

# Modellierung der Auswirkungen von Niederschlags- und Grundwasserbewirtschaftungsszenarien auf den landwirtschaftlichen Bewässerungsbedarf und die Produktion in Oberösterreich

Modelling the impacts of precipitation and groundwater management scenarios on agricultural irrigation demand and production in Upper Austria

**Katharina Falkner\*, Hermine Mitter und Erwin Schmid**

Institut für Nachhaltige Wirtschaftsentwicklung, Department für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften,  
Universität für Bodenkultur Wien, Österreich

\*Correspondence to: [katharina.falkner@boku.ac.at](mailto:katharina.falkner@boku.ac.at)

Received: 20 Januar 2023 – Revised: 20. Juni 2023 – Accepted: 13 Juli 2023 – Published: 15 Dezember 2023

## Zusammenfassung

Wir modellieren effiziente Anpassungsmaßnahmen an häufigere und längere Trockenperioden sowie die Auswirkungen auf den landwirtschaftlichen Bewässerungsbedarf, die Produktion und den Nettoerlös in Oberösterreich. Dazu wenden wir einen integrierten Modellverbund – bestehend aus modellierten Niederschlagsszenarien, einem agronomischen Fruchtfolgenmodell, einem bio-physikalischen Prozessmodell und einem ökonomischen Landnutzungsoptimierungsmodell – auf 1 km Rasterebene an. Die Ergebnisse zeigen, dass Bewässerung im Norden und Zentralraum Oberösterreichs eine effiziente Anpassungsmaßnahme an häufigere Trockenperioden ist, verbunden mit einem deutlichen Anstieg des Bewässerungsbedarfs und Rückgängen der landwirtschaftlichen Nettoerlöse. Hingegen entsteht im Süden auch unter trockeneren Bedingungen nur ein geringer Bewässerungsbedarf. Neben Bewässerung führt eine effiziente Anpassung zu Änderungen bei Fruchtfolgen, Bodenbearbeitungsverfahren und Zwischenfruchtanbau. Die Ergebnisse unterstützen die Entwicklung von Strategien zur effizienten Klimawandelanpassung in der Land- und Wasserwirtschaft in Oberösterreich.

**Schlagerworte:** Landwirtschaft, Klimawandelanpassung, Bewässerung, Landnutzungsmodellierung, Oberösterreich

## Summary

We model efficient adaptation measures to more frequent and longer dry spells and the impacts on irrigation demand, agricultural production and net benefits in Upper Austria. We apply an integrated modelling framework – combining modelled precipitation scenarios, an agronomic crop rotation model, a bio-physical process model and an economic land use optimisation model – at 1 km spatial resolution. Our model results show that irrigation is an efficient adaptation measure to more frequent dry spells in the North and Central region of Upper Austria, leading to an increasing irrigation demand and decreasing farm net returns. In contrast, irrigation demand remains low in the South. Efficient adaptation also leads to changes in crop rotations, tillage practices, and cover crop cultivation. The results support the development of strategies for efficient climate change adaptation in agriculture and water resource management in Upper Austria.

**Keywords:** agriculture, climate change adaptation, irrigation, land use modelling, Upper Austria

## 1 Einleitung

Die Landwirtschaft ist einer der am stärksten vom Klimawandel betroffenen Sektoren (z.B. Rosenzweig et al., 2014). Steigende Jahresdurchschnittstemperaturen und sich verändernde Niederschlagsverhältnisse kombiniert mit häufigeren, länger andauernden und intensiveren Extremwetterereignissen wie Trocken- und Hitzeperioden sowie Spätfröste beeinflussen schon jetzt die agrarische Produktion in manchen Regionen Oberösterreichs. Die Trockenperioden in den Jahren 2003 und 2017 bis 2019 verdeutlichen das mit Ernteverlusten von bis zu 30% und mancherorts sogar Totalausfällen im Obst- und Feldgemüsebau (Amt der oberösterreichischen Landesregierung, 2020; Masante und Vogt, 2018). Neben Dürre- oder Einkommensversicherungen ist die landwirtschaftliche Bewässerung eine wesentliche Maßnahme, um Trockenperioden entgegenzuwirken und deren Folgen abzumildern. Sowohl internationale (z.B. IPCC, 2021; Riediger et al., 2014; Wang et al., 2021) als auch nationale (z.B. Lindinger et al., 2021) Untersuchungen gehen davon aus, dass die landwirtschaftliche Bewässerung (inkl. Frostschutzberegnung) in Zukunft weiter an Bedeutung gewinnen wird, auch in Regionen, in denen die Produktionsbedingungen zum Beispiel aufgrund tiefgründiger Böden vergleichsweise günstig sind. Obwohl in Oberösterreich die Bewässerung im Feldgemüsebau bereits eine lange Tradition hat und sich die bewässerbare Fläche zwischen 2010 und 2020 mehr als verdoppelt hat (auf 3.296 ha), beträgt der Anteil an der gesamten bewässerbaren Fläche Österreichs weniger als 2,7% (122.347 ha; Statistik Austria, 2022). Seit den Trockenperioden in den Jahren 2017 bis 2019 wird aber auch in Oberösterreich die zunehmende Notwendigkeit der Bewässerung, vor allem in intensiven Produktionsgebieten wie dem Eferdinger Becken, vermehrt diskutiert.

Gleichzeitig zeigen aktuelle Studien, dass der Klimawandel deutliche Auswirkungen auf die nutzbaren Wasserressourcen für die Trinkwasserversorgung, die agrarische Produktion und die Industrie hat (Lindinger et al., 2021). Diese Entwicklung führt zu einer herausfordernden Situation für die Wasserwirtschaft (BMNT, 2020). Bisherige Untersuchungen haben sich vor allem mit den Auswirkungen von und der Anpassung an häufigere und intensivere Trockenperioden in bereits betroffenen Regionen beschäftigt (zum Beispiel im Osten Österreichs; Karner et al., 2021; Mitter und Schmid, 2021). Regionen, die bisher nur in einzelnen Jahren betroffen waren, unter anderem manche Regionen in Oberösterreich, blieben bislang unterbeleuchtet. Die Abschätzung des landwirtschaftlichen Bewässerungsbedarfs unter sich verändernden klimatischen Bedingungen ist jedoch auch in bisher wenig betroffenen Regionen zentral, damit Wassernutzungskonflikte – etwa zwischen Landwirtschaft und Trinkwasserversorgung – vermieden und Anpassungsmaßnahmen vorausschauend von privaten und öffentlichen Akteur:innen gemeinsam geplant und umgesetzt werden können.

