



# WASSER UND SCHWEIZER LANDWIRTSCHAFT

## DAS PROJEKT AGWAM IM RAHMEN DES NFP 61

**Mit dem Klimawandel steigt der Bewässerungsbedarf in der Landwirtschaft. Dies kann bei sinkendem Dargebot im Sommer zu Wasserknappheit und Ertragsausfällen führen. Im AGWAM-Projekt des NFP 61 wurde untersucht, wie durch Änderungen in Landnutzung und Bewirtschaftung der Wasserbedarf gesenkt werden könnte, ohne Ertrag und Einkommen der Landwirte wesentlich zu beschränken und ohne gleichzeitig die Umwelt zu belasten.**

Jürg Fuhrer\*; Annelie Holzkämper, Agroscope

Tommy Klein, Agroscope und Universität Bern; Danielle Tendall, Agroscope und ETH Zürich

Niklaus Lehmann, ETH Zürich

### RÉSUMÉ

#### L'EAU ET L'AGRICULTURE SUISSE – LE PROJET AGWAM DANS LE CADRE DU PNR 61

Le changement climatique entraîne des modifications des conditions pour l'agriculture. Cela inclut un besoin d'eau pour l'irrigation plus élevé pendant les mois d'été plus chauds et plus secs, notamment dans les régions qui déjà aujourd'hui ne peuvent plus se passer de l'irrigation. Avec une baisse simultanée des ruissellements, cela peut provoquer de plus en plus souvent des pénuries régionales. Le projet AGWAM du PNR 61 avait pour objectif d'examiner dans quelle mesure la gestion du territoire et la pratique d'exploitation pouvaient être modifiées pour s'adapter au changement climatique et éviter de telles situations. La stratégie future devrait se fixer comme but d'utiliser les ressources d'eau disponibles de façon plus durable, c'est-à-dire de réduire la consommation d'eau et de diminuer l'impact environnemental grâce à une production agricole rentable. Différentes options d'adaptation dans diverses conditions futures (horizon 2050) ont été examinées dans le cadre du projet AGWAM du PNR 61 avec l'exemple de la région de la Broye, qui est une région exploitée intensivement par l'agriculture avec un climat plutôt sec. Il a été démontré qu'en l'absence de régulation de la consommation d'eau pour l'agriculture, le changement climatique va entraîner une forte augmentation du besoin en irrigation, accompagnée de conséquen-

### WASSERBEDARF DER LANDWIRTSCHAFT

Der Anbau landwirtschaftlicher Kulturen benötigt Wasser – je nach Kultur, Boden und klimatischen Bedingungen mehr oder weniger. Wo dieser Bedarf nicht durch den Niederschlag genügend gedeckt wird, muss zur Sicherung von Ertrag und Qualität mit Bewässerung nachgeholfen werden. In südlichen Ländern wie Griechenland, Spanien und Portugal wird deshalb ein grosser Teil des verfügbaren Wassers (59–88%) zur Bewässerung verwendet, im Gegensatz zu nordeuropäischen Ländern wie Finnland und Schweden, wo nur wenig Wasser in die Landwirtschaft fliesst. Weltweit liegt der Anteil sogar bei 70% – Tendenz steigend.

Auch in der Schweiz wird Bewässerung eingesetzt. Der aktuelle Wasserbedarf wurde vom Bundesamt für Landwirtschaft (BLW) aufgrund von kantonalen Datenerhebungen auf durchschnittlich 144 Mio. m<sup>3</sup> geschätzt, mit denen eine Fläche von 55 000 ha bewässert wird [1]. Gemäss einer neueren Erhebung durch das Bundesamt für Statistik (BFS) wurden im Jahr 2010 insgesamt 36 183 ha effektiv bewässert. Dies entspricht 59,3% der Fläche von 61 022 ha, die mit der vorhandenen Infrastruktur potenziell bewässert werden könnte, und 3,4% der gesamten landwirtschaftlichen Nutzfläche. Zu den wichtigsten Kategorien

\* Kontakt: juerg.fuhrer@agroscope.admin.ch

der effektiv bewässerten Flächen gehören Kunstwiesen und Dauergrünland (34,6%) sowie Gemüse und Erdbeeren (20,2%) [2]. Am meisten bewässert wird im Wallis, wo neben Wiesen hauptsächlich Obstplantagen und Reben davon profitieren.

