

## 14 Herausforderungen für die Bewässerung landwirtschaftlicher Nutzflächen in Deutschland

Dr. Sonja Schimmelpfennig, Dr. Claudia Heidecke, Jano Anter

Thünen-Institut für Ländliche Räume, Thünen-Institut für Agrartechnologie

### 14.1 Hintergrund

Der vorliegende Beitrag stellt die Herausforderungen für die Bewässerung landwirtschaftlicher Kulturen und für ein effizientes Wassermanagement in Deutschland in einem kurzen Überblick dar. Dazu baut der Beitrag auf den bisherigen Kapiteln in diesem Tagungsband auf und stellt zunächst die bisherigen Schwerpunkte aus Projekten und der Forschungslandschaft heraus. Um die Herausforderungen zu diskutieren, werden anschließend die Chancen und Risiken von Bewässerung und nachhaltiger Bodenbearbeitung, der künstlichen Grundwasseranreicherung und Entlastung von Grundwasserkörpern sowie regionalem Wassermanagement diskutiert. Abschließend wird in diesem Beitrag ein kurzer Ausblick gegeben.

Im globalen Vergleich ist der Anteil der Wasserentnahme für die landwirtschaftliche Bewässerung aus Grundwasser und Oberflächengewässern am Gesamt-Wasserverbrauch in Deutschland mit 1 % gering. Dies muss aber in Relation zur Gesamtwasserentnahmemenge und den regional sehr unterschiedlich vertretenen Sektoren wie Privathaushalten und Industrie gesehen werden. Auch weist die Wasserentnahme zur landwirtschaftlichen Nutzung in Deutschland große regionale Unterschiede auf und beträgt z. B. in der intensiv beregneten Region Nordostniedersachsen ca. 80 %.

In Folge des in Deutschland seit 1881 beobachteten Anstiegs der Jahresdurchschnittstemperatur um 1,3 °C und auch im Hinblick auf eine Fortsetzung des Temperaturanstiegs, ist in Zukunft mit einer erhöhten potenziellen Verdunstung und einem steigenden Bewässerungsbedarf für landwirtschaftliche Kulturen zu rechnen (siehe Kapitel 2). Dies könnte eine Anpassung der Bewässerung und Neuorganisation des Wassermanagements erforderlich machen. Eine frühzeitige und proaktive Prüfung möglicher Änderungen im Wasserbedarf verschiedener Akteure und Sektoren ist dabei der Entwicklung nachhaltiger Strategien zuträglich.

Bei Zunahme des Wasserbedarfs für die Bewässerung landwirtschaftlicher Kulturen mit dem Ziel des Erhalts bzw. der Erhöhung der Flächenproduktivität stellt sich die Frage, ob dies mit den Bedarfen anderer Wasser- und Flächennutzer wie Industrie und Privathaushalte, des Naturhaushaltes und gesellschaftlicher Ansprüche und Richtlinien vereinbar ist. Dies macht die Notwendigkeit der Entwicklung regionaler Lösungsansätze und der Anwendung differenzierter Maßnahmen für das Wassernutzungsmanagement deutlich.

## 14.2 Bewässerung als Anpassungsmaßnahme – bisherige Projekte

Neben einzelnen Regionalstudien (Kapitel 13) förderte das BMBF in den Jahren 2005-2012 mit dem Programm „klimazwei – Forschung für den Klimaschutz und Schutz vor Klimawirkungen“ die Entwicklung von Technologien und Strategien zum Umgang mit dem Klimawandel. Die geförderten Projekte, die sich auch mit dem Wassermanagement der Zukunft beschäftigten, sollten zur Einschätzung und Minderung von Risiken aber auch zur Identifizierung von Chancen, die sich mit dem Klimawandel für Wirtschaft und Gesellschaft ergeben können, beitragen. Weitere Ergebnisse regionsspezifischer Untersuchungen zum Einfluss von Klimaänderungen auf das Wassermanagement sowie zu den Möglichkeiten und Grenzen von Anpassungsmaßnahmen wurden in den letzten Jahren u.a. in den vom BMBF geförderten Klimazug-Projekten (Klimawandel in Regionen zukunftsfähig gestalten, 2009-2013) erarbeitet. Bereits heute existierende Probleme bezüglich der Nutzung der zur Verfügung stehenden Wassermenge wurden identifiziert und anhand regionaler Klimamodelle in die Zukunft projiziert. Insgesamt stimmen alle Untersuchungen, die im Rahmen der Klimazug-Projekte durchgeführt wurden, unabhängig von der Größe und der Art der Untersuchungsgebiete dahingehend überein, dass in Folge des Klimawandels mit zunehmenden Problemstellungen zu rechnen ist (Kaden, 2014). Durch die Projekte erfolgte eine unvermeidliche projektbedingte Schwerpunktsetzung je nach regionsspezifisch unterschiedlichen Problemfeldern, deren Lösungsansätze jedoch teilweise auf andere Regionen übertragen werden können.