In diesem Beitrag haben wir für Oberösterreich (i) effiziente agrarische Anpassungsmaßnahmen an Niederschlags-szenarien bis 2040 sowie drei Grundwasserbewirtschaftungs-

szenarien (der Beschränkung der gesamten bewässerbaren Fläche) auf regionaler Ebene modelliert und (ii) die Auswirkungen auf den landwirtschaftlichen Bewässerungsbedarf (anhand der Bewässerungsmenge und bewässerten Fläche), die Produktion und den Nettoerlös quantifiziert.

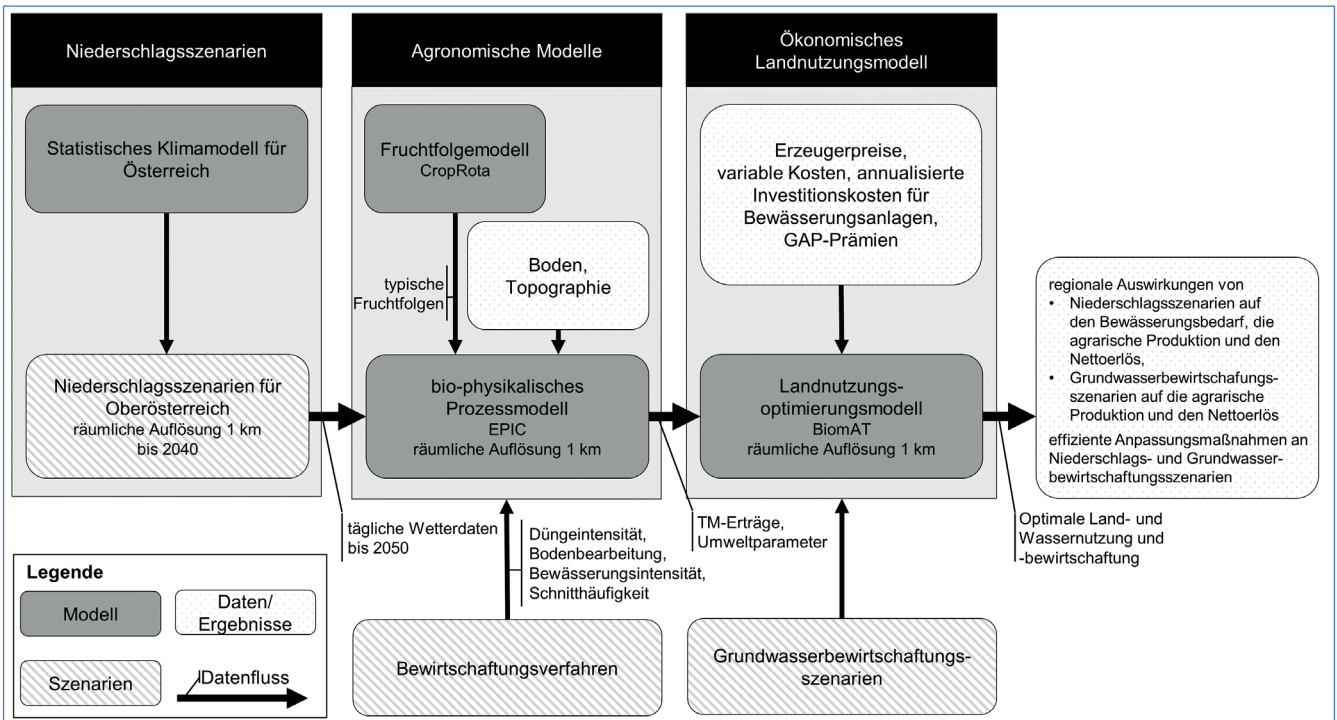
## 2 Methode

Für die Modellierung effizienter Anpassungsmaßnahmen und der Auswirkungen auf den landwirtschaftlichen Bewässerungsbedarf, die Produktion und den Nettoerlös in Oberösterreich und ausgewählten Schwerpunktregionen wurde ein integrierter Modellverbund (siehe Abbildung 1) angewendet. Im Modellverbund werden disziplinäre Daten und Modelle gekoppelt, um Wirkungszusammenhänge zwischen Klima-Boden-Pflanze-Wasser-Bewirtschaftung systematisch zu erfassen. Das sind insbesondere ein statistisches Klimamodell, ein Fruchtfolgenmodell, ein bio-physikalisches Prozessmodell und ein ökonomisches Landnutzungsoptimierungsmodell.

Die Modellierung erfolgt für das gesamte Ackerland in Oberösterreich (ca. 284.900 ha) und für elf Schwerpunktregionen, abgegrenzt auf Basis der Grundwasserkörper (siehe Abbildung 2), auf 1 km Rasterebene und für eine 31-jährige Periode bis 2040.

