auf denen Agroforstgehölze angebaut sowie Gräben und Versickerungsmulden angelegt werden können (Abbildung 39). Als Gehölzkulturen liefern schnell wachsende Baumarten wie die Pappel Industrie- und Energieholz. Andere Baumarten wie die



Abbildung 62: Ein großflächiges Wasserliniensystem nach dem Keyline-Ansatz in Thüringen, bestehend aus Retentionsgräben mit Agroforst-Bepflanzung. Planung und Umsetzung durch die Firma baumfeldwirtschaft.de.

Walnuss zur Frucht- und Wertholzproduktion können eine zusätzliche Einnahmequelle in den Betrieb bringen.

Die Streifen mit Gräben und Bepflanzung nehmen die Veränderungen des Geländes auf und sind so angelegt, dass dazwischen gleichbleibend breite Flächen für die maschinelle Bearbeitung verbleiben. Die Bearbeitungsmuster dürfen auf keinen Fall zu viel Gefälle aufweisen, um punktuelle Konzentrationen und unkontrolliertes Überströmen zu verhindern. Somit muss neben betrieblichen Anforderungen auch eine Strategie in die Planung einfließen, um das aufgefangene Wasser verteilen, versickern, nutzen oder schadlos ableiten zu können. Außerdem werden je nach landschaftlichen Gegebenheiten verschiedene Strukturelemente integriert, um Flächen gezielt zu entwässern, Wasser zu speichern oder festgelegte Mengen zu versickern.

Diese sind beispielsweise:

- Sammel-, Verteil- und Sickergräben,
- Rohrsysteme,
- regelbare Stauungen,
- Speicher- und Versickerungsmulden oder
- Teiche.

Keyline Design darf nicht nach starren Gestaltungsregeln praktiziert werden, stattdessen sollte es flexibel ausgelegt und mit Fachwissen aus anderen Bereichen ergänzt werden. Bei der Ausgestaltung der Retentionsstreifen gibt es erhebliche Unterschiede. Die Erfahrung von baumfeldwirtschaft.de zeigt, dass Oberflächenabflüsse von reinen Grünstreifen nicht aufgenommen werden und zusätzlich Gräben für das Abfangen von Starkregen unerlässlich sind. Es braucht sehr genau geplante Gefälle, Fließstrecken, Versickerungszonen und Vorkehrungen für eine schadlose Ableitung

zu großer Wassermengen bei extremen Niederschlägen. Nur so können Boden-erosion und Oberflächenabfluss möglichst vermieden werden.

Für das Abfangen von Starkregen sind Gräben unverzichtbar. Es kommen Grabenprofile zum Einsatz, die stabil und leicht zu pflegen sind. Um große Wassermengen bei extremen Niederschlägen schadlos abzuleiten, müssen Fließpfade und Art des Abflusses genau geplant werden. Mit einem guten Wasserliniensystem lässt sich Oberflächen- und Bodenwasser von feuchteren Stellen zu trockenen Bereichen leiten. Der Wasserhaushalt einer landwirtschaftlichen Fläche wird ausgeglichen und damit die Bedingungen für das Pflanzenwachstum am Standort verbessert (del Carmen Ponce-Rodríguez et al 2021). Bei Starkregen können je nach Niederschlagsintensität und Gestaltung des Systems bis zu 100 Prozent des Oberflächenabflusses in der Fläche versickern, wenn das Retentionsvolumen und die Versickerungsleistung groß genug sind (Gerhardt 2024).

4.4.2 Vielversprechender Ansatz für Mikroklima und Klimaanpassung

Aufbauend auf dem Keyline Design kann durch minimale Bodenbewegungen, eine gezielte Anlage von Wasserlinien und Gehölzpflanzungen in der Landwirtschaftsfläche ein signifikanter Beitrag zum Schutz vor Hochwasser, Erosion und weiteren Schäden durch Starkregen geleistet werden. Die Gehölzpflanzungen stabilisieren den Boden, nehmen das Wasser auf und sorgen mit Verdunstung und Kühlung ebenfalls für ein besseres Mikroklima.

Durch die verbesserte Wasserspeicherung und verminderten Oberflächenabfluss verbleibt mehr Feuchtigkeit im Boden. Dies führt zu einer gleichmäßigeren Bodenfeuchte. Feuchte Böden tragen zu stabileren Temperaturen bei, da sie langsamer auf Temperaturänderungen reagieren als trockene Böden. Darüber hinaus fördert die vermehrte Vegetation die Verdunstung. Damit steigt die Luftfeuchtigkeit, was zu einem gemäßigteren Mikroklima auf der Fläche führt (Jacobs et al. 2022).

Keyline Design ist sowohl für konventionell als auch ökologisch wirtschaftende Betriebe und jede Betriebsgröße geeignet. Je nach Lage der Fläche können verschiedene Ziele wie Erosions- und Hochwasserschutz oder Dürreprävention verfolgt werden. Insbesondere die Kombination von Agroforstpflanzungen und Gräben ermöglicht viel Wasserrückhalt in der Fläche. Damit ist der Keyline-Ansatz bei richtiger Umsetzung geeignet, die Landwirtschaft nachhaltiger zu gestalten und an die laufenden Klimaveränderungen anzupassen.

Modellierungsstudien zeigen, dass bei der Anlage von produktionsintegrierten Retentionsstrukturen mit Agroforstkulturen und Retentionsgräben auf größeren Flächen signifikante Verringerungen von Hochwasserpegeln möglich sind (Ryan et al. 2015). Für Deutschland werden derzeit Forschungsprojekte durchgeführt, die hier genauere Zahlen liefern können. Die Beobachtungen in der Praxis legen nahe, dass es sinnvoll wäre, in sensiblen Gebieten sogar die Flurordnung zu überarbeiten, um eine bessere Versickerung in der Fläche zu erreichen.

Fazit

Beim Planen und Umsetzen eines Keyline Designs sollte darüber informiert werden, welche Methoden eingesetzt werden, um ein sicheres, funktionales und landwirtschaftlich gut nutzbares System zu gewährleisten. Die Anlage erfordert Kenntnis der traditionellen Hangbewässerung, Kompetenzen aus dem Erdbau, moderne Vermessungs- und Planungsmethoden sowie ein Verständnis für den landwirtschaftlichen Betrieb. Somit ist eine gründliche Planung im intensiven Austausch mit den Bewirtschaftenden notwendig, die den Betrieb auch über die Anlage hinaus bei der Pflege und Bewirtschaftung des Systems begleitet.

Weiterführende Informationen
finden Sie hier:

[www.praxis-agrar.de/
wasser-landwirtschaft](http://www.praxis-agrar.de/wasser-landwirtschaft)



4.5 Ansätze zur Verbesserung des Mikroklimas auf landwirtschaftlichen Flächen

In den vorherigen Kapiteln wurden Strategien des ackerbaulichen Flächenmanagements vorgestellt, um den Wasserrückhalt landwirtschaftlicher Flächen zu verbessern und auf klimatische Veränderungen zu reagieren. Zudem wurden Agroforstanlagen und das Konzept des Keyline Designs vorgestellt, insbesondere mit Blick auf ihren Einfluss auf das Mikroklima von Landschaften.

In diesem Kapitel werden nun exemplarisch Hagelnetze (Kapitel 4.5.1) und

Agri-Photovoltaikanlagen (Kapitel 4.5.2) vorgestellt, da sie als Nebeneffekte ihrer eigentlichen Funktion auch das Mikroklima von landwirtschaftlichen Flächen verändern.

Hagelnetze sind primär eine Schutzmaßnahme vor Hagelschäden, insbesondere im Obstbau. Gleichzeitig schützen sie aber beispielsweise auch vor Sonnenbrand an Früchten und erhöhen die Luftfeuchtigkeit, was sich auf das Mikroklima im Pflanzenbestand unter den Netzen auswirkt.

Ebenfalls wird ein Einblick in die kombinierte Flächennutzung zur Stromerzeugung und landwirtschaftlichen Produktion über **Agri-Photovoltaikanlagen** gegeben. Im vorgestellten Beispiel wurde der Anbau von Ackerbohnen und Raps mit der Energieerzeugung über aufgeständerte PV-Module kombiniert. Auch hier ergibt sich als Nebeneffekt ein Einfluss auf das Mikroklima unter den Solarmodulen und auf das Wassermanagement der Pflanzen.

4.5.1 Anlage und Funktion von Hagelnetzen: Wie sie das Mikroklima verändern

*Dr. Michael Blanke, INRES
Gartenbauwissenschaften*

4.5.1.1 Hagelschäden vermeiden

Hagel ist ein regionales Ereignis, das sich kleinflächig auswirken kann – im Gegensatz zu Temperatur- und CO₂-Anstiegen als großflächige Folgen des rezenten Klimawandels. Die deutschen Hagelversicherer meldeten für 2023 das höchste Schadensjahr in ihrer Geschichte: Über alle

landwirtschaftlichen und gartenbaulichen Kulturen hinweg betrugen die Schäden fast fünf Millionen Euro für 334 gemeldete Schäden auf den Flächen der bei ihr versicherten Mitglieder (Hagelgilde 2024).

Internationale Modelle gehen für Europa für die Zukunft von häufigeren und stärkeren Hagelereignissen aus (Battaglioli et al. 2026). Wenn Wasser in Ambosswolken (Kumulonimbus) in der untersten Luftschicht (der Troposphäre) zu Eis kristallisiert, entsteht Hagel. Einzelne Eiskristalle können bis zu zehn Zentimeter groß werden, bei uns erreichen die meisten Hagelkörner etwa fünf bis 12 Millimeter Durchmesser. Die Größe der Hagelkörner entscheidet über die Art der Pflanzenschäden und bestimmt die Konstruktion von Hagelnetzen (Blanke 2007).

Hagel kann erheblichen Schaden an landwirtschaftlichen und gartenbaulichen Kulturen verursachen. Nicht nur Obstbaum- und Rebbestände, sondern auch Getreide, Raps und Feldfrüchte wie Mais, Kartoffeln, Rüben oder Sojabohnen können durch Hagelschlag schwer beschädigt werden.

Hagelschäden vermeiden

Hagelkörner verursachen meistens einen Riss in der Blattspreite, also keine Löcher. Dieser Riss in der Blattspreite verursacht einen Wasserverlust an den Wundstellen und wirkt sich sofort auf die Spaltöffnungen (Stomata) aus. Dadurch fallen stomatare Transpiration und Photosyntheseleistung ab – sie erholen sich jedoch innerhalb von etwa drei Stunden, wenn die Wundheilung an den Rissen eintritt (Tartachnyk und Blanke 2002).



Abbildung 67: Drei typische Hagelkörner im Rheinland im Größenvergleich von fünf bis 12 Millimetern.

Die Schäden an Blättern und Bäumen können gravierend sein. Hagelschäden an Früchten mindern die Qualität und führen zum Ausschluss von der Vermarktung in Handelsklasse 1, was erheblichen Wertverlust bedeutet. Neben Hagelfliegern, Hagelkanonen und Hagelversicherungen leisten **Hagelnetze** einen wesentlichen Beitrag, um diese Hagelschäden zu minimieren – sie **sind das Mittel der Wahl im Obstbau**. Sie werden zur Obstblüte im April aufgespannt und werden zur Ernte wieder aufgerollt. Zum Schutz vor UV-Strahlung werden die Hagelnetze im Winter zusammengerollt und oft zusätzlich mit schwarzer Folie abgedeckt.

Funktionsweise und Struktur von Hagelnetzen

Hagelnetze fangen die Hagelkörner nicht auf, sondern leiten sie gezielt in den Grasstreifen der Fahrgasse zwischen den



Abbildung 68: Hagelnetze über Apfelbäumen in Klein-Altendorf schützen die Früchte und Bäume vor Hagelschäden.

Baumreihen ab. Daher sind die Netzbahnen etwas breiter als der Reihenabstand der Obst- oder Rebkultur. Sie werden straff und im schrägen Winkel nach unten verspannt, um eine Taschenbildung zu vermeiden.

Auch wenn Hagelnetze generell einen guten Schutz vor Hagel bieten, kann es zur Überlastung kommen, beispielsweise bei großen Hagelkörnern oder bei Schneefall, gefolgt von Regen. In diesem Fall saugt sich der Schnee auf den verspannten Hagelnetzen wie ein Schwamm mit Regen voll. Dies führt zu großen Gewichtsbelastungen für die Anlage und kann zum Zusammenbruch führen, was einen Totalschaden bedeutet.

Das Risiko für einen Zusammenbruch der Anlage kann über die Struktur der Hagelnetze reduziert werden. Hagelnetze bestehen meist aus HD-PE (High

Density Polyethylen)-Kunststoffäden mit einer Stärke von 0,32 bis 0,34 Millimetern und Maschenweiten zwischen 3×7 Millimetern bis 3×9 Millimetern. Der Längsfaden (längs zur Baumreihe) ist oft doppelt und in sich verschlungen. Der Quersfaden (quer zur Baumreihe) ist einfach. Der einfache Quersfaden übernimmt die Rolle einer Sollbruchstelle, die verhindern soll, dass die ganze Konstruktion bei Überlastung zusammenbricht.

4.5.1.2 Einfluss von Hagelnetzen auf das Mikroklima

Hagelnetze haben zahlreiche Auswirkungen auf das Mikroklima in Baumbeständen. Sie bieten nicht nur Schutz vor Hagelschäden, sondern beeinflussen die Lichtverhältnisse, Temperatur und Luftfeuchtigkeit in der Obstanlage. Die Lichtdurchlässigkeit der

Netze bestimmt, wie viel Sonnenlicht die Pflanze erreichen kann. Damit beeinflussen die Netze auch die Photosyntheseleistung und das Wachstum der Pflanzen sowie die Ausfärbung der Früchte.

Lichtdurchlässigkeit von Hagelnetzen

Hagelnetze haben unterschiedlichen Einfluss auf die Lichtdurchlässigkeit: Je nach Maschenweite und Farbe der Netzfäden verändert sich die Durchlässigkeit für photosynthetisch aktive Strahlung (PAR).

Kristallnetze bestehen aus transparenten Fäden und haben die höchste Lichtdurchlässigkeit mit etwa 88 bis 92 Prozent. Allerdings ist die Lebensdauer kürzer als bei schwarzen Netzen.

Schwarze Hagelnetze haben eine lange Lebensdauer und lassen 78 bis 82 Prozent Licht durch.

Graue Hagelnetze, die aus zwei Dritteln kristallinen und einem Drittel schwarzen Fäden bestehen, erreichen eine Lichtdurchlässigkeit von 84 bis 85 Prozent.