## 14.3 Bewertung verschiedener Methoden zur Anpassung an zunehmende Trockenheit

Die Wirkung der Bewässerung landwirtschaftlicher Nutzflächen als Anpassungsmaßnahme an den Klimawandel kann durch die Förderung der Speicherfähigkeit der Böden und der Wassernutzung der Pflanzen maßgeblich unterstützt werden (Köstner und Lorenz, 2014). So stellt die Umsetzung von bodenschonenden, konservierenden Bewirtschaftungsmethoden eine Anpassungsmaßnahme an sinkende Niederschläge in trockenheitsgefährdeten Gebieten dar. Auch ein Wechsel der Pflanzenarten und -sorten stellt eine Anpassungsmaßnahme an den prognostizierten Rückgang der Sommerniederschläge und ggf. Extremwetterereignisse (Verwendung von Arten und Sorten mit kräftigen Stängeln) dar.

Eine Bewertung der Maßnahmen „Anpassung der Bewässerung von landwirtschaftlichen Nutzflächen“, „bodenschonende konservierende Bewirtschaftungsmethoden“ und „Einsatz angepasster Pflanzensorten“ wurde im Rahmen des Projekts „Ökonomie des Klimawandels: Kosten und Nutzen von Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel“ untersucht. Dabei wurden die Maßnahmen, soweit quantifizierbar, anhand ihrer Kosten und ihres Nutzens sowie mit Hilfe weiterer Kriterien (z. B. Mitnahmeeffekte der Maßnahme und regret/no-regret-Ansätze) bewertet (Tabelle 14-1, Tröltzsch et al., 2012). Für den Nutzen der jeweiligen Anpassungsmaßnahme wurde der Ertragsrückgang durch die projizierten Klimaänderungen des IPCC herangezogen. Nach De Groot (2006) beträgt der für die Niederlande errechnete und für Norddeutschland übernommene Er-

tragsrückgang durch zunehmende Trockenheit 22-37 %. Dem gegenüber stehen die Investitionen für die Maßnahme, mit der den prognostizierten Ertragsrückgängen entgegengewirkt werden kann. Das Kosten-Nutzen-Verhältnis für die Bewässerung zeigte eine große Bandbreite. Die Wirtschaftlichkeit der Anpassungsmaßnahme war gegeben, wenn durch die Bewässerung der Ertrag stark gesteigert werden konnte. Zudem sollte die Gewinnmarge für die angebaute Sorte relativ hoch sein. Es wurde angenommen, dass Landwirte aus Eigeninteresse in die Bewässerung von Nutzflächen investieren.

**Tabelle 14-1:** Bewertung der Anpassungsmaßnahmen „Konservierende bodenschonende Bewirtschaftungsmethoden“, „Anpassung der Bewässerung von landwirtschaftlichen Nutzflächen“ und „Einsatz angepasster Pflanzensorten“ nach den Kriterien „no/low/high regret“ und ihrer Relevanz (Auszug)