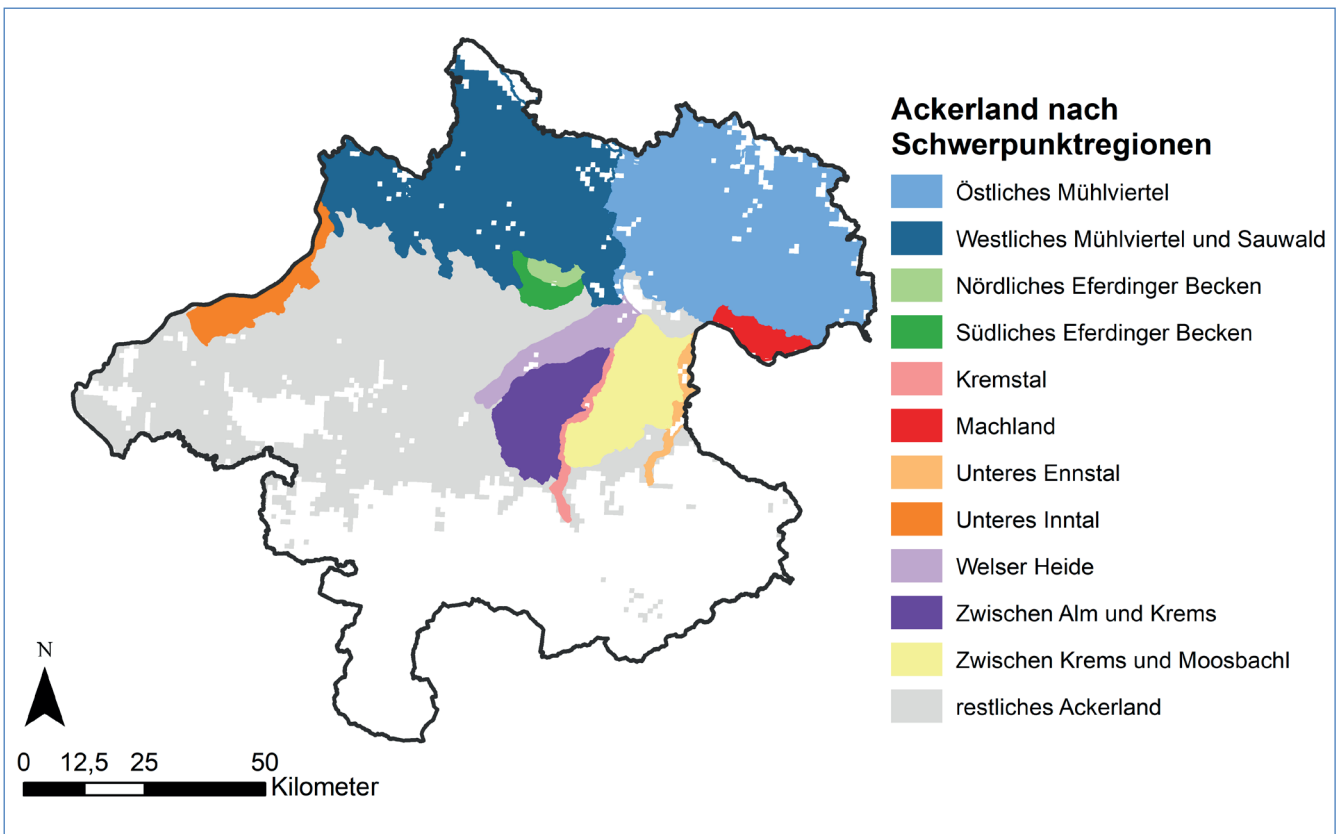
Basierend auf langjährigen, tagesbasierten Wetterstationsdaten (1975-2007) werden von einem statistischen Klimamodell (Strauss et al., 2013) drei räumlich (1 km Raster) und zeitlich (1 Tag) hochauflösende Niederschlagsszenarien bereitgestellt: ein Referenzszenario (SDRY1), mit Niederschlagssummen und -verteilung ähnlich der Vergangenheit, sowie zwei Niederschlagsszenarien, die häufigere und längere Trockenperioden (SDRY2 und SDRY3) abbilden. Für die Ermittlung der Niederschlagsszenarien wird ein Trockentage-Index berechnet, welcher den Flächenanteil angibt, der in Österreich an einem beliebigen Tag trocken ist. Mittels Block Bootstrapping-Verfahren werden die Dauer, Häufigkeit und Intensität von Trockenperioden (Zeiträume mit mehreren aufeinanderfolgenden niederschlagsfreien Tagen) variiert. Dazu wird jeder Monat in vier Blöcke zu acht (beziehungsweise sieben) Tagen geteilt und für jeden Block der Trockentage-Index für den Zeitraum 1975-2007 berechnet. Für die Periode 2010-2040 werden Blöcke mit täglichen Wetterparametern aus den „vergangenen“ Blöcken des jeweiligen Monats gezogen. Die Ziehung eines Blocks für SDRY1 erfolgt zufällig aus dem Pool aller vergangenen Blöcke des jeweiligen Monats. Für SDRY2 und SDRY3 werden vermehrt trockene Blöcke verwendet, sodass SDRY2 eine moderate und SDRY3 eine starke Zunahme an Trockenperioden abbilden. In SDRY1 beträgt der langjährige mittlere Jahresniederschlag für das gesamte Ackerland in Oberösterreich 969 mm (gemittelt über 31 Jahre und 30 Block Bootstrap-Ziehungen), mit einer räumlichen Variation zwischen 519 mm und 2.067 mm. In SDRY2 sinkt der langjährige mittlere Jahresniederschlag auf 805 mm (-16,9% gegenüber SDRY1) und in SDRY3 auf 675 mm (-30,4% gegenüber SDRY1). Die Unterschiede im Jahresniederschlag sind nicht

Abbildung 1: Schematische Darstellung des integrierten Modellverbunds



Quelle: Eigene Darstellung, 2023.

Abbildung 2: Die elf Schwerpunktregionen und die Verteilung des Ackerlandes (hellgrau) in Oberösterreich. Anmerkung: kein Ackerland in weißen Flächen



Quelle: Eigene Darstellung, 2023.

einheitlich über das Jahr verteilt. Sowohl in SDRY2 als auch in SDRY3 sind die Rückgänge in den Sommermonaten (Juni-August) am höchsten. Zudem zeichnen sich große regionale Unterschiede ab.

Das Fruchtfolgenmodell CropRota (Schönhart et al., 2011) wird verwendet, um typische Fruchtfolgen sowie deren prozentualen Anteil am Ackerland auf Gemeindeebene zu ermitteln. Derzeit sind in CropRota 24 Ackerkulturen abgebildet (Winter- und Sommergetreide, Mais, Ölsaaten, Eiweißkulturen, Hackfrüchte, Feldgemüse, Ackergrünland), die auf rund 90% der österreichischen Ackerflächen angebaut werden. Die ermittelten Fruchtfolgen werden anteilmäßig dem 1 km Raster für Ackerland in der Gemeinde zugeteilt. Diese Zuteilung wird dreimal durchgeführt, damit pro Rasterzelle drei verschiedene Fruchtfolgen als Anpassungsmaßnahme im ökonomischen Landnutzungsoptimierungsmodell zur Auswahl stehen.

Das bio-physikalische Prozessmodell EPIC (Environmental Policy Integrated Climate) (Williams, 1995) ermöglicht die Simulation wichtiger bio-physikalischer Prozesse von Agrarökosystemen für unterschiedliche Standortbedingungen und Bewirtschaftungsverfahren. Simuliert werden zum Beispiel Evapotranspiration, Oberflächenabfluss, Perkolatation, Mineralisation, Nitrifikation, Pflanzenwachstum und -erträge. Neben täglichen Wetterdaten aus den drei Niederschlagsszenarien gehen Bodendaten, topografische Daten und Daten von Bewirtschaftungsverfahren in EPIC ein. Die modellierten Bewirtschaftungsverfahren umfassen regions- und kulturartenspezifische Düngeintensitäten, Fruchtfolgen aus CropRota, konventionelle und reduzierte Bodenbearbeitung mit und ohne Zwischenfruchtanbau sowie mit und ohne Bewässerung (max. 250 mm/Jahr). EPIC wird verwendet, um die Auswirkungen der Niederschlagsszenarien auf die Pflanzenerträge, die Wasserstresstage (Pflanzenwasserbedarf > pflanzenverfügbares Wasser im Boden) und den landwirtschaftlichen Bewässerungsbedarf für jedes Bewirtschaftungsverfahren auf 1 km Rasterebene zu simulieren.