Zebranetze, die aus transparenten Längsfäden sowie schwarzen und transparenten Querfäden im Verhältnis 5:8 bestehen, erreichen eine Lichtdurchlässigkeit von 87 bis 90 Prozent (Protze et al. 2012).

Lichtverlust durch Hagelnetze

Untersuchungen zeigen, dass der Lichtverlust durch Hagelnetze in unseren Breiten so stark ist, dass Apfelbäume sogenannte **Schattenblätter** mit verringerter Blattdicke und weniger Palisadenzellen bilden, um den Lichtverlust zu kompensieren. Gleichzeitig bilden die Bäume lange Triebe,

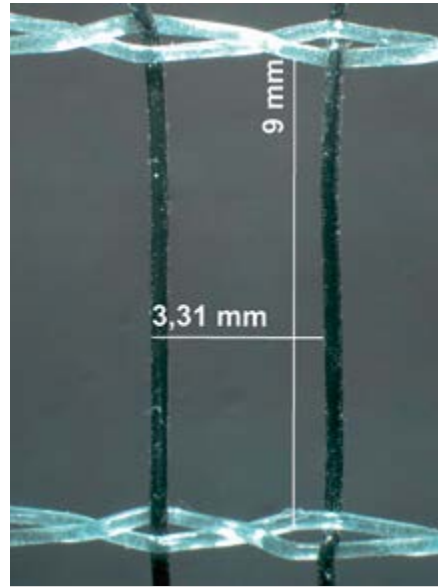


Abbildung 69: Die Struktur von Hagelnetzen ist entscheidend für die Schutzwirkung. Das Beispiel zeigt ein graues Hagelnetz, bestehend aus zwei ineinander verschlungenen transparenten Längsfäden und schwarzem Querfaden mit einer Maschenweite von $3,3 \times 9$ Millimetern.

die dem Licht entgegenwachsen – die sogenannte **Schattenflucht** oder auch *Shade avoidance syndrome* (Solomakhin und Blanke 2010).

Der Lichtverlust kann zu einer verminderten Blüteninduktion und reduziertem Fruchtansatz führen. So kann die Alternanz, der Wechsel von ertragreichen und ertragsarmen Jahren, gefördert werden (Wehrle et al. 2018). Als Folge des Lichtverlustes sinken die Photosyntheseleistung und Transpiration unter Hagelnetzen und die Ausfärbung der Früchte. Vor allem die vom Konsumenten und Handel geforderte rote Farbausprägung der Früchte kann unter Hagelnetzen stark reduziert sein.

Der Lichtverlust kann jedoch durch Pflegemaßnahmen reduziert werden. Beispiele dafür sind:

- Verwendung heller Hagelnetze mit höherer Lichtdurchlässigkeit,
- Baumerziehung als offene Baumkrone/Spindel,
- Verwendung roter Mutanten,
- später Sommerschnitt,
- lichtreflektierende Mulchmaterialien,
- pneumatische Entlaubung der unteren Baumkrone etwa zwei Wochen vor der Ernte und
- Öffnen der Hagelnetze etwa zwei Wochen vor der Ernte mit einem Restrisiko für Hagelschlag.



Abbildung 70: Schattenflucht – die Obstbäume bilden lange Triebe, die dem Licht entgegenwachsen.

Schutz vor Hitze im Sommer

Die jährliche Niederschlagsmenge verschiebt sich in manchen Obstbauregionen um etwa 30 Millimeter vom Sommer in die Wintermonate (Kunz und Blanke 2022). Dennoch verfügen die meisten Anbauregionen im Jahresmittel über ausreichend Niederschläge.

Gegenüber dem Freiland sind die Temperaturen unter Hagelnetzen bis zu 3,2 Grad Celsius kühler, da die direkte Sonneneinstrahlung reduziert wird (Solomakhin und Blanke 2010; Szabó et al. 2021). Dadurch wird Hitzestress bei den Bäumen verringert und das Risiko für Sonnenbrand sinkt. Darüber hinaus erhöhen sie die Luftfeuchtigkeit um drei bis fünf Prozent. Die Netze wirken als Barriere, sodass es im Bestand weniger Windbewegung gibt. Die Temperaturabsenkung und der Windschutz führen zu weniger Verdunstung oder Evapotranspiration und damit zu einer Wasserersparnis. Das kann insbesondere in trockenen Perioden vorteilhaft sein, da die Wasserverfügbarkeit durch die erhöhte Luftfeuchtigkeit steigt.

Chilling-Effekt

Hagelnetze sind im Winter zum Schutz vor der Witterung meist aufgerollt. Werden sie aufgespannt, können sie auch in Wintermonaten ohne Schnee die Temperatur im darunterliegenden Bestand reduzieren. Um Blüten bilden zu können, benötigen Obstbäume und Weinreben eine Kälteperiode im Winter (*Chilling*). In Gebieten und Jahren mit ungenügendem Kältereiz im Winter können Hagelnetze bei der Erfüllung dieses Kältebedürfnisses unterstützen, wenn sie aufgespannt werden.

Vor allem dunkle Hagelnetze können dann dazu beitragen, die Temperatur zu senken. Erste Versuche in Chile zeigten an Wintertagen mit direkter Sonneneinstrahlung eine Kühlung von bis zu vier Grad Celsius (Tudela 2026). Somit könnten Hagelnetze insbesondere in milden Wintern helfen, den für die Obstbaumdormanz nötigen Kältereiz zu erreichen und so eine gute Blütenbildung im nächsten Frühjahr zu ermöglichen.

Insgesamt führt die Schattierung durch Hagelnetze zu geringeren Temperaturen sowie weniger Windbewegung in der Kultur und kann zum Erreichen des Kältereizes beitragen.

Weitere positive Effekte von Hagelnetzen sind neben dem Schutz vor Hagelschlag auch die schützende Funktion der Früchte vor Vogelfraß und Sonnenbrand und die Verringerung der Transpiration beziehungsweise des Wasserverbrauchs der Kulturen. Andererseits können die Hagelnetze die Blütenbildung und Fruchtausfärbung vermindern und sind kosten- und arbeitsintensiv.

Weiterführende Informationen
finden Sie hier:

[www.praxis-agrar.de/
wasser-landwirtschaft](http://www.praxis-agrar.de/wasser-landwirtschaft)



4.5.2 Exkurs: Mikroklima in Agri-Photovoltaikanlagen – Schutz und Effizienz für eine nachhaltige Landwirtschaft

*Dr. Christoph Jedmowski,
Forschungszentrum Jülich – Institut
für Bio- und Geowissenschaften:
Pflanzenwissenschaften*

Die Agri-Photovoltaik (Agri-PV) ist ein Verfahren zur Kombination von Pflanzen- und Stromproduktion. Sie kann durch die doppelte Landnutzung einen Beitrag zur Vermeidung von Flächenkonkurrenz und damit zum Erhalt landwirtschaftlicher Flächen leisten. Durch die Beschattung des Pflanzenbestandes entsteht in Agri-PV-Anlagen ein Mikroklima, das sich auf vielfältige Weise von den Bedingungen unbauter landwirtschaftlicher Flächen unterscheidet. Aufgrund des Schattenwurfs durch die PV-Module sowie der tragenden

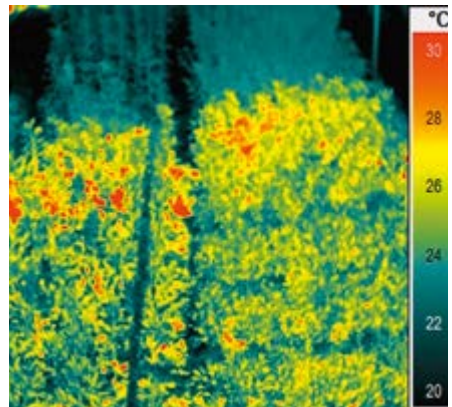


Abbildung 72: Der Schattenwurf verändert das Mikroklima, neben den Lichtmengen insbesondere auch die Temperatur des Bestandes. Unter den PV-Elementen beziehungsweise im Schatten der Elemente ist es kühler (blau) als in den nicht beschatteten Flächen (gelb und rot).

baulichen Strukturen steht den Kulturen für das Wachstum ein geringeres Lichtangebot zur Verfügung. Dies geht jedoch einher mit dem Schutz der Pflanzen vor zu intensiver Sonneneinstrahlung und dadurch verursachter Schäden, etwa durch Sonnenbrand an Blättern und Früchten. Schutzbedürftige Kulturen (wie beispielsweise Äpfel und Beerenobst) profitieren dadurch, während es bei lichtbedürftigen Ackerkulturen (unter anderem Raps und Ackerbohne) je nach Witterung zu negativen Effekten kommen kann. Die verringerte Einstrahlung bewirkt zudem kühlere Temperaturen bei warmen Wetterverhältnissen, während die Module empfindliche Kulturen gleichermaßen vor Frostereignissen schützen können.

4.5.2.1 Wassermanagement in Agri-PV-Anlagen

Insbesondere vor dem Hintergrund des fortschreitenden Klimawandels, einhergehend mit langanhaltenden Trockenperioden, ist ein effizientes Wassermanagement in den Anlagen von zentraler Bedeutung. Die Beschattung bewirkt zum einen geringere Wasserverluste durch Verdunstung. Je nach Bauart (Modulabstände, lichte Höhe) der aufgeständerten Module haben sie einen teilweisen oder vollständigen Regenschatten im Bestand zur Folge. Daraus ergeben sich spezielle Anforderungen an das Wassermanagement auf der Fläche.

Die Versorgung aller Pflanzen des Bestandes muss durch geeignete Maßnahmen der Wasserverteilung sichergestellt werden, die wiederum für spezifische Anlagentypen der Agri-PV-Anlage und Anbauverfahren kombiniert werden können. Zum Beispiel kann das Regenwasser durch eine

trichterförmige Neigung der Module gesammelt, gespeichert und den Pflanzen bedarfsgerecht und gleichmäßig verteilt wieder zugeführt werden. Idealerweise kann so für lange Zeit auf eine externe Wassergabe verzichtet werden. Es werden jedoch Investitionen, etwa zur Anschaffung und Wartung von Bodenfeuchtesensoren, Pumpen und Bewässerungsschläuchen nötig.

Versuche an Ackerbohnen ergaben, dass durch Tröpfchenbewässerung Ertragseinbußen reduziert werden konnten (Abbildung 47). Durch die starke Beschattung bei einer lichten Höhe von 2,50 Metern lag die Ernte bei etwa 80 Prozent im Vergleich zur Freifläche. In sehr trockenen Jahren wurden in einer anderen Anlage auch Ertragssteigerungen unter anderem für Kartoffeln und Weizen beobachtet (Fraunhofer ISE 2025).

Die DIN SPEC 91434 unterscheidet **aufgeständerte Anlagen** mit einer lichten Höhe von mindestens 2,10 Metern (Kategorie I) und **bodennahe Anlagen**, bei denen die Bewirtschaftung zwischen den Modulen stattfindet (Kategorie II). Ein Beispiel sind **vertikale Agri-PV-Systeme**. Diese sind eine Alternative – insbesondere beim Anbau niedrigwachsender Ackerkulturen – mit einer anderen Wirkung auf die Lichtverfügbarkeit und Niederschlagsverteilung (Zainali 2024). Zudem gibt es hier weniger Einschränkungen beim Einsatz landwirtschaftlicher Maschinen, da nicht unterhalb der Module, sondern zwischen den Modulreihen gearbeitet wird. Diese Systeme können – analog beispielsweise zur Agroforstwirtschaft – zudem Erosion und Bodenaustrocknung durch verringerte Windgeschwindigkeiten im Bestand reduzieren (Zainali 2024).



Abbildung 73: Regenschatten in einer Agri-PV-Anlage: Bei Niederschlägen und gleichzeitig geringen Windgeschwindigkeiten werden die Bereiche unterhalb der Module wenig mit Wasser versorgt.



Abbildung 74: Ackerbohnenanbau in einer Agri-PV-Versuchsanlage in Jülich (lichte Höhe von 2,50 Metern, Giebelhöhe 4,50 Meter): Ohne zusätzliche Wasserversorgung unter den Modulen (2022) etwa 35 Prozent Ertragsrückgang, mit Wasserversorgung (2023) etwa 20 Prozent Ertragsrückgang.



Abbildung 75: Auswaschungen durch abtropfendes Regenwasser in Raps (Anlage mit lichter Höhe von 5,50 Metern, Herbst 2023). Hier ist auf eine gute Wasserführung zu achten.

In der Praxis sind zudem unter Umständen auch unerwünschte Effekte an der Abtropfkante der Module in aufgeständerten Anlagen zu beobachten. Durch abtropfendes Regenwasser können Boden und abgelegtes Saatgut ausgewaschen werden (Abbildung 48), was Keimung und Wachstum der Pflanzen beeinträchtigt.

Auch in Dauerkulturen ist dies zu beachten, da beispielsweise das Wasser nicht in vorhandene Fahrspuren abtropfen sollte, um eine Überbeanspruchung der Vegetation zwischen den Pflanzreihen zu vermeiden.

4.5.2.2 Synergieeffekte durch abgestimmte Anlagen und Zielkultur

Das spezielle Mikroklima in Agri-PV-Anlagen bietet somit Chancen für eine effiziente Anbaupraxis. Insbesondere die Folgen von Wetterextremen können abgemildert werden. Entscheidend ist, dass Anlagentyp und Zielkultur aufeinander abgestimmt werden, um Synergieeffekte gezielt zu nutzen. Auf diese Weise kann eine nachhaltige Pflanzen- und Energieproduktion mit gesteigerter Flächennutzungseffizienz ohne Verlust landwirtschaftlicher Flächen gelingen.

Weiterführende Informationen
finden Sie hier:

[www.praxis-agrar.de/
wasser-landwirtschaft](http://www.praxis-agrar.de/wasser-landwirtschaft)





5 Zusammenfassung und Fazit

Der Klimawandel bringt unter anderem steigende Temperaturen und veränderte Niederschlagsmuster mit sich. Es wird prognostiziert, dass der Bewässerungsbedarf in der Landwirtschaft bis 2100 erheblich steigen wird. Schon heute ist erkennbar, dass in Regionen wie Nordost-Niedersachsen der Wasserbedarf nicht allein aus den Grundwasservorkommen gedeckt werden kann (BMUV 2023). Die landwirtschaftliche Wasserversorgung in Deutschland steht also vor einem Transformationsprozess.

Die Nationale Wasserstrategie (BMUV 2023) benennt als zentrales Ziel, die Wasserversorgung langfristig so zu gestalten, dass

- der Zugang zu sauberem Trinkwasser erhalten bleibt,
- der verantwortungsvolle Umgang mit Grund- und Oberflächengewässer gesichert ist,
- der natürliche Wasserhaushalt erhalten bleibt und
- die ökologische Entwicklung der Gewässer unterstützt wird.