Maßnahme	Regret/no regret	Erläuterung	Relevanz	Erläuterung
Konservierende bodenschonende Bewirtschaftungsmethoden	No regret	Bereits heute bestehen Probleme im Bereich der Landwirtschaft aufgrund der Bodenerosionen	Need to have	Die konservierende Bodenbearbeitung stellt eine Hauptmaßnahme zur Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit und Verringerung der Bodenerosion dar. Es liegen positive Effekte auf andere Handlungsfelder vor, z. B. Wasserhaushalt.
Anpassung der Bewässerung von landwirtschaftlichen Nutzflächen	High regret	Die Maßnahme erschwert das Erreichen anderer Ziele, wie einen nachhaltigen Umgang mit Wasserressourcen	Nice to have	Bewässerung für den Anbau von speziellen Anbausorten notwendig. Durch den Anbau im eigenen Land ist eine gewisse Unabhängigkeit gegeben.
Einsatz angepasster Pflanzensorten	Low regret	Die Sorten erhöhen die Diversifizierung der Anbausorten und somit die biologische Vielfalt. Einschränkend können „alte“ Sorten verloren gehen.	Nice to have	Der Anbau von angepassten Pflanzensorten sichert die Erwerbsgrundlage der Landwirtschaft und trägt zur Sicherheit der Nahrungsversorgung bei.

Quelle: Tröltzsch et al. (2012).

Die konservierende Bodenbearbeitung stellt eine Anpassungsmaßnahme mit hohem Nutzen und vielfältigen Synergieeffekten wie den Hochwasserschutz durch Verbesserung der Infiltrationsrate in den Boden, die Verbesserung der Gewässerqualität durch geringere Nährstoffeinträge und die Erhöhung der biologischen Vielfalt dar. Die Synergieeffekte wurden nicht in die Nutzenrechnung übernommen. Eine Förderung zur Umsetzung der Maßnahme könnte eine Unterstützung der Investition in landwirtschaftliche Geräte wie z.B. Direktsaatmaschinen beinhalten. In Sachsen wird die Umstellung auf konservierende Bewirtschaftungsmethoden seit 1993 gefördert. Dort

stieg die konservierende und in Mulchsaat bewirtschaftete Ackerfläche zwischen 2000-2005 von 140.000 ha auf rund 246.000 ha an (Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, 2007). Durch die konservierende Bodenbearbeitung wurde eine Abschwächung der Ertragsrückgänge durch Trockenheit von 10 % angenommen. Die Kosten der Maßnahme waren dreimal so hoch wie der Nutzen, jedoch ist die Wirkung der Maßnahme langfristig (wenn gewünscht), zudem werden auch Kosten für die sogenannten „off-site damages“ durch Bodenerosion und deren Beseitigung vermieden (Tröltzsch et al., 2012).

Der Einsatz angepasster Pflanzensorten wie z. B. tiefwurzelnde und hitzeresistente Sorten stellt eine alternative Anpassungsmethode an Trockenheit im Sommer dar. Der Nutzung anderer Pflanzenarten und -sorten sind jedoch Grenzen gesetzt, da die Pflanzen- und Sortenwahl u. a. maßgeblich von den EU-Agrarsubventionen beeinflusst wird. Durch die Nutzung alternativer Pflanzen wurde ein Ertragsrückgang gegenüber heutigen Erträgen von 10 % angenommen. Auf der Kostenseite bestehen Unsicherheiten insbesondere beim Fortschritt der landwirtschaftlichen Forschung zu Anbauprodukten, die gegenüber Hitze und Trockenheit resistenter sind. Sowohl die Kosten- als auch die Nutzenseite sind von Unsicherheiten bezüglich der Marktpreise für landwirtschaftliche Erzeugnisse betroffen. Dennoch ist davon auszugehen, dass die Nutzen der Maßnahme ihre Kosten übersteigen (Tröltzsch et al., 2012).