Ein von EPIC modellierter Bewässerungsbedarf leitet sich aus der pflanzenphysiologischen und standörtlichen Situation ab. Das ökonomische Landnutzungsoptimierungsmodell BiomAT (bottom-up land use optimisation model for Austria) (Stürmer et al., 2013; Feusthuber et al., 2017; Mitter und Schmid, 2021) wird für die Modellierung effizienter Anpassungsmaßnahmen, also Bewirtschaftungsverfahren, an die Niederschlagsszenarien verwendet und liefert unter anderem Ergebnisse zur agrarischen Produktion und dem resultierenden Nettoerlös. Zur Ermittlung effizienter Anpassungsmaßnahmen maximiert BiomAT den Nettoerlös der agrarischen Produktion unter Berücksichtigung der landwirtschaftlichen Flächenausstattung (in ha) und der verfügbaren Bewirtschaftungsverfahren auf 1 km Rasterebene. Im Modell wird ein nicht-linearer Programmieransatz verwendet (Feusthuber et al., 2017), welcher es erlaubt das Modell an die beobachtete Landnutzung, wie etwa in INVEKOS Daten verfügbar, zu kalibrieren. Für die Berechnung der Nettoerlöse gehen die EPIC Ergebnisse (Trockenmasseerträge) sowie

variable Kosten und Agrargüterpreise aus dem Standarddeckungsbeitrags-Katalog (AWI, 2016) in BiomAT ein. Der Nettoerlös ergibt sich aus den Erlösen aus der agrarischen Produktion plus öffentliche Zahlungen (Direktzahlungen, Agrarumweltprämien) minus variable Kosten der Produktions- und Bewirtschaftungsverfahren inklusive des Arbeitskräfteeinsatzes.

Mit BiomAT werden drei Grundwasserbewirtschaftungsszenarien modelliert. Im ersten Szenario wird die Annahme getroffen, dass die Bewässerung von Ackerflächen uneingeschränkt möglich ist. Im zweiten und dritten Szenario wird die gesamte bewässerbare Ackerfläche in Oberösterreich auf 7.000 ha beziehungsweise 3.500 ha limitiert. Die Annahmen für die Flächenbeschränkungen berücksichtigen aktuelle Erhebungen zur bewässerbaren Fläche in Oberösterreich (ca. 3.300 ha; Statistik Austria, 2022).

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Effiziente Anpassung an Niederschlagsszenarien und die Auswirkungen auf den landwirtschaftlichen Bewässerungsbedarf, die Produktion und Nettoerlöse

Die Ergebnisse zeigen die Auswahl effizienter Bewirtschaftungsverfahren am Ackerland und die damit verbundenen Auswirkungen auf den landwirtschaftlichen Bewässerungsbedarf anhand der Bewässerungsmenge und bewässerten Fläche, die Produktion und Nettoerlöse. Im Referenzszenario SDRY1 werden in Oberösterreich und im Durchschnitt über die modellierte Periode insgesamt 886 ha Ackerland bewässert. Die modellierte Bewässerungsmenge beträgt etwa 1,2 Mio. m<sup>3</sup>. Vom gesamten bewässerten Ackerland entfallen 876 ha (98,9%) auf vier der elf Schwerpunktregionen (Machland, Östliches Mühlviertel, Welser Heide, Westliches Mühlviertel und Sauwald). Dabei wird im Machland mit 689 ha, das sind 11,1% des regionalen Ackerlandes (etwa 6.200 ha), die größte Fläche bewässert. Die Bewässerungsmenge beträgt 0,9 Mio. m<sup>3</sup>. Die Region Östliches Mühlviertel hat mit 11,6% (103 ha) den zweitgrößten Anteil an der bewässerten Ackerfläche in Oberösterreich. Dies entspricht 0,3% des regionalen Ackerlandes (etwa 40.000 ha) und einer Bewässerungsmenge von 0,2 Mio. m<sup>3</sup>.

Die Modellergebnisse für das Niederschlagsszenario SDRY2 zeigen, dass die Bewässerung von Ackerland auch in Regionen effizient ist, in denen in SDRY1 nicht bewässert wird (Nördliches Eferdinger Becken, Zwischen Alm und Krems). Die Anpassung an SDRY2 ist mit einem deutlichen Anstieg des bewässerten Ackerlandes auf 7.900 ha sowie der Bewässerungsmenge auf etwa 10,6 Mio. m<sup>3</sup> verbunden. Auch in SDRY2 wird im Machland mit 3.300 ha des regionalen Ackerlandes die größte Fläche bewässert. Zudem steigt die bewässerte Ackerfläche in der Region Östliches Mühlviertel auf über 3.000 ha. In beiden Regionen wird eine ähnliche Bewässerungsmenge (von 4,2 Mio. m<sup>3</sup>) ausgewiesen. Jedoch ist der Anteil am gesamten regionalen Ackerland mit

53,2% im Machland deutlich höher als im Östlichen Mühlviertel mit 7,8%.

In SDRY3 gilt die Bewässerung von Ackerland für etwa 13.700 ha als effiziente Anpassungsmaßnahme an die trockeneren Bedingungen und die Bewässerungsmenge steigt auf 22,6 Mio. m<sup>3</sup>. Flächenmäßig wird in der Region Östliches Mühlviertel mit 6.200 ha am stärksten bewässert, dies entspricht 16,3% der regionalen Ackerfläche. Die dafür aufgewendete Bewässerungsmenge liegt bei 10,5 Mio. m<sup>3</sup> und entspricht 46,5% der gesamten Bewässerungsmenge in Oberösterreich. Anteilig am regionalen Ackerland ist die bewässerte Fläche mit 71,5% (etwa 4.400 ha) auch in SDRY3 im Machland am größten. Zudem zeigen die Modellergebnisse für die Region Welser Heide einen deutlichen Anstieg der bewässerten Fläche um 64,6% im Vergleich zu SDRY2 (von 790 ha auf 1.300 ha). Im Nördlichen Eferdinger Becken steigt die bewässerte Fläche um 11,0% im Vergleich zu SDRY2 auf 550 ha. Die Bewässerungsmenge nimmt mit 42,9% deutlich stärker zu als die bewässerte Fläche.