Würde in der Schweiz der Wasserbedarf zur Erhaltung eines Maximalertrags auf der gesamten Nutzfläche durch Bewässerung gedeckt, so wäre die potenziell bewässerte Fläche ein Mehrfaches dessen, was tatsächlich bewässert wird, und die benötigte Menge das Dreifache [3]. Im Mittel (1980–2006) – und unter Vernachlässigung möglicher Systemverluste – wurde ein jährlicher Bedarf von rund 150 Mio. m<sup>3</sup> berechnet, mit Schwerpunkten in Teilen des Mittellandes, der Westschweiz sowie in verschiedenen, landwirtschaftlich genutzten Alpentälern (z. B. Rhonetal, Rheintal) (Fig. 1). Aber nicht alle Kulturen werden bewässert; als «bewässerungswürdig» gelten jene, bei denen der durchschnittlich erzielte Mehrertrag die Kosten der Bewässerung rechtfertigt. Im Ackerbau sind dies am häufigsten Mais, Kartoffel und Zuckerrüben und besonders die Gemüsekulturen. Von den Betrieben, die ihre Nutzfläche bewässern, verwenden 46,3% Wasser aus Bächen, Flüssen und Seen und 37,4% Grundwasser [2]. Bei Wasserentnahmen aus Fließgewässern mit ständiger Wasserführung müssen gemäss eidg. Gewäs-

serschutzgesetz Mindestrest- und die Dötterwassermengen eingehalten werden. Zudem bedürfen Entnahmen einer kantonalen Konzession, wobei die Kantone die Bewilligung für zeitweilige Entnahmen ohne feste Einrichtungen an die Gemeinden delegieren. Diese Wasserentnahmen sind dort kein Problem, wo das Wasser in grösseren Fließgewässern oder Seen ausreichend zur Verfügung steht. Wo diese ausgiebigen Quellen fehlen, wird ein Entnahmestopp verfügt, sobald die Wasserführung einen kritischen Wert erreicht. Damit wird vermieden, dass die Lebewesen in den Gewässern durch geringe Wassertiefen und hohe Wassertemperaturen beeinträchtigt werden. Im Kanton Waadt beispielsweise wurden seit 1998 in 8 von 14 Jahren solche Entnahmestopps verfügt. Diese Praxis erhöht das Einkommensrisiko für die Produzenten in den betroffenen Regionen.

### EINFLUSS DES KLIMAWANDELS

Mit dem Klimawandel steigt der Wasserbedarf der Kulturpflanzen: Die Verdunstung wird durch höhere Temperaturen und vermehrte Strahlung gesteigert, gleichzeitig reduzieren häufiger auftretende Phasen ohne Niederschlag die Wasserreserven im Boden. Damit nimmt der Bedarf für Zusatzbewässerung zu, wie dies aus den ausgeprägten Trockenjahren

(wie 2003) bereits bekannt ist. Ob dieser Zusatzbedarf gedeckt werden kann, hängt von zwei Faktoren ab: einerseits von der Fläche und Art der angebauten Kulturen (=Bedarf) und den technischen Möglichkeiten, andererseits von den Abflussmengen in den Fließgewässern und vom Zugang zu ausgiebigen Wasserquellen (=Dargebot).

In einem wärmeren Klima mit reduzierten Niederschlägen im Sommer, wie es die Klimaprojektionen für die Schweiz erwarten lassen [4], werden je nach Regime die Abflüsse während der Vegetationszeit zurückgehen. Speziell in den Gebieten des Mittellandes könnten aufgrund der Ergebnisse des Projekts *CCHydro* [5] die Niedrigwasserabflüsse deutlich abnehmen und die Niedrigwasserperioden künftig länger werden.