#### 14.4 Regionale Auswirkungen auf das Wassermanagement

Probleme können sich nicht nur durch zukünftig geringere zur Verfügung stehende Wassermengen, sondern auch durch zu hohe Wassermengen ergeben. In kleinen Flusseinzugsgebieten bestehen nach Extremsituationen wie Trockenheit und Starkniederschlag bereits heute Wassernutzungskonflikte von privater Wassernutzung, Naturschutz (Zustand angrenzender Feuchtgebiete) und Gewässerqualität. Nach Starkniederschlägen bestehen oftmals technische Probleme bei der Regenwasserableitung, vor allem in dicht besiedelten Gebieten. Bei den im Rahmen der Klimazug-Projekte dynaklim/InkaBB untersuchten Seen in Südbrandenburg sowie den Flüssen Lippe, Ems und Ruhr, ist mit einer sinkenden Gewässerqualität durch ein verringertes Wasserdargebot oder sinkende Wasserstände und/oder höheren Wassertemperaturen zu rechnen. In Folge von Trockenperioden sowie durch höhere Verdunstungsraten, ist zukünftig vor allem im Nordosten Deutschlands sowie im Nordosten Niedersachsens und im Süden und Westen Nordrhein-Westfalens mit sinkenden Grundwasserneubildungsraten zu rechnen (Heidt, 2009, Kaden, 2014; Kreins et al., 2015). Zu dem möglichen Maßnahmenkatalog für die Anpassung des Wassermanagements gehören eine gezielte Grundwasseranreicherung für trockene Gebiete, die Regulierung des Wasserhaushaltes durch Änderungen der Stauregulierung in entwässerten Gebieten zur Reduzierung des Wasserbedarfs in Trockenperioden (Dietrich et al., 2014), oder Anpassung der Steuerung der großflächigen Wasserregulierung durch Stauanlagen zur Minimierung von Nutzungseinschränkungen durch Hoch- und Niedrigwasserereignisse (Theobald et al., 2014).

## 14.5 Bewässerung und Wasserdargebot

In Bezug auf den Bedarf an Bewässerungswasser für die Landwirtschaft sind neben den steigenden Temperaturen vor allem zukünftige Änderungen der Niederschlagsmenge und -verteilung sowie veränderte Grundwasserneubildungsraten in Gebieten mit landwirtschaftlicher Produktion relevant. Bundesweit stammen 85 % des Wassers für Bewässerungszwecke aus Grund- und Quellwasser, weniger als 15 % stammt aus Oberflächengewässern in einigen Bundesländern. In den Bewässerungsgebieten Niedersachsens stammen rund 90 % des Zusatzwassers aus Grundwasserreservoirs, auf manchen Flächen wird auch eine Wasserentnahme aus dem Elbe-Seitenkanal praktiziert. Auch im Süden Deutschlands werden Oberflächengewässer zur Zusatzbewässerung genutzt (z. B. aus dem Rhein in Hessen oder aus dem Main-Donau-Kanal in Nordbayern). Dabei gilt es, den Zusatzwassereinsatz unter Beachtung der regionalen Wasserverfügbarkeit und der Erhaltung des Landschaftswasserhaushaltes heute und in Zukunft effektiv und umweltverträglich zu gestalten.

Die bereits heute bei manchen Grundwasserkörpern angespannte Bewässerungssituation könnte sich durch Folgen des Klimawandels wie u. a. sinkende Grundwasserneubildungsraten und höhere Verdunstungsraten von Pflanze und Boden in Folge steigender Temperaturen verschärfen. So wurde für die landwirtschaftlich genutzten Flächen Nordost-Niedersachsens durch das LBEG eine Zunahme der benötigten Bewässerungswassermenge von 30 % bis Ende des Jahrhunderts ermittelt (Heidt, 2009). Für die landwirtschaftlichen Flächen Nordost-Niedersachsens im Klimawandel besteht somit die Annahme, dass unter zukünftigen Bedingungen der Bewässerungsbedarf nicht mehr nur mit Grundwasser gedeckt werden kann, und dass auch Effizienzreserven nicht ausreichen werden (Schulz, 2014). Zur nachhaltigen Sicherung der Bewässerung bei gleichzeitiger Vermeidung einer weiteren Beeinträchtigung der Grundwasserkörper sowie zur Vorbeugung von Wassernutzungskonflikten, können mehrere Ansätze verfolgt werden. Für verschiedene Landkreise der Metropolregion Hannover-Braunschweig-Gifhorn wurden dabei regional angepasste Lösungsansätze untersucht. Dies beinhaltete einerseits Ansätze zur Substitution von Grundwasser zur Bewässerung durch die verstärkte Nutzung von Oberflächengewässern oder die Nutzung von kommunalem wie industriellem Klarwasser. Andererseits wurden auch die Potenziale für eine verstärkte Grundwasserentnahme analysiert, oder eine Grundwasseranreicherung mit dem Ziel, höhere Entnahmemengen zu generieren.