Die Modellergebnisse zeigen für die beiden Niederschlagsszenarien SDRY2 und SDRY3, dass – im Vergleich zu SDRY1 – weitere Anpassungsmaßnahmen effizient sind. Neben der Bewässerung gewinnt auch die reduzierte Bodenbearbeitung an Bedeutung. In SDRY1 wird auf 14.700 ha (5,2%) Ackerland reduzierte Bodenbearbeitung angewendet. In SDRY2 steigt der Anteil der Fläche mit reduzierter Bodenbearbeitung auf 5,8% und in SDRY3 auf 8,2% des gesamten Ackerlandes. Im Gegenzug nimmt die konventionelle Bodenbearbeitung mit Zwischenfruchtanbau in beiden Niederschlagsszenarien ab. Zudem zeigen die Modellergebnisse einen Rückgang der bewirtschafteten Ackerfläche in SDRY2 um 0,1% (210 ha) und in SDRY3 um 2,3% (6.600 ha). Auch die Kulturartenanteile verändern sich moderat gegenüber SDRY1.

Die Anpassung der Bewirtschaftungsverfahren an die Niederschlagsszenarien wirkt sich auch auf die agrarische Produktion und die Nettoerlöse aus. Die BiomAT Ergebnisse für SDRY1 zeigen, dass bei effizienter Bewirtschaftung von 284.900 ha Ackerland 2,2 Mio. t Trockenmasse in Oberösterreich produziert und ein Nettoerlös von 183,5 Mio. EUR erwirtschaftet wird. In SDRY2 sinkt zum Beispiel die agrarische Produktion in der Region Westliches Mühlviertel und Sauwald (Zwischen Krems und Moosbachl) um 1,3% (1,5%). Im Machland bleibt zwar die agrarische Produktion annähernd gleich, der regionale Nettoerlös sinkt hingegen um 13,2%. In SDRY3 sinken in sechs der elf Schwerpunktregionen sowohl die agrarische Produktion als auch der regionale Nettoerlös. Der stärkste Rückgang im Nettoerlös wird mit 20,2% im Machland verzeichnet, gefolgt vom Nördlichen Eferdinger Becken mit 13,9%.

### 3.2 Effiziente Anpassung an die Grundwasserbewirtschaftungsszenarien und die Auswirkungen auf den landwirtschaftlichen Bewässerungsbedarf, die Produktion und Nettoerlöse

In SDRY1 hat die Beschränkung der bewässerbaren Ackerfläche keine Auswirkung auf die effiziente Bewirtschaftung des Ackerlandes sowie die agrarische Produktion und den Nettoerlös, da sie im Modell nicht bindend wirkt. In SDRY2 und SDRY3 zeigen die Modellergebnisse, dass die agrarische Produktion zwischen 0,2% und 2,1% und der gesamte Nettoerlös zwischen 0,1% und 1,2% sinken.

Wird die bewässerbare Fläche in Oberösterreich auf 7.000 ha beschränkt, sinken in SDRY2 die agrarische Produktion um 0,2% und der Nettoerlös um 0,1% im Vergleich zu SDRY2 ohne Beschränkung der bewässerbaren Fläche. In SDRY3 wirkt sich die Beschränkung der bewässerbaren Fläche stärker auf die agrarische Produktion (-1,3%) und den Nettoerlös (-0,6%) aus als in SDRY2. Mit der Beschränkung der bewässerbaren Fläche geht auch ein Rückgang der Bewässerungsmenge einher (siehe Tabelle 1). In SDRY2 sinkt die Bewässerungsmenge um 12,6% und in SDRY3 um 50,6% verglichen mit dem jeweiligen Niederschlagsszenario ohne Beschränkung der bewässerbaren Fläche. Auch in diesem Grundwasserbewirtschaftungsszenario ist die Bewässerung im Machland mit 3.000 ha (3.300 ha) für mehr Ackerland eine effizientere Anpassungsmaßnahme an SDRY2 (SDRY3) als in den übrigen Schwerpunktregionen (siehe Abbildung 3). Dennoch sinkt die bewässerte Fläche auch im Machland um 9,1% (24,8%) und die Bewässerungsmenge um 8,5% (22,3%) gegenüber dem jeweiligen Niederschlagsszenario ohne Beschränkung der bewässerbaren Fläche. Ein deutlich stärkerer Rückgang als im Machland wird im Östlichen Mühlviertel verzeichnet. Die bewässerte Fläche sinkt in SDRY2 um 17,6% und in SDRY3 um 56,5%, die Bewässerungsmenge in SDRY2 um 16,1% und in SDRY3 um 50,6% gegenüber dem jeweiligen Niederschlagsszenario ohne Beschränkung der bewässerbaren Fläche.

Eine Beschränkung der bewässerbaren Fläche auf 3.500 ha führt in SDRY2 zu einem Rückgang der agrarischen Produktion um 0,6% und in SDRY3 um 2,1% im Vergleich zum jeweiligen Niederschlagsszenario ohne Beschränkung der bewässerbaren Fläche. Der Nettoerlös sinkt um 0,2% in SDRY2 beziehungsweise 1,2% in SDRY3. In diesem Grundwasserbewirtschaftungsszenario sinkt die Bewässerungsmenge in SDRY2 um 50,9% auf 5,2 Mio. m<sup>3</sup> und in SDRY3 um 71,3% auf 6,5 Mio. m<sup>3</sup>. In SDRY2 ist die Bewässerung in vier oberösterreichischen Schwerpunktregionen eine effiziente Anpassungsmaßnahme (Östliches Mühlviertel 1.760 ha beziehungsweise -42,5% im Vergleich zum Grundwasserbewirtschaftungsszenario ohne Beschränkung, Machland 1.100 ha beziehungsweise 66,3%, Nördliches Eferdinger Becken 370 ha beziehungsweise -24,6%, Welser Heide 160 ha beziehungsweise -79,7%). In SDRY3 führt eine effiziente Anpassung unter Einhaltung der Beschränkung der bewässerbaren Fläche dazu, dass nur mehr in drei Schwerpunktregionen bewässert wird. Im Machland ist

Tabelle 1: Durchschnittlich bewirtschaftete Ackerfläche (in ha), Bewässerungsbedarf anhand der bewässerten Fläche (in ha) und Bewässerungsmenge (in Mio. m<sup>3</sup>) für Ackerland in Oberösterreich und in den elf Schwerpunktregionen für die Niederschlagsszenarien SDRY1, SDRY2 und SDRY3.