Für die Landwirtschaft bedeutet das: Ressourcen müssen effizienter genutzt und geschützt, der Wasserrückhalt gestärkt und neue Wasserquellen integriert werden.

Seit den 90er-Jahren liegen die Sommertemperaturen konstant über dem vieljährigen Mittel, was den Wasserbedarf der Pflanzen erhöht und das Risiko von Trockenstress steigert. Besonders während der Wachstumsphase ist eine ausreichende Bodenfeuchte entscheidend für die Ertragssicherheit. Grundsätzlich ist mit einer größeren Variabilität der Niederschläge zu rechnen und extremere Wetterereignisse wie Hitze, Starkregen und Spätfröste nehmen zu. Die Landwirtschaft muss sich also an die zu erwartenden Auswirkungen des Klimawandels anpassen, um Ernteverluste zu vermeiden und die Produktivität langfristig zu sichern.

Herausforderungen für die landwirtschaftliche Bewässerung

Langfristig steigt der Bewässerungsbedarf in der Landwirtschaft (Stein et al. 2024), daher wächst die Bedeutung effizienter und sparsamer Bewässerungssysteme und deren optimale Steuerung.

Neben natürlichen Quellen wie Regenwasser, Grundwasser und Oberflächenwasser können **alternative Wasserressourcen** wie aufbereitetes Wasser aus Kläranlagen und Gewerbe eine sinnvolle Ergänzung sein. Ein Beispiel aus Niedersachsen zeigt, dass ihre Nutzung zur landwirtschaftlichen Bewässerung die Grundwasservorkommen entlasten kann.

Veränderungen in der landwirtschaftlichen Bewässerung können andere Anpassungsmaßnahmen jedoch nur ergänzen und nicht ersetzen. Besondere Bedeutung haben die folgenden Ansätze zur Verbesserung von Wasserrückhalt und -speicherung in der Landschaft.

Mit vorsorgender Bewirtschaftung den Wasserrückhalt verbessern

Klimawandelbedingt ist nicht nur mit steigenden Temperaturen und Trockenheit zu rechnen, sondern auch mit vermehrten Extremwetterereignissen wie Starkregen. Deshalb betont die Nationale Wasserstrategie (NWS) die Bedeutung des Landschaftswasserhaushalts und des Bodens.

Durch Maßnahmen der vorsorgenden Landbewirtschaftung kann mehr Niederschlagswasser in kurzer Zeit versickern und vom Boden aufgenommen werden – so sinkt das Risiko für Hochwasser und Erosion. Beispielsweise verbessern eine humusfördernde Bewirtschaftung, reduzierte Bodenbearbeitung, ganzjährige Bodenbedeckung, der Anbau von Zwischenfrüchten sowie eine angepasste Fruchtfolge die Wasserspeicherefähigkeit von Böden, begünstigen die Grundwasserneubildung und reduzieren den Bewässerungsbedarf.

Zur Erhaltung eines gesunden und fruchtbaren Bodens gilt es außerdem, Erosion zu minimieren und Bodenschadverdichtung zu vermeiden. Dazu tragen beispielsweise Randstreifen, begrünte Fahrspuren, kleinere Bewirtschaftungseinheiten sowie Landschaftselemente wie Agroforstanlagen und Saumbiotopen wie Hecken bei. Sie helfen als natürliche, dauerhafte Barriere, den Oberflächenabfluss zu steuern und zu reduzieren. Auch eine gezielte Kalkung und reduzierte beziehungsweise witterungsangepasste Flächenbefahrung fördern die Stabilität der Bodenstruktur.

Grünland und Agroforst als natürliche Wasserspeicher

Nicht nur im Ackerbau gibt es Maßnahmen zur Verbesserung des Landschaftswasserhaushalts. Die Umwandlung von Ackerland in **Dauergrünland** bringt weitere Vorteile. Dauergrünland schützt durch die ganzjährige Pflanzendecke effektiv vor Erosion, verbessert die Wasserinfiltration, speichert große Mengen Kohlenstoff in den oberen Bodenschichten und verringert das Risiko von Nährstoffverlusten.

Durch den Klimawandel beginnt die Vegetationsperiode früher und dauert länger an. Das erfordert eine flexible, an Feuchte- und Trockenphasen angepasste Schnitt- und Weidestrategie, um Ertrag und Futterqualität zu sichern. So eignet sich bei zunehmender Trockenheit das System der Kurzrasenweide mit ständiger Beweidung bei hoher Tierdichte weniger, während Mähweiden häufig ertragreicher sind. Auch eine klimaangepasste Sorten- und Artenwahl wirkt sich positiv auf Grünlandbestände aus. Mischbestände aus trockenheitstoleranten Gräsern, Leguminosen und Kräutern wie Zichorie erhöhen die Ertragsstabilität.

Agroforstsysteme verbinden Ackerbau oder Grünland mit Bäumen und Sträuchern. Entgegen der Hauptwindrichtung angelegte Agroforstsysteme wirken als effektiver Windschutz und verbessern das Mikroklima, indem sie die Verdunstung aus dem Boden und Pflanzenbestand reduzieren. Sehr hohe Temperaturen werden durch die Transpiration der Bäume abgepuffert, Luftfeuchtigkeit und Taubildung steigen. Im Bereich der Gehölze verbessert sich zudem die Infiltration von

Niederschlägen und Oberflächenabfluss wird erheblich gemindert. Dadurch können landwirtschaftliche Flächen Trockenphasen besser überdauern und Starkregenereignisse unbeschadet überstehen. Gleichzeitig fördern Agroforstsysteme die Biodiversität und dienen der Biotopvernetzung.

Wasserrückhalt durch Keyline Design

Das Keyline Design oder auch Wasserliniensystem nutzt die natürliche Geländekontur, um Wasser gezielt in der Fläche zu verteilen, zu speichern und Verdunstungsverluste zu reduzieren. Das System wird so angelegt, dass eine effiziente Bewirtschaftung, Erosionsschutz und gutes Pflanzenwachstum sichergestellt sind. Ergänzend zu Agroforstreifen können Gräben, Versickerungsmulden, Speicherbecken und Rohrleitungen integriert werden, um Wasser gezielt zu versickern, zu speichern oder abzuleiten.

Dadurch werden Erosion und Hochwasserrisiken vermindert sowie der Wasserrückhalt verbessert, wodurch auch Trockenperioden besser überstanden werden können. Besonders in hochwassersensiblen Gebieten ist zu prüfen, ob ganze Landschaften entsprechend umgestaltet werden können. Dies kann jedoch nicht allein von der Landwirtschaft umgesetzt werden, sondern muss von Bund, Ländern und Kommunen gemeinsam realisiert werden.

Hagelnetze beeinflussen das Mikroklima

Hagelnetze gewinnen angesichts prognostizierter zunehmend intensiverer Hagelereignissen an Bedeutung. Sie schützen Obstanlagen vor Hagelschäden und damit vor witterungsbedingten Ertragseinbußen und beeinflussen zugleich das Mikroklima im Bestand unter den Netzen.

Sie reduzieren das Risiko von Sonnenbrand an den Früchten, erhöhen die Luftfeuchtigkeit, verringern Windbewegungen und senken die Temperaturen im Vergleich zum Freiland um bis zu 3,2 Grad Celsius (Solomakhin und Blanke 2010; Szabó et al. 2021). Studien aus Chile zeigen zudem, dass Hagelnetze in milderen Wintern den für die Blütenbildung erforderlichen Kältereiz unterstützen können (Tudela 2026). Die erhöhte Luftfeuchtigkeit im Obstbaumbestand erhöht die Wasserverfügbarkeit und reduziert Wasserverluste.

Insgesamt erhöhen Hagelnetze die Widerstandsfähigkeit der Bestände gegenüber den Folgen des Klimawandels und tragen zur Sicherung von Qualität und Ertrag bei.

Agri-PV-Anlagen für eine nachhaltige Landwirtschaft

Agri-Photovoltaik (Agri-PV) kombiniert die landwirtschaftliche Nutzung mit der Energieerzeugung durch Photovoltaikanlagen. Die Module schaffen durch die Beschattung ein Mikroklima, das sich stark von den unbeschatteten Flächen unterscheidet. Sie schützen vor intensiver Sonneneinstrahlung, reduzieren Sonnenbrandschäden der Pflanzen, senken die Temperaturen im Bestand und bieten empfindlichen Kulturen Frostschutz. Durch geringere Bodenverdunstung und Windschutz werden Wasserverluste und Erosion reduziert. Niederschlagswasser kann gezielt aufgefangen und beispielsweise über Tröpfchenbewässerung bedarfsgerecht den Pflanzen zugeführt werden.

Neben der nachhaltigen Stromproduktion tragen Agri-PV-Systeme zur Ressourcenschonung bei, indem sie landwirtschaftliche Flächen doppelt nutzen und eine klimaangepasste Produktion unterstützen.

Fazit

Der Klimawandel bringt steigende Temperaturen, veränderte Niederschläge und häufigere Wetterextreme mit sich. Um auf den steigenden Wasserbedarf zu reagieren und Ernteverluste zu vermeiden, ist ein klimaangepasster, bewusster und effizienter Umgang mit Wasser unerlässlich.

Die in den vorausgegangenen Kapiteln vorgestellten Maßnahmen und Technologien zeigen, wie landwirtschaftliche Betriebe Bodenfruchtbarkeit und Wasserspeicherung langfristig fördern, den Landschaftswasserhaushalt verbessern und ihre Produktion widerstandsfähiger gegenüber klimatischen Veränderungen gestalten können.

Gleichzeitig unterstützen sie die Ziele der Nationalen Wasserstrategie, die eine Zusammenarbeit aller wassernutzenden Sektoren betont. Für die landwirtschaftliche Praxis bedeutet das, Maßnahmen zu nutzen, die den Wasserrückhalt in der Fläche stärken, Erosion und Nährstoffausträge verringern sowie den natürlichen Wasserhaushalt unterstützen.

Diese Broschüre zeigt, wie landwirtschaftliche Betriebe ihren Beitrag zu einer nachhaltigen, zukunftsfähigen Wassernutzung leisten und ihre Erträge sichern können.

Anhang

Glossar

Agroforstsysteme: Als Agroforstsysteme werden Landnutzungssysteme bezeichnet, bei denen Gehölze wie Bäume und Sträucher mit landwirtschaftlicher Flächennutzung kombiniert werden. Es gibt silvoarable, silvopastorale und agrosilvopastorale Systeme. Bei den silvoarablen Systemen werden Gehölze mit Ackerkulturen angebaut, silvopastorale Systeme kombinieren Bäume mit Tierhaltung und agrosilvopastorale Systeme verbinden Gehölze mit Ackerkulturen und Tierhaltung. Durch die kombinierte Flächennutzung entstehen ökologische und ökonomische Vorteile (DeFAF 2024).

Aufbereitetes Wasser (teils auch als aufbereitetes Abwasser bezeichnet): Abwasser, das für eine weitere Verwendung entsprechend der jeweiligen Anforderungen aufbereitet wurde. Im Kontext der Verordnung (EU) 2020/741 über Mindestanforderungen für die Wasserwiederverwendung handelt es sich um behandeltes Abwasser aus kommunalen Kläranlagen, das für die landwirtschaftliche Bewässerung aufbereitet wurde (Helmecke 2024, persönliche Kommunikation).

Ackerbaustrategie 2035: Die Ackerbaustrategie 2035 wurde 2021 vom damaligen Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL), jetzt Bundesministerium für Landwirtschaft, Ernährung

und Heimat (BMLEH), veröffentlicht. Sie beschreibt den Rahmen für einen zukunfts-fähigen Ackerbau in Deutschland in Zeiten des Klimawandels (BMEL 2021).

Agri-Photovoltaik (Agri-PV): Agri-PV-Anlagen kombinieren auf einer Fläche landwirtschaftliche Nutzung und Stromerzeugung über Photovoltaikanlagen. So kann die landwirtschaftliche Fläche doppelt genutzt werden (Fraunhofer ISE 2026).

C3-Pflanzen: Die meisten Kulturpflanzen in unseren Breiten sind C3-Pflanzen. Sie betreiben ihre Photosynthese bei standort-typischen Temperatur- und Lichtverhältnissen. Bei heißem und trockenem Wetter schließen sie ihre Spaltöffnungen, wodurch ihre Photosyntheseleistung sinkt (Pflanzenforschung.de, o. J. a).

Chilling-Effekt: Im Obst- und Nussanbau muss das winterliche Kältebedürfnis erfüllt werden, damit die Bäume vollständig aus der Winterruhe erwachen und im Frühjahr gleichmäßig blühen (Luedeling et al. 2009).

DIN SPEC 91434: DIN-Norm für Agri-Photovoltaikanlagen: Anforderungen an die landwirtschaftliche Hauptnutzung. Das Regelwerk legt die Anforderungen an beispielsweise Planung, Betrieb und Dokumentation von Agri-PV-Anlagen fest. Das Regelwerk bezieht sich ausschließlich auf die landwirtschaftliche Nutzung (DIN Media GmbH 2021).

EU-Verordnung 2020/741: EU-Verordnung über Mindestanforderungen für die Wasserwiederverwendung. Die Verordnung soll dazu beitragen, die durch den Klimawandel bedingte Wasserknappheit in der Europäischen Union zu verringern. Dies geschieht durch die Wiederverwendung von Wasser für die landwirtschaftliche Bewässerung, nach bestimmten Vorgaben. Gleichzeitig hat die Verordnung zum Ziel, die Umwelt und die Gesundheit von Menschen und Tieren zu schützen (UBA 2024).

Evapotranspiration: Die tatsächliche Evapotranspiration ist die Wassermenge, die von einem Pflanzenbestand unter natürlichen Bedingungen an die Atmosphäre abgegeben wird. Sie ist immer kleiner, höchstens gleich der potenziellen Verdunstung. Die potenzielle Evapotranspiration ist die Wassermenge, die von einem Pflanzenbestand bei ausreichender Nährstoff- und Wasserversorgung in Form von Wasserdampf an die Atmosphäre abgegeben wird. Sie stellt die maximal mögliche Verdunstung dar (Summe aus Boden- und Pflanzenverdunstung) (BLE 2017).

Extremwetterereignis: Darunter sind extreme Wetterereignisse zu verstehen, die an einem bestimmten Ort und zu einer bestimmten Jahreszeit selten (außergewöhnlich) sind. Tritt dieses Wetterereignis über eine bestimmte Zeitspanne auf, wie beispielsweise eine Saison, wird es als extremes Klimaereignis bezeichnet. Beispiele dafür sind eine Dürre oder Starkregen während einer ganzen Saison (DWD o. J. a).