## 14.6 Möglichkeiten der Grundwasseranreicherung und Entlastung von Grundwasserkörpern

Das Potenzial der Grundwasseranreicherung durch Forstumbau von Nadel- zu Laubwald oder die Versickerung von Klarwasser in einem Nadelwaldbestand wird aktuell innerhalb von Pilotprojekten der LWK Niedersachsen untersucht (Schulz, 2014). Ebenso wird der Einsatz von Prozessabwasser aus der Zuckerrübenverarbeitung erprobt. Dabei kann eine Verregnung von Klarwasser zum Wasserrückhalt beitragen und sich positiv auf den regionalen Wasserhaushalt auswirken. Für

das Verfahren der Klarwasserverregnung kommunaler Abwässer wird derzeit auf EU-Ebene eine Vereinheitlichung der rechtlichen Rahmenbedingungen angestrebt (siehe auch Kapitel 4). Dabei werden für eine sichere, die menschliche Gesundheit nicht gefährdende Nutzung von behandeltem Abwasser die Etablierung eines umfassendes Risikomanagementsystems sowie weitergehende Aufbereitungsschritte empfohlen, um Verunreinigungen z. B. mit Arzneimittelrückständen ausschließen zu können. Hierzu wird in einer Pilotanlage in Niedersachsen im Rahmen eines Projekts des IWW Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasserforschung die Wirksamkeit einer Ultrafiltration in Kombination mit einem Flockungsprozess für die Klarwasserverregnung u. a. für die Bewässerung landwirtschaftlicher Kulturen ermittelt. Eine erneute Anpassung des historisch gewachsenen und etablierten, in Deutschland einmaligen Abwasserverregnungsverfahrens an gesetzliche Vorgaben wird auch auf den Abwasserverband Braunschweig (Kapitel 6) zukommen, wenn in 2027 der Einsatz von Klärschlamm auf landwirtschaftlichen Flächen endgültig verboten wird. Insgesamt kommt der Abwasserverregnung in Deutschland bisher eine eher untergeordnete Bedeutung zu, europa- und weltweit gesehen ist das Thema jedoch von großer Wichtigkeit (Seis et al., 2016).

Zur Entlastung der Grundwasserkörper wurden auch die Möglichkeiten einer höheren Wasserentnahmemenge aus dem Elbe-Seitenkanal in Verbindung mit dem Mittellandkanal begutachtet. Im Ergebnis sind höhere Entnahmemengen generell ohne Einschränkungen für die Schifffahrt möglich. Es würden jedoch eine höhere Pumpleistung und ein die verschiedenen Scheitelhaltungen ausgleichendes Pumpkettenmanagement benötigt werden, was mit der derzeitigen Reduzierung der Pumpkapazitäten nicht vereinbar wäre (Hohenrainer und von Eschenbach, 2014). In der Region Nürnberg/Fürth wird die Bewässerung der landwirtschaftlich genutzten Flächen im „Knoblauchland“ mit 150 Mio. m<sup>3</sup>/Jahr Zusatzwasser aus der Zuleitung von Wasser aus dem Main-Donau-Kanal in die Regnitz gestützt. Der Kanal wurde als Wasserstraße zur Verbindung von Schwarzem Meer und Nordsee vor 25 Jahren gebaut. Der Bau führte zu erheblichen ökologischen Beeinträchtigungen im gesamten Baugebiet und blieb zudem deutlich hinter den ökonomischen Zielen zurück (Petschow et al., 1992). Vor der Errichtung neuer Überleitungssysteme sollte daher zuallererst die Ausschöpfung regionaler Wassernutzungspotenziale, einschließlich der Verbesserung der Wassernutzungseffizienz, geprüft und angestrebt werden. Wird dennoch eine Wasserüberleitung geplant, muss sie an den Grundsätzen einer ökologisch nachhaltigen Entwicklung ausgerichtet und unter aktiver Beteiligung aller Akteure auf lokaler, Landes- und Bundesebene ausgearbeitet werden (Dietrich et al., 2015).