Region	Acker- fläche (ha)	bewässerte Fläche (ha)			Bewässerungsmenge (Mio. m <sup>3</sup> )		
	SDRY1	SDRY1	SDRY2	SDRY3	SDRY1	SDRY2	SDRY3
Oberösterreich	284.884	886	7.886	13.682	1,2	10,6	22,6
Westliches Mühlviertel und Sauwald	30.634	20	152	628	0,03	0,3	0,9
Östliches Mühlviertel	39.820	103	3.060	6.200	0,2	4,2	10,5
Nördliches Eferdinger Becken	2.254	0	491	545	0	0,7	1,0
Südliches Eferdinger Becken	4.439	0	0	32	0	0	0,03
Kremstal	2.322	0	0	10	0	0	0,01
Machland	6.225	689	3.292	4.411	0,9	4,1	7,4
Unteres Ennstal	1.976	0	0	13	0	0	0,01
Unteres Inntal	10.579	0	0	90	0	0	0,1
Welser Heide	8.100	64	789	1.271	0,1	1,2	2,1
Zwischen Alm und Krens	23.555	0	30	60	0	0,04	0,1
Zwischen Krens und Moosbachtl	26.278	0	0	24	0	0	0,02

Quelle: Eigene Berechnung, 2022.

Bewässerung für 1.700 ha (-59,8% im Vergleich zu SDRY3 ohne Beschränkung der bewässerbaren Fläche) und im Nördlichen Eferdinger Becken für 420 ha (-22,9%) Ackerland effizient. Im Östlichen Mühlviertel sinkt die bewässerte Fläche auf 1.250 ha (-79,9%).

Mit der Beschränkung der bewässerbaren Fläche nimmt die Bedeutung der reduzierten Bodenbearbeitung als Anpassungsmaßnahme an SDRY2 beziehungsweise SDRY3 zu, verglichen mit dem Grundwasserbewirtschaftungsszenario ohne Beschränkung der bewässerbaren Fläche. Zudem zeigen die Modellergebnisse eine stärkere Abnahme der bewirtschafteten Ackerfläche.

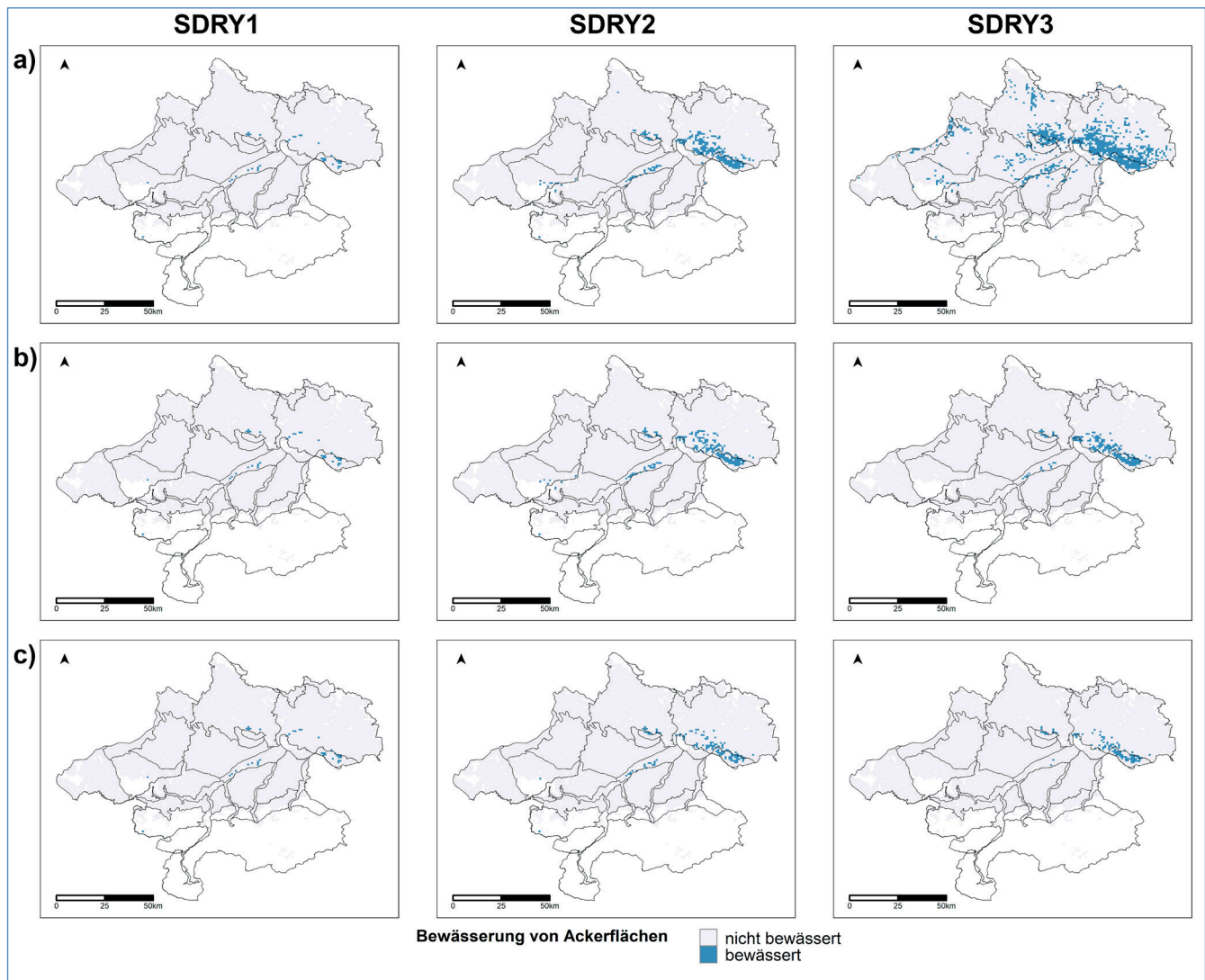
#### 4 Diskussion und Schlussfolgerungen

Im Beitrag werden die effiziente Anpassung der Bewirtschaftungsverfahren an Niederschlagsszenarien mit häufigeren Trockenperioden und die Auswirkungen auf den landwirtschaftlichen Bewässerungsbedarf, die Produktion und den Nettoerlös in Oberösterreich modelliert. Die Modellergebnisse zeigen, dass die Niederschlagsszenarien und regionale Produktionsbedingungen wesentliche Treiber für die Auswahl effizienter Anpassungsmaßnahmen und die Wirtschaftlichkeit landwirtschaftlicher Bewässerung sind. Zum Beispiel nehmen die bewässerte Fläche und die Bewässerungsmenge – ausgehend von einem niedrigen Ausgangsniveau in SDRY1 – im Niederschlagsszenario mit starker Zunahme an Trockenperioden (SDRY3) um das 15- beziehungsweise 19-fache zu. Dabei steigt der Bewässerungsbedarf vor allem in Regionen im Norden (Östliches Mühlviertel, Westliches Mühlviertel und Sauwald) und im