Aus einer Gegenüberstellung von potenziellem Wasserbedarf und -dargebot (Gebietsabfluss) in mittelgrossen Einzugsgebieten ging hervor, dass es je nach Region und Klimaszenario im Zeithorizont 2050 vermehrt zu Engpässen in der Wasserverfügbarkeit kommen kann [6]. In *Figur 2* sind die Ergebnisse für einzelne Fallbeispiele gezeigt. In der Periode 1981–2010 hat in zwei Regionen (Birs, Broye-Mentue) in Jahren mit hohen Temperaturen, geringen Niederschlägen und reduziertem Abfluss (wie 2003) der potenzielle Bedarf das Dargebot (ohne Grundwasser) überstiegen. Unter der Annahme eines «milden» Klimaszenarios (SMHI) steigt das Risiko von Wasserknappheit in diesen Gebieten nur unwesentlich, mit dem «extremen» Klimaszenario (ETHZ) aber deutlich an. In einzelnen Jahren übertrifft der Bedarf das Dargebot auch in den Einzugsgebieten von Thur und Emme.

Diese theoretische Abschätzung lässt den Rückschluss zu, dass in Regionen wie dem Einzugsgebiet von Broye-Mentue mit einem nivo-pluvialen Abflussregime unter den veränderten Klimabedingungen neue Nutzungskonflikte entstehen oder bestehende verstärkt werden. Entsprechend gross ist daher der Bedarf nach objektiven Kriterien und Grundlagen zur Beurteilung des aktuellen und zukünftigen Bewässerungsbedarfs in der Landwirtschaft und zur Verbesserung der Wasserverfügbarkeit. Gleichzeitig müssen Massnahmen geprüft werden, um den Einsatz von Wasser in der Landwirtschaft zu optimieren und damit die Abhängigkeit von Zusatzwasser bei Wasserknappheit zu reduzieren.

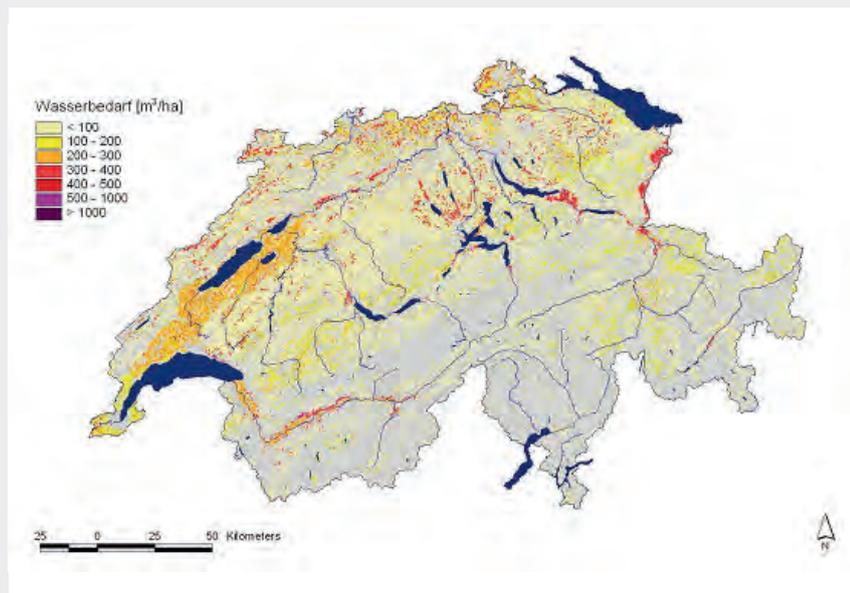


Fig. 1 Räumliche Verteilung des mittleren Bewässerungsbedarfs für landwirtschaftliche Nutzflächen in der Schweiz; Berechnung für die Vegetationsperioden des Zeitraumes 1980–2006 im 500 m x 500 m Raster (aus [3])