## 14.7 Ausblick

Zur Bewertung von Anpassungsmaßnahmen wie der Bewässerung landwirtschaftlicher Nutzflächen besteht weiterer Bedarf für detaillierte Kosten-Nutzen-Rechnungen. Bisher stehen für eine differenzierte deutschlandweite, *regionalspezifische* Bewertung keine ausreichenden Daten zur Verfügung. Die mangelnde Datenverfügbarkeit macht Annahmen nötig und beschränkt die Zuverlässigkeit der Bewertungen. Je wichtiger die Bewässerung zukünftig wird, desto lohnender wird auch eine klare Differenzierung zwischen besonders bewässerungswürdigen und wenig bewässe-

rungswürdigen (Teil-)Flächen. Auch die Potenziale höherer Wassereffizienz, die sich aus einer Verbesserung in Form und Größe von Ackerschlägen ergeben, sollten ebenfalls als win-win-Strategie zum beidseitigen Vorteil von Landwirtschaft und Naturschutz weiter entwickelt werden (Schulz, 2012).

Die durch den menschengemachten Klimawandel seit 1850 beobachtete und weiter steigende CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre wirkt sich positiv auf das Pflanzenwachstum aus und verbessert gleichzeitig die Wassernutzungseffizienz. Quantitative Analysen zur Auswirkung höherer CO<sub>2</sub>-Konzentrationen auf den Wasserhaushalt, eine potenziell erhöhte Wassereffizienz und die Erträge von ackerbaulichen Kulturen sind jedoch noch nicht in ausreichendem Maß vorhanden.

Die Akzeptanz für einen Ausbau der Bewässerungssysteme oder Erhöhung der Wasserentnahme für die Bewässerung landwirtschaftlicher Nutzflächen kann, in Abhängigkeit der regionalen Wasservorräte und Nutzungskonkurrenz sehr unterschiedlich sein. Um in Hinblick auf zukünftige Veränderungen der Wasserverfügbarkeit und mögliche Nutzungskonflikte eine proaktive Handlungsweise zu erarbeiten, bedarf es eines frühzeitigen fachlichen Austauschs zwischen Forschungs- und Beratungseinrichtungen, der Verwaltung und der landwirtschaftlichen Praxis. Nur so können langfristig wirksame Lösungsansätze entwickelt werden.

Vor dem Hintergrund der für Deutschland beobachteten oder projizierten abnehmenden Niederschläge in den Haupt-Vegetationszeiten Frühjahr und Sommer, wird der Bewässerung eine immer größere Bedeutung zukommen. Da die Wasserentnahmen für landwirtschaftliche Nutzflächen bereits jetzt limitiert sind und vielen Nutzungsansprüchen genügen müssen, wird die Investition in effiziente Technik weiter an Bedeutung gewinnen. Auch potenzielle Ertragsvorteile durch die Bewässerung werden, in Kombination mit der Entwicklung der Agrarpreise, Investitionen in wasser- und energieeffiziente Verfahren mehr und mehr rechtfertigen.

## Literatur

- Dietrich O, Schubert U, Schuler J, Zander P, Steidl J (2015) Wassermanagement in der Landwirtschaft, Projektbericht, ZALF Müncheberg
- Dietrich O, Fahle M, Steidl J (2014) Anpassung des Wassermanagements in stauregulierten Niederungsgebieten an zunehmende Wetterextreme-Möglichkeiten und Grenzen der Einflussnahme auf Wasserhaushaltsgrößen, In: Kaden S, Dietrich O, Theobald S (Hrsg.), *Wassermanagement im Klimawandel- Möglichkeiten und Grenzen von Anpassungsmaßnahmen* KLIMZUG Band 3, 161-189, München, oekom Verlag
- De Groot R S, van Ierland E C, Kuikman P J, Nillesen E E M, Platteeuw M., Tassone V C, Verhagen A, Verzandvoort S J E (2006) Climate adaptation in the Netherlands. Netherlands Environmental Assessment Agency, Bilthoven
- Heidt L (2009) Auswirkungen des Klimawandels auf die potenzielle Beregnungsbedürftigkeit Nordost-Niedersachsens. Geoberichte 13, LBEG, Hannover