FFH-Richtlinie: Die Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie hat zum Ziel, die biologische Vielfalt auf dem Gebiet der Europäischen Union zu erhalten. Dazu wird angestrebt, die Artenvielfalt durch die Sicherung der natürlichen Lebensräume sowie der wild lebenden Tiere und Pflanzen zu erhalten (BfN 2026a).

Grundwasser: Das unterirdische Wasser in der Sättigungszone, das in unmittelbarer Berührung mit dem Boden oder dem Untergrund steht (Helmecke 2024, persönliche Kommunikation).

Grundwasseranreicherung: Die Grundwasseranreicherung bezeichnet Verfahren, die darauf abzielen, den Grundwasserspiegel und damit die verfügbare Grundwassermenge durch gezielte Wassereinbringung in den Boden zu erhöhen. Beim Prinzip der Grundwasseranreicherung versickert gezielt Regenwasser, vorgereinigtes Flusswasser oder aufbereitetes Abwasser in den Boden, um die natürliche Grundwasserneubildung zu fördern (Wasser-wissen.de, o. J. a).

Grundwasserneubildung: Die Grundwasserneubildung wird als „Zugang von infiltriertem Wasser zum Grundwasser“ (DIN 4049-3) definiert. Damit beschreibt sie, wie Wasser in den Boden infiltriert und auf diese Weise die Grundwasserressourcen speist (LANUK 2026a).

Hydrophilie: Hydrophilie beschreibt in der Bodenkunde die Fähigkeit von Böden, Wasser zu binden. Umso mehr Humus ein Boden enthält, desto hydrophiler (wasserliebend) ist er (Spektrum Akademischer Verlag 2000a).

Hydrophobie: Hydrophobie beschreibt das Gegenteil von Hydrophilie. Böden, die Wasser nicht gut binden können, sind hydrophob, wasserabweisend. Bodenart, Humusgehalt und Ausgangswassergehalt des Bodens haben einen Einfluss auf die Hydrophobie eines Bodens (Spektrum Akademischer Verlag 2000b).

Keyline Design: Keyline Design ist ein landwirtschaftlicher Planungsansatz. Das System basiert auf der Analyse der Geländekonturen und zielt darauf ab, Niederschlagswasser in der Landschaft zu verteilen und gezielt in Bereiche zu leiten, wo es benötigt wird (BZL 2026).

Kurzrasenweide: Eine Kurzrasenweide ist eine Weideform, die als Standweide betrieben wird (LfL 2020).

Landschaftswasserhaushalt: Form des Wasserhaushalts, der die Wasserflüsse in einer Landschaft beschreibt. Er umfasst unter anderem Niederschlag, Infiltration, Grundwasserneubildung, Abfluss und die verschiedenen Formen der Verdunstung (Spektrum Akademischer Verlag 2000c).

Mikroklima: Mikroklima beschreibt das spezielle Klima einer Fläche, das sich in bodennahen Luftschichten ausbildet. Das Mikroklima ist stark von den vorhandenen Standortgegebenheiten abhängig. Unterschiede in der Temperatur oder Windgeschwindigkeit können auf engem Raum durch die Geländeform oder den Pflanzenbewuchs verursacht werden (DWD o. J. b).

Mähweide: Eine Mähweide ist ein intensiv genutztes Dauergrünland, auf dem innerhalb einer Vegetationsperiode zwischen Beweidung und Mahd zur Futtergewinnung gewechselt wird (BZL 2025b).

Nationaler Strategieplan: Der nationale GAP-Strategieplan (GAP = Gemeinsame Agrarpolitik) unterstützt eine resiliente und nachhaltige landwirtschaftliche Produktion. Darin enthalten sind Maßnahmen, die Umwelt- und Klimaschutzleistungen der Landwirtinnen und Landwirte honorieren (BMEL 2024).

Nationale Wasserstrategie: Die Nationale Wasserstrategie (NWS) wurde von der Bundesregierung im März 2023 veröffentlicht, um die Ressource Wasser zu schützen und nachhaltig zu nutzen. Sie hat das zentrale Ziel, langfristig sauberes Wasser für Mensch und Umwelt zu sichern. Insgesamt umfasst sie zehn strategische Ziele mit 78 Aktionen (BMUV 2023).

Oberflächengewässer: Oberirdische stehende oder fließende Gewässer wie Flüsse, Bäche und Seen sowie Übergangs- und Küstengewässer (Helmecke 2024, persönliche Kommunikation).

Obstbaumdormanz: Es handelt sich um einen Zustand, bei dem Wachstum und Entwicklung von Pflanzen/Obstbäumen ruhen. Dieser Zustand ist eine Anpassung an ungünstige Umweltbedingungen wie Kälte. In Deutschland tritt bei vielen Bäumen eine Knospenruhe ein, um Frostschäden zu vermeiden. Häufig wird ein Kältereiz benötigt, um die Dormanz zu beenden. Erst danach beginnt die Pflanze wieder zu wachsen (Pflanzenforschung.de o. J. b).

Paludikultur: Die Paludikultur ist eine Form der nassen Landwirtschaft auf vorwiegend degradierten und wiedervernässten Moorböden mit Torferhalt. Nachwachsende Rohstoffe wie Schwarzerle, Schilf oder Röhricht eignen sich für den Anbau (BfN 2026b).

Regenwasser: Regenwasser beschreibt das Wasser, das durch Niederschlag fällt und während des Niederschlags aufgenommene Stoffe enthält. Dies sind beispielsweise Verunreinigungen aus der Luft, von Oberflächen wie Straßen und Fahrzeugen, aber auch von landwirtschaftlichen Flächen (Wasser-wissen.de o. J. b).

Shade avoidance syndrome: Auch Schattenflucht genannt. Das Shade avoidance syndrome beschreibt die Reaktion von Obstbäumen, unter Hagelnetzen lange Triebe zu bilden, um dem Licht entgegen zu wachsen (Solomakhin und Blanke 2010).

Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPG): Bei der Umweltverträglichkeitsprüfung werden bereits vor der Umsetzung einer Maßnahme, in diesem Fall Wasserentnahme, die möglichen Auswirkungen auf die Umwelt ermittelt und bewertet. Die UVPG ist Teil des gesamten Zulassungsverfahrens eines Vorhabens und wird von den zuständigen Behörden geprüft (MUNV NRW 2026).

UV-Strahlung: Ultraviolette Strahlung mit dem Wellenlängenbereich zwischen 100 und 400 Nanometern. Sie ist der energiereichste Teil der optischen Strahlung, ist für den Menschen aber nicht sichtbar (BfS 2025).

Vierte Reinigungsstufe: Bei der Wasseraufbereitung in Kläranlagen wird das Abwasser in drei Schritten durch mechanische, biologische und chemische Verfahren gereinigt. Nach diesen drei Schritten enthält das Wasser aber noch Spurenstoffe, die beispielsweise aus Arzneimitteln, Reinigungsmitteln oder Kosmetika stammen. Durch eine vierte Reinigungsstufe können diese Stoffe aus dem Wasser weitestgehend entfernt werden (StMUV 2026).

Wasserdargebot: Das Wasserdargebot bezeichnet die Menge an Süßwasser, die für eine bestimmte Zeit aus dem natürlichen Wasserkreislauf zur Verfügung steht (UBA o. J.).

Wasserhaushalt: Der Wasserhaushalt ist Teil des Naturhaushalts, der verschiedene Zustände und Prozesse des Wassers umfasst. Die Hauptkomponenten sind Niederschlag, Verdunstung, Speicherung sowie Zu- und Abfluss (Spektrum Akademischer Verlag 2000d).

Wasserhaushaltsgesetz: Das Wasserhaushaltsgesetz regelt das Gewässerschutzrecht. Es verfolgt das Ziel einer nachhaltigen Gewässerbewirtschaftung. So sollen Gewässer als Bestandteil des Naturhaushalts, als Lebensgrundlage für die Menschen sowie als Lebensraum für Tiere und Pflanzen geschützt werden. Außerdem sollen Gewässer als nutzbares Gut gesichert werden. Der Paragraph 50 regelt die öffentliche Wasserversorgung (BMUV 2020).

Wassernutzungseffizienz: Die Wassernutzungseffizienz ist ein Maß für die Fähigkeit von Pflanzen, bei Wassermangel Kohlenstoffdioxid (CO₂) aus der Atmosphäre

effektiv zu nutzen und Photosynthese zu betreiben. Bei warmem Wetter schließen die Pflanzen vorübergehend die Stomata, während die Photosynthese dennoch weiterläuft. Somit beschreibt die Wassernutzungseffizienz die Fähigkeit von Pflanzen, auch bei geringen CO_2 -Konzentrationen ausreichend CO_2 zu fixieren und Biomasse zu bilden. Umso höher die Wassernutzungseffizienz ist, desto effizienter nutzt eine Pflanze das verfügbare Wasser, um Biomasse und letztlich auch Ertrag zu produzieren (Pflanzenforschung.de o. J. c).

Wasserrahmenrichtlinie, europäische

(WRRL): Die Wasserrahmenrichtlinie hat zum Ziel, die Qualität der Oberflächengewässer und des Grundwassers zu verbessern. Die Gewässer werden auf chemische, ökologische und gewässermorphologische Parameter hin untersucht, um den Zustand zu überwachen und falls notwendig entsprechende Maßnahmen zu ergreifen (LANUK 2026b).

Water Reuse/Wasserwiederverwendung:

Water Reuse bezeichnet den Prozess, bei dem Abwasser aus Industrie und Gewerbe so aufbereitet wird, dass es für eine weitere Nutzung eingesetzt werden kann, beispielsweise für die landwirtschaftliche Bewässerung. Water Reuse ermöglicht, dass Wasser in Kreisläufen genutzt wird, der Gebrauch von Frischwasser sinkt und weniger Schmutzwasser anfällt (UBA 2023).

Abkürzungsverzeichnis

AUKM	Agrarumwelt- und Klimamaßnahmen
BMLEH	Bundesministerium für Landwirtschaft, Ernährung und Heimat, vormalig BMEL
BMEL	Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, heute BMLEH
BMUKN	Bundesministerium für Umwelt, Klimaschutz, Naturschutz und nukleare Sicherheit, vormalig BMUV
BMUV	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz, heute BMUKN
°C	Grad Celsius
cm	Zentimeter
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
DüV	Düngeverordnung
GAP	Gemeinsame Agrarpolitik der Europäischen Union
GLÖZ	Guter Landwirtschaftlicher und Ökologischer Zustand
K	Kelvin
m ³ /a	Kubikmeter pro Jahr
mm	Millimeter
NWS	Nationale Wasserstrategie
PAR	Photosynthetisch aktive Strahlung
PV	Photovoltaik
UBA	Umweltbundesamt
UVPt	Umweltverträglichkeitsprüfung
UVPG	Gesetz zur Umweltverträglichkeitsprüfung
VDLUFA	Verband deutscher landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten
WRR	Wasserrahmenrichtlinie

Weitere Lesehinweise

Beisecker, R., T. Seith, J. Krähling, F. Dieselberg, A. Strom, J. Kröcher, S. Hannappel, B. Thormann, W. Herzog, C. Becker und K. Schubert, 2023. *Instrumente zur Förderung naturverträglicher dezentraler Wasserrückhaltemaßnahmen (NWRM)*. Heft 176: Naturschutz und Biologische Vielfalt (NaBiV). Bundesamt für Naturschutz (BfN) (Hrsg.). ISBN 978-3-7843-4077-7

Deutscher Wetterdienst (DWD). *Wetter- und Klimalexikon*. Verfügbar unter: www.dwd.de/lexikon

EU-GAP-Netzwerk Broschüre, 2024. *Zirkuläre Wasserlösungen – Innovation für die Land- und Forstwirtschaft und den ländlichen Raum*. ISBN 978-92-68-18089-1

Gödeke, H., T. Belau und M. Müller, 2024. *Technik der Feldbewässerung – Beratungsblatt*. Freising: Arbeitsgemeinschaft Landtechnik und landwirtschaftliches Bauwesen in Bayern (ALB) e. V. (Hrsg.). Verfügbar unter: https://www.ktbl.de/fileadmin/user_upload/Artikel/Gartenbau/Bewaesserungssysteme/bb.fgb1_BewaesserungstechnikenSystemvergleich_20240624.pdf

Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL) e. V., 2016. *Freilandbewässerung*. Darmstadt: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL) e. V. Verfügbar unter: <https://www.ktbl.de/shop/produktkatalog/19535>

Meyenberg, I., U. Stein, A. Scheid, R. Vidaurre, F. Dengler, C. Schneider, J. Krähling und R. Beisecker, 2024. *Handbuch*

landwirtschaftlicher Maßnahmen zur Erhöhung des Wasserrückhalts, der Wasserqualität und der Biodiversität. Berlin: Ecologic Institut gGmbH. <https://www.ecologic.eu/sites/default/files/publication/2025/50163-Handbuch-Landwirtschaftlicher-Maßnahmen.pdf>

Riedel, T., C. Nolte, T. aus der Beek, J. Liedtke, B. Sures und D. Grabner, 2021. *Niedrigwasser, Dürre und Grundwasserneubildung – Bestandsaufnahme zur gegenwärtigen Situation in Deutschland, den Klimaprojektionen und den existierenden Maßnahmen und Strategien*. Abschlussbericht, Texte 174/2021. Dessau-Roßlau Umweltbundesamt (Hrsg.). Verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/system/files/medien/1410/publikationen/2022-01-17_texte_174-2021_niedrigwasser_duerre_und_grundwasserneubildung.pdf

Schulz, V., H. Sharaf, S. Weisenburger, C. Morhart, W. Konold, K. Stolzenburg, H. Spiecke und M. Nahm, 2022. *Augustenberger Beratungshilfe: Agroforstsysteme zur Wertholzerzeugung*. Karlsruhe: Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg (LTZ) (Hrsg.). Verfügbar unter: https://agroforst-info.de/wp-content/uploads/2020/10/Agroforst-Systeme_Leitfaden.pdf

Stein, U., H. Schritt, T. Uschan und J. Reineke, 2024. Maßnahmen zur Erhöhung des Wasserrückhalts in der Landschaft. In: *Wasserwirtschaft*, 114, S. 36–41. DOI 10.1007/s35147-024-2335-7

Umweltbundesamt (UBA), 2026. *Trockenheit in Deutschland – Fragen und Antworten*. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/wasser/extremereignisseklimawandel/trockenheit-in-deutschland-fragen->

antworten#was-bedeutet-bodenfeuchte-und-welche-rolle-spielt-sie-fr-die-trockenheit