Répartition géographique du besoin d'irrigation moyen des surfaces exploitées par l'agriculture en Suisse; calcul pour les périodes de végétation entre 1980–2006 dans une grille de 500 m x 500 m (source [3])

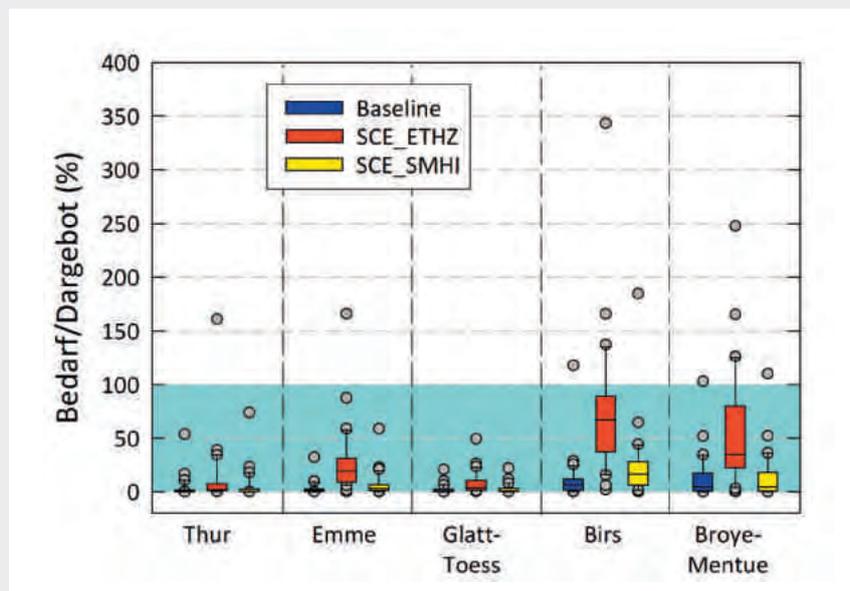


Fig. 2 Mittleres Verhältnis von Wasserbedarf und -dargebot im Sommer (JJA) für die landwirtschaftlichen Nutzflächen der Hotspot-Gebiete; Ergebnisse für die Referenzperiode 1981 bis 2010 sowie für 2036 bis 2065 mithilfe der Klimaszenarien Sce\_ETHZ und Sce\_SMHI; dargestellt sind Median (50%-Quantil), 25/75%-Quantile (box), 10/90%-Quantile (Whiskers) und Extremwerte (Punkte). Der blau hinterlegte Abschnitt markiert den Wertebereich unter 100% [6]

Rapport moyen entre le besoin d'eau et l'offre d'eau en été (JJA) pour les surfaces exploitées par l'agriculture des régions sensibles; résultats pour la période de référence 1981 à 2010 ainsi que 2036 à 2065 à l'aide des scénarios climatiques Sce\_ETHZ et Sce\_SMHI; sont représentés la médiane (quantile 50%), les quantiles 25/75% (boîte), les quantiles 10/90% (moustaches) et valeurs extrêmes (points). La section sur fond bleu correspond à la plage de valeurs inférieures à 100% [6]

## DAS NFP-61-PROJEKT «AGWAM»

Im Rahmen des NFP 61 – «Nachhaltige Wassernutzung» ([www.nfp61.ch](http://www.nfp61.ch)) wird zurzeit das Projekt AGWAM (Water Demand in Swiss Agriculture, and Sustainable Adaptive Options for Land and Water Management to Mitigate Impacts of Climate Change) durchgeführt. Im Zentrum des Projekts steht die Frage der Bewässerung am Beispiel zweier unterschiedlicher Regionen (Broye und Greifensee). Das Projekt hat zum Ziel, Entscheidungsgrundlagen für eine nachhaltige Wassernutzung unter veränderten Klima- und Nutzungsbedingungen zu erarbeiten. Dazu werden sowohl einzelne Landwirtschaftsbetriebe wie auch die Raumgestaltung und Bewirtschaftungsweise auf der regionalen Ebene betrachtet. Die angestrebten Strategien sollen einerseits ökonomische und politische Rahmenbedingungen und andererseits negative Auswirkungen der Bewirtschaftung auf die Umwelt berücksichtigen (sog. Trade-offs). Akteure aus Politik, Planung und Praxis werden in das Projekt einbezogen, um sicherzustellen, dass ihnen die Ergebnisse bei Ent-