- Hohenrainer J, Ebner von Eschenbach A-D (2016) *Untersuchungen zu den Auswirkungen zusätzlicher Wasserentnahmen für die Feldberegnung aus dem Elbe-Seitenkanal und der Scheitelhaltung des Mittellandkanals*, Bundesanstalt für Gewässerkunde, Bericht BfG-1898
- Kaden S, Dietrich O, Theobald S (2014) Wassermanagement im Klimawandel- Möglichkeiten und Grenzen von Anpassungsmaßnahmen, In: Kaden S, Dietrich O, Theobald S (Hrsg.), *Wassermanagement im Klimawandel – Möglichkeiten und Grenzen von Anpassungsmaßnahmen* KLIMZUG Band 3, 487-506, München, oekom Verlag
- Köstner B, Lorenz M (2014) Klimafolgenszenarien für Agrarregionen und landwirtschaftliche Betriebe – Anwendung des Entscheidungshilfesystems LandCaRe-DSS. In: Bloch R, Bachinger J, Fohrmann R, Pfriem R (Hrsg.), *Land- und Ernährungswirtschaft im Klimawandel. Auswirkungen, Anpassungsstrategien und Entscheidungshilfen*, KLIMZUG Band 8, 325-344, München, Oekom-Verlag
- Kreins P, Henseler M, Anter J, Herrmann F und Wendland F (2015) Quantification of climate change impact on regional agricultural irrigation and groundwater demand, *Water resources management*, 29(10), 3585-3600
- Petschow U, Meyerhoff J, Einert D (1992) Ökonomisch-ökologische Bewertung der Elbekanalisation, Schriftenreihe des IÖW 53, 92
- Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft (2007) *Umweltgerechte Landwirtschaft 2005*, Ergebnisse der wissenschaftlichen Begleitung des Programms „Umweltgerechte Landwirtschaft—(UL)“ in der Förderperiode 2000 bis 2005, Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Heft 1/2007, Dresden.
- Schulz E (2012) *AQUARIUS – Dem Wasser kluge Wege ebnen*. Projektbericht. LWK Niedersachsen (Hrsg), Hannover: <http://www.lwk-niedersachsen.de/index.cfm/portal/6/nav/203/article/12396.html>
- Schulz, E (2014) *Landwirtschaft im Klimawandel: Wege zur Anpassung Teil 6: Strategien zur Grundwasseranreicherung*, Projektbericht, LWK Niedersachsen, Hannover: <http://www.lwk-niedersachsen.de/index.cfm/portal/6/nav/203/article/24920.html>
- Theobald S, Träbing K, Rötze A, Siglow A, Roland F, Bouillon C (2014) Wasserwirtschaftliche Anpassungsstrategien an den Klimawandel in Nordhessen, In: Kaden S, Dietrich O, Theobald S (Hrsg.), *Wassermanagement im Klimawandel – Möglichkeiten und Grenzen von Anpassungsmaßnahmen* KLIMZUG Band 3, 213-234, München, oekom Verlag
- Tröltzsch J, Görlach B, Lückge H, Peter M, Sartorius C (2012) *Kosten und Nutzen von Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel*. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/kosten-nutzen-von-anpassungsmaßnahmen-an-den>
- Seis W, Lesjean B, Maaßen S, Balla D, Hochstrat R, Düppenbecker B (2016) *Rahmenbedingungen für die umweltgerechte Nutzung von behandeltem Abwasser zur landwirtschaftlichen Bewässerung*, Umweltbundesamt (Hrsg), Dessau-Roßlau, <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/rahmenbedingungen-fuer-die-umweltgerechte-nutzung>



## **Bewässerung in der Landwirtschaft**

**Tagungsband zur Fachtagung am 11./12.09.2017  
in Suderburg**

Sonja Schimmelpfennig, Jano Anter, Claudia Heidecke, Stefan Lange  
Klaus Röttcher, Florian Bittner (Hrsg.)

**Thünen Working Paper 85**