Van R  th, P., K. Schönthaler, S. von Andrian-Werburg, M. Wolf und M. Gabriel, 2023. *Monitoringbericht 2023 – zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel*. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt (Hrsg.). Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/monitoringbericht-2023>

Weckenbrock, P., 2025. *Verfahren zur Ernte von Bäumen in Agroforstsystemen*. Darmstadt: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL) e. V. (Hrsg.). Verfügbar unter: https://www.ktbl.de/fileadmin/user_upload/Allgemeines/Download/Agroforst/Ernteverfahren_Agroforst_bf.pdf

Literatur

ALLIANZ FÜR DEN GEWÄSSERSCHUTZ, 2019. *Empfehlungen für die Einrichtung von breiten Gewässerrandstreifen* [online]. Allianz für den Gewässerschutz [Zugriff am: 27.07.2026]. Verfügbar unter: https://www.allianz-gewaesserschutz.de/wp-content/uploads/2021/08/Broschuere_Einrichtung_Gewaesserrandstreifen_2019.pdf

BATTAGLIOLI, F., M. TASZAREK, P. GROENEMEIJER, T. P        und A. RÄDLER, 2026. Contrasting trends in very large hail events and related economic losses across the globe. In: *Nature Geoscience* [online] **19**, S. 52–58 [Zugriff am: 27.07.2026]. Verfügbar unter: DOI: [10.1038/s41561-025-01868-0](https://doi.org/10.1038/s41561-025-01868-0)

BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (LfL), 2020. *Kurzrasenweide – Futtermenge und -qualität durch konstante Aufwuchshöhe sichern* [online]. Freising-Weißenstephan: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft [Zugriff am: 27.07.2026]. Verfügbar unter: https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/informationen/kurzrasenweide_lfl-information.pdf

BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (LfL), 2024. *Leitfaden für Grund- und Oberflächenwasserschutz – Blaues Heft* [online]. Freising-Weißenstephan: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft [Zugriff am: 27.07.2026]. Verfügbar unter: https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/informationen/grund-und-oberflaechengewaesserschutz_lfl-information.pdf

BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT (LfU), o. J. *Wasserentnahmen für die Bewässerung* [online]. Augsburg: Bayerisches Landesamt für Umwelt [Zugriff am: 27.07.2026]. Verfügbar unter: <https://www.lfu.bayern.de/wasser/bewaesserung/index.htm>

BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ (StMUV), 2026. *Spurenstoffe und vierte Reinigungsstufe für Kläranlagen* [online]. München: Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz [Zugriff am: 27.07.2026]. Verfügbar unter: <https://www.stmuv.bayern.de/themen/wasserwirtschaft/abwasser/spurenstoffe.htm>

BEISECKER, R., F. DIEßELBERG, T. SEITH, E. ZETTL, A. STROM und S. HANNAPPEL, 2020. *Veränderungen der Wasseraufnahme und -speicherung landwirtschaftlicher Böden und Auswirkungen auf das Überflutungsrisiko durch zunehmende Stark- und Dauerregenereignisse. Abschlussbericht – Texte 63/2020* [online]. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt (Hrsg.) [Zugriff am: 27.07.2026]. Verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/system/files/medien/479/publikationen/190905_abschlussbericht_walabo-final1_0.pdf

BERNHARDT J. J., N. STUPAK, S. NEUENFELDT und F. POTTS, 2025. *Status quo der Bewässerung in Deutschland – Thünen Working Paper 258* [online]. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut [Zugriff am: 27.07.2026]. Verfügbar unter: DOI: [10.3220/WP1736495260000](https://doi.org/10.3220/WP1736495260000)

BILLEN, N. und J. AURBACHER, 2007. *Landwirtschaftlicher Hochwasserschutz. 10 Steckbriefe für 12 Maßnahmen*. Stuttgart: Universität Hohenheim. ISBN 978-3-933403-98-8

BLANKE M., 2007. Farbige Hagelnetze: Ihre Netzstruktur sowie Licht- und UV-Durchlässigkeit bestimmen die Ausfärbung der Apfel Früchte. In: *Erwerbs-Obstbau* [online]. **49**(4), S. 127–139 [Zugriff am: 27.07.2026]. Verfügbar unter: DOI: [10.1007/s10341-007-0048-6](https://doi.org/10.1007/s10341-007-0048-6)

BLUME, H.-P., G. W. BRÜMMER, R. HORN, E. KANDELER, I. KÖGEL-KNABNER, R. KRETZSCHMAR, K. STAHR und B.-M. WILKE, 2010. Organische Bodensubstanz. In: *Scheffer/Schachtschabel: Lehrbuch der Bodenkunde* [online],

S. 51–81. Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum Verlag. Verfügbar unter: DOI: [10.1007/978-3-662-49960-3_3](https://doi.org/10.1007/978-3-662-49960-3_3)

BÖHM, C. und P. TSONKOVA, 2018. Effekte des Agrarholzanbaus auf mikroklimatische Kenngrößen – Biologie, Ökologie, Management. In: Veste M. und C. Böhm (Hrsg.): *Agrarholz – Schnellwachsende Bäume in der Landwirtschaft* [online], S. 335–389. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin-Heidelberg [Zugriff am: 27.07.2026]. Verfügbar unter: DOI: [10.1007/978-3-662-49931-3_11](https://doi.org/10.1007/978-3-662-49931-3_11)

BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ (BfN), 2026a. *Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie (FFH-Richtlinie) – Richtlinie 92/43/EWG des Rates vom 21. Mai 1992 zur Erhaltung der natürlichen Lebensräume sowie der wildlebenden Tiere und Pflanzen* [online]. Bonn: Bundesamt für Naturschutz [Zugriff am: 27.07.2026]. Verfügbar unter: <https://www.bfn.de/abkommen-richtlinie/fauna-flora-habitat-richtlinie-ffh-richtlinie-richtlinie-9243ewg-des-rates-vom>

BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ (BfN), 2026b. *Paludikultur* [online]. Bonn: Bundesamt für Naturschutz [Zugriff am: 27.07.2026]. Verfügbar unter: <https://www.bfn.de/paludikultur>

BUNDESAMT FÜR STRAHLENSCHUTZ (BFS), 2025. *Was ist UV-Strahlung?* [online]. Salzgitter: Bundesamt für Strahlenschutz [Zugriff am: 27.07.2026]. Verfügbar unter: https://www.bfs.de/DE/themen/opt/uv/einfuehrung/einfuehrung_node.html

BUNDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT UND ERNÄHRUNG (BLE), 2017. *Agrarmeteorologie* [online]. Bonn:

Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (Hrsg.). Verfügbar unter: <https://www.ble-medienservice.de/1651>

BUNDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT UND ERNÄHRUNG (BLE), 2018a. *Hecken und Raine in der Agrarlandschaft – Bedeutung, Neuanlage, Pflege* [online]. Bonn: Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (Hrsg.) [Zugriff am: 27.07.2026]. Verfügbar unter: <https://www.ble-medienservice.de/1619>

BUNDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT UND ERNÄHRUNG (BLE), 2018b. *Zwischen- und Zweitfrüchte im Pflanzenbau* [online]. Bonn: Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (Hrsg.) [Zugriff am: 27.07.2026]. Verfügbar unter: <https://www.ble-medienservice.de/1060>

BUNDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT UND ERNÄHRUNG (BLE), 2022a. *Gute fachliche Praxis – Bodenbewirtschaftung und Bodenschutz* [online]. Bonn: Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (Hrsg.) [Zugriff am: 27.07.2026]. Verfügbar unter: <https://www.ble-medienservice.de/3614>

BUNDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT UND ERNÄHRUNG (BLE), 2022b. *Lebendige Böden – fruchtbare Böden* [online]. Bonn: Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (Hrsg.) [Zugriff am: 27.07.2026]. Verfügbar unter: <https://www.ble-medienservice.de/1020>

BUNDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT UND ERNÄHRUNG (BLE), 2022c. *Gute fachliche Praxis – Bodenfruchtbarkeit* [online]. Bonn: Bundesanstalt für

Landwirtschaft und Ernährung (Hrsg.) [Zugriff am: 27.07.2026]. Verfügbar unter: <https://www.ble-medienservice.de/1585>

BUNDESMINISTERIUM DER JUSTIZ UND FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ (BMJV), 2009. *Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (WHG)* [online]. Berlin: Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz [Zugriff am: 27.07.2026]. Verfügbar unter: https://www.gesetze-im-internet.de/whg_2009/index.html

BUNDESMINISTERIUM DER JUSTIZ UND FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ (BMJV), 2024. *Gesetz zur Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPG)* [online]. Berlin: Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz [Zugriff am: 27.07.2026]. Verfügbar unter: <https://www.gesetze-im-internet.de/uvpg/index.html>

BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT (BMEL), 2021. *Ackerbaustrategie 2035. Perspektiven für einen produktiven und vielfältigen Pflanzenbau* [online]. Berlin: Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL), heute Bundesministerium für Landwirtschaft, Ernährung und Heimat (BMLEH) [Zugriff am: 27.07.2026]. Verfügbar unter: <https://www.bmleh.de/DE/themen/landwirtschaft/pflanzenbau/ackerbau/ackerbaustrategie.html>

BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT (BMEL), 2024. *GAP-Strategieplan für die Bundesrepublik Deutschland* [online]. Berlin: Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL), heute Bundesministerium für Landwirtschaft, Ernährung und Heimat [Zugriff am: 27.07.2026].

Verfügbar unter: <https://www.bmleh.de/DE/themen/landwirtschaft/eu-agrarpolitik-und-foerderung/gap/gap-strategieplan.html>

BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMASCHUTZ, NATURSCHUTZ UND NUKLEARE SICHERHEIT (BMUKN), o. J. *Nationale Wasserstrategie – Eine krisenfeste Strategie für unser Wasser* [online]. Berlin: Bundesministerium für Umwelt, Klimaschutz, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMUKN) [Zugriff am: 27.07.2026].

Verfügbar unter: <https://www.bundesumweltministerium.de/wasserstrategie>

BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ, NUKLEARE SICHERHEIT UND VERBRAUCHERSCHUTZ (BMUV), 2020. *Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts – Wasserhaushaltsgesetz* [online]. Berlin: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV), heute Bundesministerium für Umwelt, Klimaschutz, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMUKN) [Zugriff am: 30.07.2026]. Verfügbar unter: <https://www.bundesumweltministerium.de/gesetz/gesetz-zur-ordnung-des-wasserhaushalts>

BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ, NUKLEARE SICHERHEIT UND VERBRAUCHERSCHUTZ (BMUV), 2023. *Nationale Wasserstrategie* [online]. Berlin: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV), heute Bundesministerium für Umwelt, Klimaschutz, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMUKN) [Zugriff am: 04.06.2025]. Verfügbar unter: <https://>

www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Binnengewasser/BMUW_Wasserstrategie_bf.pdf

BUNDESREGIERUNG, 2008. *Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel* [online]. Berlin: Bundesregierung [Zugriff am: 27.07.2026]. Verfügbar unter: https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaanpassung/das_gesamt_bf.pdf

BUNDESREGIERUNG, 2023. *Nationale Wasserstrategie – „Wasser ist für uns lebensnotwendig“* [online]. Berlin: Bundesregierung [Zugriff am: 27.07.2026]. Verfügbar unter: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/service/archiv-bundesregierung/nationale-wasserstrategie-2171158>

BUNDESZENTRUM FÜR LANDWIRTSCHAFT (BZL), 2023. *Risikomanagement in der Landwirtschaft: Welche Möglichkeiten gibt es?* [online]. Bonn: Bundeszentrum für Landwirtschaft [Zugriff am: 27.07.2026]. Verfügbar unter: <https://www.praxis-agrar.de/betrieb/betriebsfuehrung/risikomanagement-in-der-landwirtschaft/>

BUNDESZENTRUM FÜR LANDWIRTSCHAFT (BZL), 2025a. *Auswirkungen des Klimawandels auf die Wasserversorgung in der Landwirtschaft* [online]. Bonn: Bundeszentrum für Landwirtschaft [Zugriff am: 27.07.2026]. Verfügbar unter: <https://www.praxis-agrar.de/klima-und-umwelt/klimawandel/wasserversorgung>

BUNDESZENTRUM FÜR LANDWIRTSCHAFT (BZL), 2025b. *Wiese und Weide – was sind die Unterschiede?* [online]. Bonn: Bundeszentrum für Landwirtschaft

[Zugriff am: 27.07.2026]. Verfügbar unter:
<https://www.landwirtschaft.de/tier-und-pflanze/pflanze/nutzpflanzen-allgemein/wiese-und-weide-was-sind-die-unterschiede>

BUNDESZENTRUM FÜR LANDWIRTSCHAFT (BZL), 2026. *Keyline Design – wirkungsvolles Werkzeug zur Klimaanpassung in der Landwirtschaft?* [online]. Bonn: Bundeszentrum für Landwirtschaft [Zugriff am: 27.07.2026]. Verfügbar unter: <https://www.praxis-agrar.de/klima-und-umwelt/klimawandel/keyline-design>

BUSCHMANN, C., T. DE WITTE, J. WEGMANN und B. OSTERBURG, 2023. *Klimaschutz durch Wiedervernässung von Mooren – wie und zu welchen Kosten?* [online]. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut [Zugriff am: 27.07.2026]. Verfügbar unter: <https://www.thuenen.de/de/themenfelder/pflanzenproduktion/neue-land-nutzungssysteme-entwickeln/standard-titel>

DEL CARMEN PONCE-RODRÍGUEZ, MA., F.O. CARRETE-CARREÓN, G.A. NÚÑEZ-FERNÁNDEZ, J. DE JESÚS MUÑOZ-RAMOS und M.-E. PÉREZ-LÓPEZ, 2021. *Keyline in Bean Crop (Phaseolus vulgaris L.) for Soil and Water Conservation*. In: *Sustainability* [online]. **13**(17), 9982 [Zugriff am: 27.07.2026]. Verfügbar unter: DOI: [10.3390/su13179982](https://doi.org/10.3390/su13179982)

DEUTSCHE LANDWIRTSCHAFTS-GESELLSCHAFT (DLG), 2008. *DLG-Merkblatt 344: Bodenschonender Einsatz von Landmaschinen* [online]. Frankfurt am Main: DLG e. V. Fachzentrum Landwirtschaft (Hrsg.) [Zugriff am: 27.07.2026].