Zentralraum (Machland, Welser Heide, Nördliches Eferdinger Becken) Oberösterreichs, während die Bewässerung von Ackerland im Süden (Alpenvorland, Voralpen) auch in SDRY3 auf wenig Ackerland effizient ist. Sowohl in SDRY2 als auch in SDRY3 würde eine effiziente Anpassung an die trockeneren Bedingungen zu einer Bewässerung von Körnermais, Getreide und Hackfrüchten führen, hätte jedoch nur geringfügige Auswirkungen auf die Kulturartenzusammensetzung am Ackerland. Zudem zeigen die Analysen für Oberösterreich einen Rückgang des Ackerlandes unter trockeneren Bedingungen beziehungsweise einen Anstieg der Flächen, die aus der Produktion genommen werden. Während der Produktionsrückgang in Regionen mit steigendem Bewässerungsbedarf durch die effiziente Anpassung an die veränderten klimatischen Bedingungen auf 1,3% (Ausnahme: Westliches Mühlviertel und Sauwald 4,3% in SDRY3) beschränkt werden kann, kommt es vor allem auf Grund der zusätzlichen Kosten für Bewässerung zu niedrigeren regionalen Nettoerlösen. Im Machland kann zum Beispiel der Rückgang des regionalen Nettoerlöses bis zu 13,2% in SDRY2 und bis zu 20,2% in SDRY3 betragen.

In der vorliegenden Modellanalyse werden Annahmen getroffen, die kurz reflektiert werden. Bei der Abschätzung des landwirtschaftlichen Bewässerungsbedarfs wird von vollständiger Information und hoher Flexibilität der Landwirt:innen bei der Umsetzung der entsprechenden Anpassungsmaßnahmen ausgegangen. Diese Flexibilität ist auf betrieblicher Ebene nicht immer gegeben und umsetzbar. Zudem wirken Risikoeinstellungen und Erwartungshaltungen von Landwirt:innen auf die Entscheidungsfindung für die landwirtschaftliche Bewässerung (siehe auch Kropf und Mitter, 2022). Risikoeinstellungen werden in der Model-

Abbildung 3: Bewässerte Ackerflächen für die Niederschlagsszenarien SDRY1, SDRY2 und SDRY3 und die Grundwasserbewirtschaftungsszenarien a) keine Beschränkung der bewässerbaren Fläche, b) Beschränkung auf max. 7.000 ha und c) Beschränkung auf max. 3.500 ha.



Quelle: Eigene Darstellung der Modellergebnisse, 2022.

lierung derzeit jedoch nicht berücksichtigt. Ebenso wenig werden qualitative Ertrags Eigenschaften von Ackerkulturen und resultierende Preisunterschiede berücksichtigt. Wie zum Beispiel Rey et al. (2016) zeigen, könnte die Bewässerung von Ackerland zur Sicherung qualitativer Ertrags Eigenschaften eine effiziente Anpassungsmaßnahme sein. Eine wesentliche Einschränkung der Modellergebnisse liegt darin, dass derzeit keine Daten über die regionale Verfügbarkeit von Wasserressourcen für die landwirtschaftliche Bewässerung vorliegen und in der Modellierung daher auch nicht berücksichtigt werden. Das heißt, die Abschätzung des landwirtschaftlichen Bewässerungsbedarfs erfolgt unter der Annahme, dass Grundwasser für die landwirtschaftliche Bewässerung uneingeschränkt zur Verfügung steht. Aktuelle Studien, zum Beispiel Wasserschätz Österreich (Lindinger et al., 2021), zeigen jedoch, dass die Grundwasserressourcen, welche die Hauptquelle für die landwirtschaftliche

Bewässerung in Österreich darstellen, in Zukunft stärker in Anspruch genommen werden könnten. Um der Unsicherheit zukünftiger Wasserverfügbarkeit Rechnung zu tragen und die Auswirkungen einer verringerten Wasserverfügbarkeit für die landwirtschaftliche Bewässerung auf regionaler Ebene zu quantifizieren werden in der Analyse zwei alternative Grundwasserbewirtschaftungsszenarien mit Flächenbeschränkungen für die Bewässerung berücksichtigt. Der Rückgang der Produktion am Ackerland und des Nettoerlöses in den beiden Grundwasserbewirtschaftungsszenarien zeigen die Auswirkungen dieser Beschränkung. In einzelnen Regionen führt die Beschränkung der bewässerbaren Fläche zu Produktionsrückgängen von mehr als 10%.

Die rechtzeitige und umfassende Informationsbereitstellung für die Landwirtschaft und wasserwirtschaftliche Planungsorgane über mögliche Auswirkungen des Klimawandels auf die Land- und Wassernutzung bleibt eine

anspruchsvolle Aufgabe. Die Modellergebnisse zeigen mögliche Zielkonflikte zwischen Sektoren auf und liefern Informationen für die nachhaltige Nutzung der (Grundwasser-)Ressourcen. In Österreich wurden in bisherigen Studien vor allem der Zustand und die Qualität von Oberflächen- und Grundwasser untersucht (z.B. Schönhart et al., 2018). Im Fokus stand beispielsweise die Erreichung eines guten ökologischen und chemischen Zustandes, wie durch die EU-Wasserrahmenrichtlinie (2000/60/EC, 2000; 2006/118/EC, 2006) geregelt. Die Entwicklung von multisektoralen Dürre-Management-Plänen wurde im Rahmen der EU-Wasserrahmenrichtlinie empfohlen, blieb in Österreich bislang jedoch unterbeleuchtet (Global Water Partnership Central and Eastern Europe, 2015). Die vorgestellten Modellergebnisse können einen Beitrag leisten und die Entwicklung einer Strategie zur effizienten Klimawandelanpassung in der Land- und Wasserwirtschaft in Oberösterreich unterstützen.

### Danksagung

Diese Arbeit wurde unterstützt durch den Europäischen Fonds für regionale Entwicklung über das Interreg Alpine Space Programme im Rahmen Projektes ADO (Alpine Drought Observatory – Dürremanagement im Alpenraum, ASP940) und die Österreichische Akademie der Wissenschaften über das Earth System Sciences Initiative Projekt „Variability of Groundwater Recharge and its Implications for Sustainable Land Use in Austria (RechAUT)“.