Verfügbar unter:
https://www.dlg.org/fileadmin/downloads/Merkblaetter/dlg-merkblatt_344.pdf

DEUTSCHE LANDWIRTSCHAFTS-GESELLSCHAFT (DLG), 2009. *DLG-Merkblatt 356: Reifen richtig wählen und einsetzen* [online]. Frankfurt am Main: DLG e. V. Fachzentrum Landwirtschaft (Hrsg.) [Zugriff am: 27.07.2026]. Verfügbar unter: https://www.dlg.org/fileadmin/downloads/Merkblaetter/dlg-merkblatt_356.pdf

DEUTSCHE LANDWIRTSCHAFTS-GESELLSCHAFT (DLG), 2020. *DLG-Merkblatt 461: Maßnahmen zur Optimierung der Traktion* [online]. Frankfurt am Main: DLG e. V. Fachzentrum Landwirtschaft (Hrsg.) [Zugriff am: 27.07.2026]. Verfügbar unter: https://www.dlg.org/fileadmin/downloads/Merkblaetter/dlg-merkblatt_461.pdf

DEUTSCHE LANDWIRTSCHAFTS-GESELLSCHAFT (DLG), 2022a. *DLG-Merkblatt 456: Hinweise zur Kalkdüngung* [online]. Frankfurt am Main: DLG e. V. Fachzentrum Landwirtschaft (Hrsg.) [Zugriff am: 27.07.2026]. Verfügbar unter: https://www.dlg.org/fileadmin/downloads/Merkblaetter/dlg-merkblatt_456.pdf

DEUTSCHE LANDWIRTSCHAFTS-GESELLSCHAFT (DLG), 2022b. *DLG kompakt Nr. 2/2022: Bodenerosion vermeiden – Biodiversität stärken* [online]. Frankfurt am Main: DLG e. V. Fachzentrum Landwirtschaft (Hrsg.) [Zugriff am: 27.07.2026]. Verfügbar unter: https://www.dlg.org/fileadmin/downloads/Kompakt/DLGKompakt_2_22.pdf

DEUTSCHE VEREINIGUNG FÜR WASSER-
WIRTSCHAFT, ABWASSER UND ABFALL
(DWA), 2015. *Wasserrückhalt in der Fläche
durch Maßnahmen in der Landwirtschaft –
Bewertung und Folgerungen für die Praxis*.
Hennef: Deutsche Vereinigung für Wasser-
wirtschaft, Abwasser und Abfall (DWA) e. V.
ISBN 978-3-96862-453-2

DEUTSCHER FACHVERBAND FÜR AGRO-
FORSTWIRTSCHAFT (DEFAF), 2024. *Was
ist Agroforstwirtschaft?* [online]. Cottbus:
Deutscher Fachverband für Agroforstwirt-
schaft (DeFAF) e. V. [Zugriff am: 27.07.2026].
Verfügbar unter:
<https://agroforst-info.de/agroforstwirtschaft/>

DEUTSCHER VERBAND FÜR LAND-
SCHAFTSPFLEGE (DVL), 2021a. *Moor-
Klimawirte. Zukunft der Landwirtschaft im
Moor* [online]. Ansbach: Deutscher Verband
für Landschaftspflege (DVL) e. V. [Zugriff am:
27.07.2026]. Verfügbar unter:
[https://www.dvl.org/fileadmin/user_upload/
Publikationen/Fachpublikationen/
DVL-Publikation-Fachpublikation_
Moor-Klimawirte.pdf](https://www.dvl.org/fileadmin/user_upload/Publikationen/Fachpublikationen/DVL-Publikation-Fachpublikation_Moor-Klimawirte.pdf)

DEUTSCHER VERBAND FÜR LAND-
SCHAFTSPFLEGE (DVL), 2021b. *Verbes-
serung des natürlichen Wasserrückhaltes in
der Agrarlandschaft, Nr. 29 der DVL-Schrif-
tenreihe „Landschaft als Lebensraum“*
[online]. Ansbach: Deutscher Verband für
Landschaftspflege (DVL) e. V. [Zugriff am:
30.07.2026]. Verfügbar unter:
[https://www.dvl.org/uploads/tx_ttproducts/
datasheet/DVL-Publikation-
Schriftenreihe-29_Verbesserung_des_
natuerlichen_Wasserrueckhaltes_in_der_
Agrarlandschaft.pdf](https://www.dvl.org/uploads/tx_ttproducts/datasheet/DVL-Publikation-Schriftenreihe-29_Verbesserung_des_natuerlichen_Wasserrueckhaltes_in_der_Agrarlandschaft.pdf)

DEUTSCHER WETTERDIENST (DWD),
2022. *Wasser – wichtig und spannend
zugleich – Teil 3* [online]. Offenbach: Deut-
scher Wetterdienst [Zugriff am: 30.07.2026].
Verfügbar unter: [https://www.dwd.de/DE/
wetter/thema_des_tages/2022/10/22.html](https://www.dwd.de/DE/wetter/thema_des_tages/2022/10/22.html)

DEUTSCHER WETTERDIENST (DWD),
2023. *Klimastatusbericht Deutschland Jahr
2022* [online]. Offenbach: Deutscher Wetter-
dienst [Zugriff am: 30.07.2026].
Verfügbar unter: [https://www.dwd.de/DE/
leistungen/klimastatusbericht/
publikationen/ksb_2022.
pdf?__blob=publicationFile&v=5](https://www.dwd.de/DE/leistungen/klimastatusbericht/publikationen/ksb_2022.pdf?__blob=publicationFile&v=5)

DEUTSCHER WETTERDIENST (DWD),
o. J. a. *Wetter- und Klimalexikon –
Extremwetterereignis* [online]. Offenbach:
Deutscher Wetterdienst [Zugriff am:
30.07.2026]. Verfügbar unter:
[https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/
Functions/glossar.html?nn=103346&lv2=
100652&lv3=100780](https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/Functions/glossar.html?nn=103346&lv2=100652&lv3=100780)

DEUTSCHER WETTERDIENST (DWD),
o. J. b. *Wetter- und Klimalexikon – Mikroklima*
[online]. Offenbach: Deutscher Wetterdienst
[Zugriff am: 30.07.2026]. Verfügbar unter:
[https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/
Functions/glossar.html?lv3=101778&lv2
=101640#:~:text=Mit%20Mikroklima%20
ist%20damit%20das,und%20thermischen%20
Eigenschaften%2C%20beeinflusst%20ist](https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/Functions/glossar.html?lv3=101778&lv2=101640#:~:text=Mit%20Mikroklima%20ist%20damit%20das,und%20thermischen%20Eigenschaften%2C%20beeinflusst%20ist)

DIN MEDIA GMBH, 2021. *DIN SPEC
91434:2021-05. Agri-Photovoltaik-Anlagen
– Anforderungen an die landwirtschaftliche
Hauptnutzung* [online]. Berlin: DIN Media
GmbH [Zugriff am: 30.07.2026]. Verfüg-
bar unter: [https://www.dinmedia.de/de/
technische-regel/din-spec-91434/337886742](https://www.dinmedia.de/de/technische-regel/din-spec-91434/337886742)

DUGON J., T. MORISOD, P. DROZ und A. BRUNO, 2018. *Reduktion der Drift und Abschwemmung von Pflanzenschutzmitteln im Acker- und Gemüsebau*. Lindau (Schweiz): AGRIDEA (Hrsg.), Nr. 3283

ELSÄßER, M. und K. GRANT, 2019. Anpassungsstrategien zur Sicherung von Ertrag und Qualität im Grünland. In: KTBL e. V.: *Kühlen Kopf bewahren – Anpassung der Landwirtschaft an den Klimawandel*. KTBL-Tagung 2019, S. 135–173

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SOLARE ENERGIESYSTEME (ISE), 2025. *Agri-Photovoltaik: Chance für Landwirtschaft und Energiewende. Ein Leitfaden für Deutschland* [online]. Freiburg: Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE [Zugriff am: 30.07.2026]. Verfügbar unter: <https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/APV-Leitfaden.pdf>

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SOLARE ENERGIESYSTEME (ISE), 2026. *Agri-Photovoltaik* [online]. Freiburg: Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE [Zugriff am: 30.07.2026]. Verfügbar unter: <https://www.ise.fraunhofer.de/de/geschaeftsfelder/solkraftwerke-und-integrierte-photovoltaik/integrierte-photovoltaik/agri-photovoltaik-agri-pv.html>

FRICKE, E., 2023. *Fakten zur Bewässerung in Deutschland* [online]. Berlin: Vortrag am 26.01.2026 beim Fachforum 30 „Verbandliches Wassermanagement“ im Rahmen des „Zukunftsforum ländliche Entwicklung“ [Zugriff am: 30.07.2026]. Verfügbar unter: https://www.zukunftsforum-laendliche-entwicklung.de/fileadmin/SITE_MASTER/

[content/_migrated/_uploads/tx_bleinhaltelemente/FF30_Fakten_Bewaesserung-Fricke_230126.pdf](content/_migrated/_uploads/tx_bleinhaltelemente/FF30_Fakten_Bewaesserung-Fricke_230126.pdf)

FRISCH, U., M. ZEBISCH, M. VOSS, M. LINSEMEIER, W. KAHLENBORN, L. PORST, L. HÖLSCHER, A. WOLFF, U. HARDNER, K. SCHWARTZ, M. WOLF, A. SCHMUCK, K. SCHÖNTHALER, E. NILSON, H. FISCHER und C. FLEISCHER, 2021. *Klimawirkungs- und Risikoanalyse 2021 für Deutschland. Teilbericht 3: Risiken und Anpassung im Cluster Wasser* [online]. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt (Hrsg.) [Zugriff am: 30.07.2026]. Verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/system/files/medien/479/publikationen/kwra2021_teilbericht_3_cluster_wasser_bf_211027_0.pdf

GERHARDT, P., 2024. *Agroforst und Keyline Design – Produktive Werkzeuge für den dezentralen Wasserrückhalt* [online]. Ansbach: Vortrag am 27.09.2024 beim Mittelfränkischen Wasserforum [Zugriff am: 30.07.2026]. Verfügbar unter: https://www.lfu.bayern.de/wasser/agws/doc/regionales/2_gerhardt.pdf

GROCHOLL, J., J. ANTER, R. ASENDORF, D. FEISTKORN, A. MENSCHING-BUHR, K. NOLTING, A. RIEDEL, R. SCHOSSOW, H. H. THÖRMANN und B. URBAN, 2014. *Landwirtschaft im Klimawandel: Wege zur Anpassung. Forschungsergebnisse zu Anpassungsstrategien der Landwirtschaft in der Metropolregion Hamburg an den Klimawandel. Teil 4 – Wasser sparen im Ackerbau* [online]. Uelzen: Landwirtschaftskammer Niedersachsen (Hrsg.) [Zugriff am: 30.07.2026]. Verfügbar unter: <https://edoc.sub.uni-hamburg.de/klimawandel/>

[frontdoor/deliver/index/docId/926/file/teil_4_wasser_sparen_im_ackerbau.pdf](#)

HESSISCHES MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMASCHUTZ, LANDWIRTSCHAFT UND VERBRAUCHERSCHUTZ (HMUKLV), 2021. *Bodenschutz in Hessen – Anlage von Erosionsschutzstreifen*. Wiesbaden: Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (Hrsg.). ISBN 978-3-89274-426-9

HOLSTEN B., S. OCHSNER, A. SCHÄFER und M. TREPEL, 2012. *Praxisleitfaden für Maßnahmen zur Reduzierung von Nährstoffausträgen aus dränierten landwirtschaftlichen Flächen* [online]. Kiel: Christian-Albrechts-Universität [Zugriff am: 30.07.2026]. Verfügbar unter: https://www.ecosystems.uni-kiel.de/en/pdf/praxisleitfaden_interaktiv.pdf/view

JACOBS, S. R., H. WEBBER, W. NIETHER, K. GRAHMANN, D. LÜTTSCHWAGER, C. SCHWARTZ, L. BREUER und S. D. BELLINGRATH-KIMURA, 2022. Modification of the microclimate and water balance through the integration of trees into temperate cropping systems. In: *Agricultural and Forest Meteorology* [online]. **323**. S. 109065 [Zugriff am: 27.07.2026]. Verfügbar unter: DOI: [10.1016/j.agrformet.2022.109065](https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2022.109065)

JULIUS KÜHN-INSTITUT, o. J. *Bodenfruchtbarkeit* [online]. Quedlinburg: Julius Kühn-Institut [Zugriff am: 31.07.2026]. Verfügbar unter: <https://www.julius-kuehn.de/pb/bodenfruchtbarkeit>

KAHLENBORN, W., L. PORST, M. VOSS, U. FRISCH, K. RENNER, M. ZEBISCH, M. WOLF, K. SCHÖNTHALER und

I. SCHAUSER, 2021. *Klimawirkungs- und Risikoanalyse 2021 für Deutschland*. Kurzfassung [online]. Climate Change 26/2021. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt (Hrsg.) [Zugriff am: 31.07.2026]. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/KWRA-Zusammenfassung>

KANZLER, M. und C. BÖHM, 2020. *Agroforstliche Landnutzung als Anpassungsstrategie an den Klimawandel am Beispiel von Untersuchungen zum Verdunstungsschutz in Süd-Brandenburg*. Loseblattsammlung Innovationsgruppe AUFWERTEN, Loseblatt # 7 [online]. Cottbus: Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg, Fachgebiet Bodenschutz und Rekultivierung [Zugriff am: 31.07.2026]. Verfügbar unter: https://agroforst-info.de/wp-content/uploads/2021/03/07_Verdunstungsschutz.pdf

KANZLER, M., C. BÖHM, J. MIRCK, D. SCHMITT und M. VESTE, 2017. Einfluss agroforstlicher Nutzung auf das Mikroklima, den Ackerfruchtertrag und die potentielle Evaporation. In: Böhm, C. (Hrsg.): *Bäume in der Land(wirt)schaft – von der Theorie in die Praxis*, S. 127–131. Cottbus: Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg. ISBN 978-3-940471-27-7

KANZLER, M., C. BÖHM, J. MIRCK, D. SCHMITT und M. VESTE, 2019. Microclimate effects on evaporation and winter wheat (*Triticum aestivum* L.) yield within a temperate agroforestry system. In: *Agroforestry Systems* [online]. **93**, S. 1821–1841 [Zugriff am: 31.07.2026]. Verfügbar unter: DOI: [10.1007/s10457-018-0289-4](https://doi.org/10.1007/s10457-018-0289-4)

LANDESAMT FÜR NATUR, UMWELT UND KLIMA NORDRHEIN-WESTFALEN (LANUK), 2026a. *Grundwasserneubildung* [online]. Recklinghausen: Landesamt für Natur, Umwelt und Klima Nordrhein-Westfalen [Zugriff am: 28.07.2026]. Verfügbar unter:

<https://www.lanuk.nrw.de/themen/wasser/grundwasser/grundwasserneubildung>

LANDESAMT FÜR NATUR, UMWELT UND KLIMA NORDRHEIN-WESTFALEN (LANUK), 2026b. *Wasserrahmenrichtlinie* [online]. Recklinghausen: Landesamt für Natur, Umwelt und Klima Nordrhein-Westfalen [Zugriff am: 31.07.2026]. Verfügbar unter: <https://www.lanuk.nrw.de/themen/wasser/wasserrahmenrichtlinie>

LANDESBETRIEB LANDWIRTSCHAFT HESSEN (LLH), 2022. *Handlungsempfehlungen zur Grünlandbewirtschaftung im Klimawandel*. Kassel: Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen (Hrsg.)

LAWA und BLAG ALFFA, 2024. *Fokus Wasser – Folgen des Klimawandels und Maßnahmen zur Anpassung. Beispiele und Lösungsansätze für Wechselwirkungen zwischen Wasserwirtschaft, Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Aquakultur und Binnenfischerei* [online]. Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) und Bund-Länder-Arbeitsgruppe Klimaschutz und Klimaanpassung in Land- und Forstwirtschaft sowie Fischerei und Aquakultur (BLAG ALFFA) (Hrsg.) [Zugriff am: 31.07.2026]. Verfügbar unter: https://literatur.thuenen.de/digbib_extern/dn067698.pdf

LUEDELING, E., M. BLANKE und J. GEBAUER, 2009. Auswirkungen des Klimawandels auf die Verfügbarkeit von Kältewirkung (Chilling) für Obstgehölze in Deutschland. In: *Erwerbs-Obstbau* [online]. **51**, S. 81–94 [Zugriff am: 27.07.2026]. Verfügbar unter: DOI: [10.1007/s10341-009-0085-4](https://doi.org/10.1007/s10341-009-0085-4)

MARKWITZ, C., A. KNOHL und L. SIEB-ICKE, 2020. Evapotranspiration over agroforestry sites in Germany. In: *Biogeosciences* [online]. **17**(20), S. 5183–5208 [Zugriff am: 31.07.2026]. Verfügbar unter: DOI: [10.5194/bg-17-5183-2020](https://doi.org/10.5194/bg-17-5183-2020)

MEIER, R., J. SCHWAAB, S. I. SENEVI-RATNE, M. SPRENGER, E. LEWIS und E. L. DAVIN, 2021. Empirical estimate of forestation-induced precipitation changes in Europe. In: *Nature Geoscience* [online]. **14**, S. 473–478 [Zugriff am: 31.07.2026]. Verfügbar unter: DOI: [10.1038/s41561-021-00773-6](https://doi.org/10.1038/s41561-021-00773-6)

MINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND VERKEHR DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN (MUNV NRW), 2026. *Umweltverträglichkeitsprüfung* [Zugriff am: 31.07.2026]. Verfügbar unter: <https://www.umwelt.nrw.de/themen/umwelt/umwelt-und-ressourcenschutz/planungsrecht/umweltvertraeglichkeitspruefung>

MINOR, M. A., 2009. Surface energy balance and 24-h evapotranspiration on an agricultural landscape with SRF willow in central New York. In: *Biomass and Bioenergy* [online]. **33**(12), S. 1710–1718 [Zugriff am: 31.07.2026]. Verfügbar unter: DOI: [10.1016/j.biombioe.2009.09.005](https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2009.09.005)

MØLGAARD LEHMANN, L., J. SMITH, S. WESTAWAY, A. PISANELLI, G. RUSSO, R. BOREK, M. SANDOR, A. GLINDA, L. SMITH und B. B. GHALEY, 2020. Productivity and Economic Evaluation of Agroforestry Systems for Sustainable Production of Food and Non-Food Products. In: *Sustainability* [online]. **12**(13), S. 5429, 1–9 [Zugriff am: 31.07.2026]. Verfügbar unter: DOI: [10.3390/su12135429](https://doi.org/10.3390/su12135429)

PFEIFER, S., D. RECHID und S. BATHIANY, 2020. *Klimaausblick Deutschland. Dezember 2020, Climate Service Center Germany (GERICS)* [online]. Geesthacht: Helmholtz-Zentrum Hereon [Zugriff am: 27.07.2026]. Verfügbar unter: https://www.gerics.de/products_and_publications/fact_sheets/climate_fact_sheets/detail/088906/index.php.de

PFLANZENFORSCHUNG.DE, o. J. a. *Lexikon A–Z: C3-Pflanzen* [online]. Potsdam: Pflanzenforschung.de [Zugriff am: 30.07.2026]. Verfügbar unter: <https://www.pflanzenforschung.de/de/pflanzenwissen/lexikon-a-z/c3-pflanzen-831>

PFLANZENFORSCHUNG.DE, o. J. b. *Lexikon A–Z: Dormanz* [online]. Potsdam: Pflanzenforschung.de [Zugriff am: 03.08.2026]. Verfügbar unter: <https://www.pflanzenforschung.de/de/pflanzenwissen/lexikon-a-z/dormanz>

PFLANZENFORSCHUNG.DE, o. J. c. *Lexikon A–Z: Wassernutzungseffizienz* [online]. Potsdam: Pflanzenforschung.de [Zugriff am: 31.07.2026]. Verfügbar unter: <https://www.pflanzenforschung.de/de/pflanzenwissen/lexikon-a-z/wassernutzungseffizienz-10022>

PROTZE, V., B. OERTEL, A. KUNZ und M. BLANKE, 2012. Zebra-Netz, Titan-Netz, Transparent-Netz und neues graues Hagelschutznetz: Neue Namen, neue Strukturen, dickere Fäden gleich längere Haltbarkeit? In: *Erwerbs-Obstbau* [online]. **54**, S. 55–62 [Zugriff am: 03.08.2026]. Verfügbar unter: DOI: [10.1007/s10341-012-0157-8](https://doi.org/10.1007/s10341-012-0157-8)

RECHENBERG, J., M. HELMECKE und B. KIRSCHBAUM, 2025. Was bringt die Nationale Wasserstrategie für den Landschaftswasserhaushalt? [online]. In: KTBL e. V.: *Landbewirtschaftung – mit Wasser haushalten*. KTBL-Tagung 2025, S. 19–25 [Zugriff am: 03.08.2026]. Verfügbar unter: https://www.ktbl.de/fileadmin/user_upload/Allgemeines/Download/Tagungen_2025/KTBL-Tage/KTBL-Tage_2025.pdf

RIEHL, G., 2023. *Grünlandbewirtschaftung und Trockenheit: Maßnahmen und Strategien zur Anpassung* [online]. Löbau: Vortrag am 01.03.2023 bei der Fachinformationsveranstaltung der Informations- und Servicestelle Löbau des Sächsischen Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG) [Zugriff am: 31.07.2026]. Verfügbar unter: https://www.lfulg.sachsen.de/download/Nachlese_LOEB_230301_GL_Trockenheit.pdf

RYAN, J., C. MCALPINE, J. LUDWIG und J. CALLOW, 2015. Modelling the Potential of Integrated Vegetation Bands (IVB) to Retain Stormwater Runoff on Steep Hillslopes of Southeast Queensland, Australia. In: *Land* [online]. **4**(3), S. 711 [Zugriff am: 03.08.2026]. Verfügbar unter: DOI: [10.3390/land4030711](https://doi.org/10.3390/land4030711)

SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT, LANDWIRTSCHAFT UND GEOLOGIE (LfULG), 2015. *Leitfaden zur Humusversorgung. Informationen für Praxis, Beratung und Schulung* [online]. Dresden: Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (Hrsg.) [Zugriff am: 25.07.2026]. Verfügbar unter: <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/25484/documents/35267>

SÖDER, M., M. BERG-MOHNICKE, M. BITTNER, S. ERNST, T. FEIKE, C. FRÜHAUF, B. GOLLA, C. JÄNICKE, C. JORZIG, T. LEPELT, M. LIEDTKE, M. MÖLLER, C. NENDEL, F. OFFERMANN, L. RIEDESEL, V. ROMANOVA, J. SCHMITT, S. SCHULZ, D.-M. SESERMAN und A. R. SHAWON, 2022. *Klimawandelbedingte Ertragsveränderungen und Flächennutzung (KlimErtrag) – Thünen Working Paper 198* [online]. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut [Zugriff am: 27.07.2026]. Verfügbar unter: https://www.thuenen.de/media/publikationen/thuenen-workingpaper/ThuenenWorkingPaper_198.pdf

SOLOMAKHIN, A. und M. BLANKE, 2010. The microclimate under coloured hail nets affects leaf and fruit temperature, leaf anatomy, vegetative and reproductive growth as well as fruit colouration in apple. In: *Annals of Applied Biology* [online]. **156**(1), S. 121–136 [Letzter Zugriff: 27.07.2026]. Verfügbar unter: DOI: [10.1111/j.1744-7348.2009.00372.x](https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2009.00372.x)

SPEKTRUM AKADEMISCHER VERLAG, 2000a. *Lexikon der Geowissenschaften – hydrophil* [online]. Heidelberg: Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH

[Zugriff am: 30.07.2026]. Verfügbar unter: <https://www.spektrum.de/lexikon/geowissenschaften/hydrophil/7254>

SPEKTRUM AKADEMISCHER VERLAG, 2000b. *Lexikon der Geowissenschaften – hydrophob* [online]. Heidelberg: Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH [Zugriff am: 30.07.2026]. Verfügbar unter: <https://www.spektrum.de/lexikon/geowissenschaften/hydrophob/7255>

SPEKTRUM AKADEMISCHER VERLAG, 2000c. *Lexikon der Geowissenschaften – Landschaftswasserhaushalt* [online]. Heidelberg: Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH [Zugriff am: 30.07.2025]. Verfügbar unter: <https://www.spektrum.de/lexikon/geowissenschaften/landschaftswasserhaushalt/9251>

SPEKTRUM AKADEMISCHER VERLAG, 2000d. *Lexikon der Geowissenschaften – Wasserhaushalt* [online]. Heidelberg: Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH [Zugriff am: 03.08.2026]. Verfügbar unter: <https://www.spektrum.de/lexikon/geowissenschaften/wasserhaushalt/17995>

STATISTISCHES BUNDESAMT (DESTATIS), 2024. *Pressemitteilung Nr. 186 vom 10. Mai 2024* [online]. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt [Zugriff am: 04.08.2026]. Verfügbar unter: https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2024/05/PD24_186_41.html

STATISTISCHES BUNDESAMT (DESTATIS), 2025. *Flächennutzung: Bodenfläche insgesamt nach Nutzungsarten in Deutschland* [online]. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt [Zugriff am: 03.08.2026]. Verfügbar unter:

<https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Flaechennutzung/Tabellen/bodenflaeche-insgesamt.html>

STEIN, U., J. TROLTZSCH, R. VIDAURRE, H. SCHRITT, B. BUEB, J. REINEKE, M. FLOERKE, T. USCHAN, F. HERRMANN, S. KOLLET, N. WAGNER, I. MCNAMARA, T. GUGGENBERGER, M. BARJENBRUCH, T. DWORAK und G. SCHMIDT, 2024. *Auswirkung des Klimawandels auf die Wasserverfügbarkeit – Anpassung an Trockenheit und Dürre in Deutschland (WADKlim), Abschlussbericht – Texte 143/2024* [online]. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt (Hrsg.) [Zugriff am: 03.08.2026]. Verfügbar unter: DOI: [10.13140/RG.2.2.36047.91042](https://doi.org/10.13140/RG.2.2.36047.91042)

STEINHOFF-KNOPP B., 2025. *Erosionsschutz – damit der Boden fruchtbar bleibt* [online]. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut [Zugriff am: 03.08.2026]. Verfügbar unter: <https://www.thuenen.de/de/themenfelder/boden/themenschwerpunkt/boeden-durch-nachhaltige-bewirtschaftung-schuetzen/erosionsschutz-damit-der-boden-fruchtbar-bleibt>

SZABÓ A., T. JÁNOS und A. NAGY, 2021. Influence of the hail net on water balance and leaf pigment content of apple orchards. In: *Scientia Horticulturae* [online]. **283**, 110112 [Zugriff am: 27.07.2026]. Verfügbar unter: DOI: [10.1016/j.scienta.2021.110112](https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110112)

TARTACHNYK, I. und M. BLANKE, 2002. Effect of mechanically-simulated hail on photosynthesis, dark respiration and transpiration of apple leaves. In: *Environmental*

and Experimental Botany [online]. **48**(2), S. 169–175 [Zugriff am: 03.08.2026]. Verfügbar unter: DOI: [10.1016/S0098-8472\(02\)00022-9](https://doi.org/10.1016/S0098-8472(02)00022-9)

TSONKOVA, P., C. BÖHM, A. QUINKENSTEIN und D. FREESE, 2012. Ecological benefits provided by alley cropping systems for production of woody biomass in the temperate region: a review. In: *Agroforestry Systems* [online]. **85**(1), 133–152 [Zugriff am: 03.08.2026]. Verfügbar unter: DOI: [10.1007/s10457-012-9494-8](https://doi.org/10.1007/s10457-012-9494-8)

TUDELA, V., J. SOTO und C. PINTO, 2024. Artificial shading effects on winter chilling accumulation in “Santina” sweet cherry: a case study. In: *Acta Horticulturae* [online]. **1457**, S. 631–638 [Zugriff am: 27.07.2026]. Verfügbar unter: DOI: [10.17660/ActaHortic.2026.1457.79](https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2026.1457.79)

UMWELTBUNDESAMT (UBA), 2023. *Wasserwiederverwendung* [online]. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt [Zugriff am: 27.07.2026]. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/wasser/wasser-bewirtschaften/wasserwiederverwendung#nutzung-aufbereiteten-wassers-zur-ressourcenschonung-in-der-europaischen-union>

UMWELTBUNDESAMT (UBA), 2024. *EU-Verordnung zu Wasserwiederverwendung* [online]. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt [Zugriff am: 27.07.2026]. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/wasser/wasser-bewirtschaften/wasserwiederverwendung/eu-verordnung-zu-wasserwiederverwendung#undefined>

UMWELTBUNDESAMT (UBA), 2026. *Wasserressourcen und ihre Nutzung* [online]. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt [Zugriff am: 27.07.2026]. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/wasser/wasserressourcen-ihre-nutzung#wassernachfrage>

UMWELTBUNDESAMT (UBA), o. J. *Wasserdargebot* [online]. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt [Zugriff am: 27.07.2026]. Verfügbar unter: https://sns.uba.de/umthes/de/concepts/_00027201.html

VANDRÉ, R., S. KLAGES und M. SCHWAB, 2003. *Kompost in der Landwirtschaft*. Bonn: Auswertungs- und Informationsdienst für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (AID) e. V. (Hrsg.), Heft 1476. ISBN 978-3-830-80332-4

VERBAND DER LANDWIRTSCHAFTSKAMMERN (VLK), 2019. *Klimawandel und Landwirtschaft – Anpassungsstrategien im Ackerbau* [online]. Berlin: Verband der Landwirtschaftskammern (VLK) [Zugriff am: 27.07.2026]. Verfügbar unter: <https://www.landwirtschaft-mv.de/serviceassistent/download?id=1613266>

VERBAND DEUTSCHER LANDWIRTSCHAFTLICHER UNTERSUCHUNGS- UND FORSCHUNGSANSTALTEN (VDLUFA), 2014. *Humusbilanzierung – Eine Methode zur Analyse und Bewertung der Humusversorgung von Ackerland*. Speyer: Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) e. V. (Hrsg.) [Zugriff am: 27.07.2026]. Verfügbar unter: https://www.humusbilanz.ch/download/VDLUFA_2014_Humusbilanzierung.pdf

VERBAND DEUTSCHER LANDWIRTSCHAFTLICHER UNTERSUCHUNGS- UND FORSCHUNGSANSTALTEN (VDLUFA), 1991. *Methodenbuch Band I Böden* (Grundwerk 1991), Kap. A5: pH-Wert und Kalkbedarf. Speyer: Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten e. V. (Hrsg.)