### Referenzen

- Amt der oberösterreichischen Landesregierung (2020) Grüner Bericht 2020 über die wirtschaftliche und soziale Lage der oberösterreichischen Land- und Forstwirtschaft in den Jahren 2017-2019 gemäß §12 Oö. Landwirtschaftsgesetz 1994, LGBl Nr. 1/1994 (No. 35), 2020. Amt der Oö. Landesregierung, Direktion für Landesplanung, wirtschaftliche und ländliche Entwicklung, Abteilung Land- und Forstwirtschaft, Linz, Österreich.
- AWI (Bundesanstalt für Agrarwirtschaft) (2016) IDB Deckungsbeiträge und Kalkulationsdaten. URL <https://idb.agrarforschung.at/>
- BMNT (Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus) (2020) Die Zukunft unserer Gewässer. Wichtige Wasserbewirtschaftungsfragen. Wien.
- Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy, 2000. 327.
- Directive 2006/118/EC of the European Parliament and of the Council of 12 December 2006 on the protection of groundwater against pollution and deterioration, 2006. 372.
- Feusthuber, E., Mitter, H., Schönhart, M. und Schmid, E. (2017) Integrated modelling of efficient crop management strategies in response to economic damage potentials of the Western Corn Rootworm in Austria. *Agricultural Systems* 157, 93–106. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.07.011>.
- Global Water Partnership Central and Eastern Europe (2015) Guidelines for preparation of the Drought Management Plans: development and implementation of risk-based Drought Management Plans in the context of the EU Water Framework Directive. Global Water Partnership Central and Eastern Europe, Bratislava.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2021) Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Karner, K., Mitter, H. und Schmid, E. (2019) The economic value of stochastic climate information for agricultural adaptation in a semi-arid region in Austria. *Journal of Environmental Management* 249, 109431. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109431>.
- Karner, K., Schmid, E., Schneider, U. A. und Mitter, H. (2021) Computing stochastic Pareto frontiers between economic and environmental goals for a semi-arid agricultural production region in Austria. *Ecological Economics* 185, 107044. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2021.107044>.
- Kropf, B. und Mitter, H. (2022) Factors Influencing Farmers' Climate Change Mitigation and Adaptation Behavior: A Systematic Literature Review, in: Larcher, M., Schmid, E. (Hrsg.), *Alpine Landesgesellschaften zwischen Urbanisierung und Globalisierung*. Springer Fachmedien, Wiesbaden, pp. 243–259. [https://doi.org/10.1007/978-3-658-36562-2\\_14](https://doi.org/10.1007/978-3-658-36562-2_14)
- Lindinger, H., Grath, J., Brielmann, H., Schönbauer, A., Gattringer, I., Formanek, C., Broer, M., Rosmann, T., Holler, C., Szerencsits, M., Neunteufel, R., Sinemus, N., Grunert, M. und Germann, V. (2021) *Wasserschatz Österreichs: Grundlagen für nachhaltige Nutzungen des Grundwassers (Projektbericht)*. BMLRT. Wien.
- Masante, D. und Vogt, J. (2018) Drought in Central-Northern Europe - August 2018 (EDO Analytical Report). JRC European Drought Observatory (EDO) and ERCC Analytical Team.
- Mitter, H. und Schmid, E. (2021) Informing groundwater policies in semi-arid agricultural production regions under stochastic climate scenario impacts. *Ecological Economics* 180, 106908. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2020.106908>.
- Rey, D., Holman, I. P., Daccache, A., Morris, J., Weatherhead, E. K. und Knox, J. W. (2016) Modelling and mapping the economic value of supplemental irrigation in a humid climate. *Agricultural Water Management* 173, 13–22. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.04.017>.



- Riediger, J., Breckling, B., Nuske, R. S. und Schröder, W. (2014) Will climate change increase irrigation requirements in agriculture of Central Europe? A simulation study for Northern Germany. *Environmental Sciences Europe* 26, 18. <https://doi.org/10.1186/s12302-014-0018-1>.
- Rosenzweig, C., Elliott, J., Deryng, D., Ruane, A. C., Müller, C., Arneth, A., Boote, K. J., Folberth, C., Glotter, M., Khabarov, N., Neumann, K., Piontek, F., Pugh, T. A. M., Schmid, E., Stehfest, E., Yang, H. und Jones, J. W. (2014) Assessing agricultural risks of climate change in the 21st century in a global gridded crop model intercomparison. *PNAS* 111, 3268–3273. <https://doi.org/10.1073/pnas.1222463110>.
- Schönhart, M., Schmid, E. und Schneider, U. A. (2011) CropRota – A crop rotation model to support integrated land use assessments. *European Journal of Agronomy* 34, 263–277. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2011.02.004>.
- Schönhart, M., Trautvetter, H., Parajka, J., Blaschke, A. P., Hepp, G., Kirchner, M., Mitter, H., Schmid, E., Strenn, B. und Zessner, M. (2018) Modelled impacts of policies and climate change on land use and water quality in Austria. *Land Use Policy* 76, 500–514. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.02.031>.
- Statistik Austria (2022) *Agrarstrukturerhebung 2020*. Wien.
- Strauss, F., Moltchanova, E. und Schmid, E. (2013) Spatially Explicit Modeling of Long-Term Drought Impacts on Crop Production in Austria. *American Journal of Climate Change* 02, 1–11. <https://doi.org/10.4236/ajcc.2013.23A001>.
- Stürmer, B., Schmidt, J., Schmid, E. und Sinabell, F. (2013) Implications of agricultural bioenergy crop production in a land constrained economy – The example of Austria. *Land Use Policy* 30, 570–581. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2012.04.020>.
- Wang, X., Müller, C., Elliot, J., Mueller, N. D., Ciais, P., Jägermeyr, J., Gerber, J., Dumas, P., Wang, C., Yang, H., Li, L., Deryng, D., Folberth, C., Liu, W., Makowski, D., Olin, S., Pugh, T. A. M., Reddy, A., Schmid, E., Jeong, S., Zhou, F. und Piao, S. (2021) Global irrigation contribution to wheat and maize yield. *nature communications* 12, 1235. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-21498-5>
- Williams, J. R. (1995) The EPIC Model. In: Singh, V.P. (ed.) *Computer Models of Watershed Hydrology*. Chapter 25. Colorado: Water Resources Publications.