WASSER-WISSEN.DE, o. J. a. *Grundwasseranreicherung* [online]. Langwedel: Wasserwissen.de [Zugriff am: 27.07.2026]. Verfügbar unter: <http://www.wasser-wissen.de/abwasserlexikon/g/grundwasseranreicherung.htm>

WASSER-WISSEN.DE, o. J. b. *Regenwasser* [online]. Langwedel: Wasserwissen.de [Zugriff am: 27.07.2026]. Verfügbar unter: <http://www.wasser-wissen.de/abwasserlexikon/r/regenwasser.htm>

WEHRLE, R., P. STEINBERGER, A. KUNZ, L. DAMEROW und M. BLANKE, 2018. Can hail nets reduce alternate bearing in 'Elstar' apple? In: *Acta Horticulturae* [online]. **1229**, S. 151–156 [Zugriff am: 27.07.2026]. Verfügbar unter: DOI: [10.17660/ActaHortic.2018.1229.23](https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2018.1229.23)

YEOMANS, P. A., 1954. *The Keyline Plan* [online]. Sydney: Waite & Bull [Zugriff am: 27.07.2026]. Verfügbar unter: <https://soilandhealth.org/wp-content/uploads/01aglibrary/010125yeomans/010125toc.html>

ZAINALI, S., 2024. *Microclimate Modelling for Agrivoltaic Systems*. Västerås: Mälardalen University Press Licentiate Theses. ISBN 978-91-7485-632-3

KTBL-Medien



Agroforstsysteme mit Pappeln

Neuanlage – Kosten und Arbeitszeitbedarf

Agroforstsysteme werden für immer mehr Landwirtinnen und Landwirte interessant. In dieser Schrift werden Arbeiten vorgestellt, die auf drei Betrieben die Neuanlage von Agroforstsystemen mit Pappeln wissenschaftlich begleiten. Die Arbeitsabläufe und eingesetzten Maschinen wurden dokumentiert und sind detailliert beschrieben. Broschüre, 112 Seiten, 2025, Bestell-Nr. 11542, ISBN 978-3-949930-08-9



Freilandbewässerung

Betriebs- und arbeitswirtschaftliche Kalkulation

Die Schrift weist die Kosten von mobilen Beregnungsmaschinen, Kreis- und Linearberegnungsmaschinen sowie Rohrberegnung und Tropfbewässerung detailliert aus. Planungsbeispiele zeigen, mit welchen Jahreskosten gerechnet werden kann. Die Datensammlung liefert die methodischen Grundlagen, um eigene Kalkulationen durchzuführen und die unterschiedlichen Verfahren miteinander vergleichen zu können.

Broschüre, 112 Seiten, 2026, Bestell-Nr. 19535, ISBN 978-3-949930-13-3



Betriebsplanung Landwirtschaft 2026/27

Daten für die Betriebsplanung in der Landwirtschaft

Die Datensammlung liefert die methodischen Grundlagen, um Betriebszweige zu bewerten und Verfahren zu vergleichen. Die übersichtliche Darstellung der Kennzahlen und Planungsdaten bietet einen umfassenden Einblick in die produktionstechnische Bandbreite eines Produktionsverfahrens. Die gedruckte Datensammlung wird durch kostenlose Web-Anwendungen unter www.ktbl.de ergänzt.

Broschüre, 840 Seiten, 2026, Bestell-Nr. 19537, ISBN 978-3-949930-17-1

Bestellhinweise KTBL:

Besuchen Sie auch unseren Internet-Shop <https://shop.ktbl.de/>.

Porto- und Verpackungskosten werden gesondert in Rechnung gestellt. Preisänderungen vorbehalten. Wir freuen uns auf Ihre Bestellung.

KTBL, Bartningstraße 49, D-64289 Darmstadt, E-Mail: vertrieb@ktbl.de

Weitere BZL-Medien



Klimaschutz im landwirtschaftlichen Betrieb

Der Klimawandel stellt die Landwirtschaft vor große Herausforderungen. Wie kann Klimaschutz im landwirtschaftlichen Betrieb gelingen und wie lassen sich die Bewirtschaftungsweisen anpassen? Die Broschüre stellt eine Auswahl an Möglichkeiten vor, wie sowohl im Pflanzenbau als auch in der Tierhaltung Treibhausgasemissionen reduziert werden können und erklärt die Grundlagen der Klimabilanzierung.

Broschüre, DIN A5, 64 Seiten,
Erstauflage 2025, Art.-Nr. 0726

[↘ Download](#)



Hecken und Raine in der Agrarlandschaft

Hecken, Raine und andere Saumbiotope prägen die Kulturlandschaft und erfüllen wichtige ökologische Funktionen. Die Broschüre stellt die Formenvielfalt sowie die Entstehung, Nutzung und Gefährdung von Saumstrukturen vor. Sie erklärt, wie Pflege und Neuanlage gelingen und wie die Strukturen die Artenvielfalt fördern. Auch Agroforstsysteme für eine zukunftsfähige Kulturlandschaft werden vorgestellt.

Broschüre, DIN A5, 100 Seiten,
2. Auflage 2026, Art.-Nr. 1619

[↘ Download](#)



Gute fachliche Praxis – Bodenbewirtschaftung und Bodenschutz

Die Broschüre informiert über Bodenschutz in der guten fachlichen Praxis. Sie behandelt Schadverdichtung, Erosionsschutz und den Erhalt organischer Substanz. Wesentliche Ansatzpunkte für die Förderung der Bodengesundheit werden ausführlich vorgestellt. Damit vermittelt die Broschüre Grundlagen für eine effiziente und nachhaltige Landwirtschaft.

Broschüre, DIN A4, 128 Seiten,
3. Auflage 2022, Art.-Nr. 3614

[↘ Download](#)



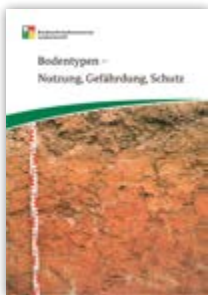


Gute fachliche Praxis – Bodenfruchtbarkeit

Die Broschüre beschäftigt sich mit der besonderen Bedeutung der Bodenfruchtbarkeit für den Bodenschutz im Rahmen der „Guten fachlichen Praxis“ (gemäß BBodSchG § 17, 1998). Sie stützt sich auf umfassendes Expertenwissen und langjährige Praxiserfahrungen zum Thema Ackerbau und Grünlandbewirtschaftung.

Broschüre, DIN A4, DIN A4, 144 Seiten,
2. Auflage 2022, Art.-Nr. 1585

[↗ Download](#)

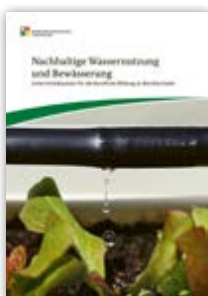


Bodentypen – Nutzung, Gefährdung, Schutz

Deutschlands Böden sind so vielfältig wie seine Landschaften. Als Wasser-, Nährstoff- und Kohlenstoffspeicher bilden sie die Grundlage für Land- und Forstwirtschaft sowie Gartenbau und sind besonders schützenswert. Die Broschüre erläutert Entstehung, Eigenschaften, pH-Wert und Humusgehalt der Bodentypen. Bodenprofile zeigen die wichtigsten Merkmale von 25 ausgewählten Bodentypen.

Broschüre DIN A5, 96 Seiten,
7. Auflage 2025, Art.-Nr. 1572

[↗ Download](#)



Nachhaltige Wassernutzung und Bewässerung

Unterrichtsbaustein für die berufliche Bildung an Berufsschulen

Starkregenereignisse und das Ausbleiben von Niederschlag erschweren eine nachhaltige landwirtschaftliche Produktion. In dem Unterrichtsbaustein „Nachhaltige Wassernutzung und Bewässerung“ für die berufliche Bildung an Berufsschulen werden Methoden nähergebracht, mit der Situation umzugehen. Beispiele sind angepasste Bewässerungssysteme oder Bodenbearbeitung.

Broschüre, DIN A4, 16 Seiten,
Erstauflage 2025, Art.-Nr. 0838

[↗ Download](#)



Das BZL im Netz

Internet

www.landwirtschaft.de

Vom Stall und Acker auf den Esstisch –
Informationen für Verbraucherinnen und
Verbraucher

www.praxis-agrar.de

Das Informationsangebot für die landwirt-
schaftliche Praxis und Beratung – fachlich
fundiert und eigenständig

www.bmel-statistik.de/agrarmarkt

Daten und Fakten zur Marktinformation
und Marktanalyse

www.bildungsserveragrar.de

Gebündelte Informationen zur Aus-, Fort-
und Weiterbildung in den Grünen Berufen

www.nutztierhaltung.de

Informationen für eine nachhaltige
Nutztierhaltung aus Praxis, Wissenschaft
und Agrarpolitik

Social Media

Folgen Sie uns auf:



**@Bundeszentrum
für Landwirtschaft**



@mitten_draussen



BZLandwirtschaft

Newsletter

www.bildungsserveragrar.de/newsletter

www.landwirtschaft.de/newsletter

www.praxis-agrar.de/newsletter

www.bmel-statistik.de/newsletter

www.nutztierhaltung.de/newsletter

Medienservice

Alle Medien erhalten Sie unter
www.ble-medienservice.de



Impressum

Herausgeberin

Bundesanstalt für Landwirtschaft
und Ernährung (BLE)
Präsidentin: Dr. Margareta Büning-Fesel
Deichmanns Aue 29
53179 Bonn
Telefon: +49 (0)228 6845-0
www.ble.de

Redaktion

Isabelle Hirsch, BZL

Text

Dr. Cathleen Frühauf, Deutscher Wetterdienst –
Zentrum für Agrarmeteorologische Forschung
(Kapitel 2)
Ulrich Ostermann, Kreisverband der Wasser- und
Bodenverbände Uelzen (Kapitel 3)
Corinna Friedrich, Deutscher Verband für
Landschaftspflege (DVL) e. V. (Kapitel 4.1)
Matthias Böldt, Deutscher Verband für
Landschaftspflege (DVL) e. V. (Kapitel 4.2)
Dr. Christian Böhm, Deutscher Fachverband für
Agroforstwirtschaft (DeFAF) e. V. (Kapitel 4.3)
Dr. Philipp Gerhardt, baumfeldwirtschaft.de
(Kapitel 4.4)
Dr. Michael Blanke, INRES
Gartenbauwissenschaften (Kapitel 4.5)
Dr. Christoph Jedmowski, Forschungszentrum
Jülich – Institut für Bio- und Geowissenschaften:
Pflanzenwissenschaften (Kapitel 4.6)

Bildnachweis

Titelbild: Landpixel.de, BLE
Abbildung 1, 2: Bundesministerium für Umwelt,
Klimaschutz, Naturschutz und nukleare Sicherheit
(BMUKN)
Abbildung 3: Deutscher Wetterdienst – Zentrum
für Agrarmeteorologische Forschung
Abbildung 4: meryll-stock.adobe.com
Abbildung 5, 6: Kreisverband der Wasser- und
Bodenverbände Uelzen
Abbildung 7, 9, 19, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 31, 32:
Landpixel.de
Abbildung 8: DVL e. V.
Abbildung 10, 11, 13, 14, 16, 17, 18, 21, 22, 29, 30:
Matthias Böldt
Abbildung 12: Stephan Naumann,
Umweltbundesamt

Abbildung 15: Mosimann et al. 2007 aus Gute
fachliche Praxis der Bodenbewirtschaftung
Abbildung 20: Markus Hanssler, Geries Ingenieure
– Büro für Standorterkundung GmbH
Abbildung 33, 35, 36: Dr. Christian Böhm,
DeFAF e. V.
Abbildung 34: Leon Bessert, DeFAF e. V.
Abbildung 37, 38, 39, 40: Dr. Philipp Gerhardt,
baumfeldwirtschaft.de
Abbildung 41, 42, 43, 44: Dr. Michael Blanke,
INRES Gartenbauwissenschaften
Abbildung 45, 46, 47, 48: Dr. Christoph Jedmowski,
Forschungszentrum Jülich GmbH
S. 5: BLE
S. 12, 16, 24: Landpixel.de
S. 102: Zoran Zeremski-stock.adobe.com
S. 104: oben links: Minerva Studio-stock.adobe.
com, oben rechts: Prapat Aowsakorn/iStock via
Getty Images, unten links: Kursatunsal/iStock via
Getty Images und Lisa-Blue/E+ via Getty Images,
unten rechts: Monkey Business-stock.adobe.com

Gestaltung

Arnout van Son, Alterf

Druck

Kern GmbH
In der Kolling 120
66450 Bexbach

Nachdruck und Vervielfältigung – auch
auszugsweise – sowie Weitergabe mit Zusätzen,
Aufdrucken oder Aufklebern nur mit Zustimmung
der BLE gestattet.

Stand: Juli 2026

Art.-Nr. 0725 | Erstauflage

Bei Fragen zur Produktsicherheit wenden Sie sich
bitte an landwirtschaft@ble.de.

© BLE 2026



Art.-Nr. 0725

Das Bundeszentrum für Landwirtschaft (BZL) ist der neutrale und wissensbasierte Informationsdienstleister rund um die Themen Land- und Forstwirtschaft, Fischerei, Imkerei, Garten- und Weinbau – von der Erzeugung bis zur Verarbeitung.

Wir erheben und analysieren Daten und Informationen, bereiten sie für unsere Zielgruppen verständlich auf und kommunizieren sie über eine Vielzahl von Medien.



www.praxis-agrar.de