scheidungen helfen können. Die Struktur dieses interdisziplinären Projekts ist in *Figur 3* dargestellt. Die Modellierung geschieht auf der regionalen Ebene, wo es um die Anordnung und Art der Landnutzung geht, und auf der Betriebsebene.

### Regionale Ebene

Für die regionale Betrachtung werden Bewertungsmodelle für Ackerkulturen und Grünland verwendet, die durch Klimadaten für heutige und künftige (2036–2065) Zeiträume getrieben werden. Diese Modelle berechnen in einer Auflösung von 500 x 500 m unter Berücksichtigung von Bewirtschaftung, Bodeneigenschaften und Topographie neben dem Ertrag verschiedener Kulturen auch Erosion, Stickstoffverlust durch Auswaschung und die benötigte Bewässerungsmenge. Ein Tierproduktionsmodell bewertet die Nutzung der Weiden. Die Bewertungsmodelle sind eingebunden in ein regionales Optimierungsmodell, mit dem für jede landwirtschaftlich genutzte Rasterzelle eine optimale Bewirtschaftungsform ausgemacht wird. Zur Auswahl stehen Fruchtfolge, Düngung, Bodenbearbeitung und Bewässerung. Bei der Optimierung können die Zielgrößen Ertrag, Erosion, Auswaschung und Wasserbedarf unterschiedlich gewichtet werden, und je nach Gewichtungskombination werden unterschiedliche Lösungen gefunden, welche die Zielgrößen verschieden stark priorisieren. Hinter jeder dieser Lösungen steht eine eigene, räumliche Verteilung der Landnutzung.

### Betriebsebene

Auf der Betriebsebene wird ein Modell eingesetzt, das die Bewertungsmodelle mit einem ökonomischen Modell verbindet und durch die Wahl der Kulturen und die Art der Bewirtschaftung die

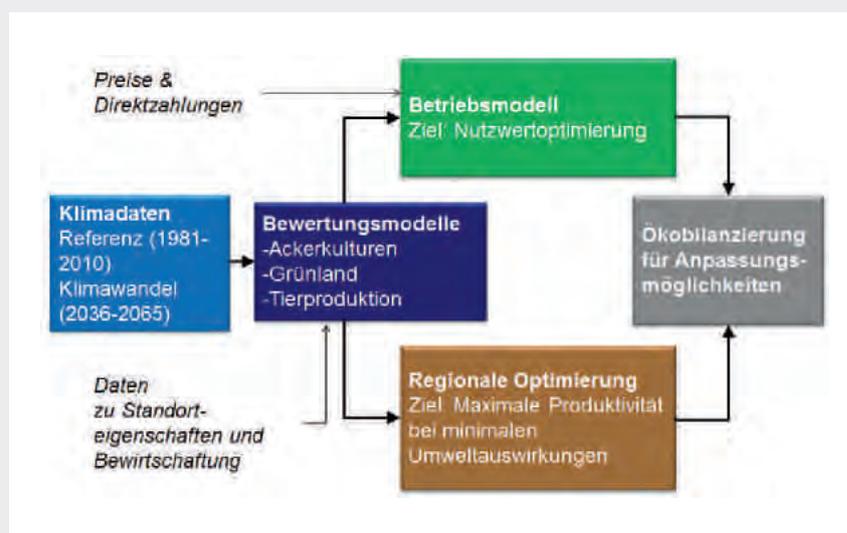


Fig. 3 Struktur des NFP-61-Projekts AGWAM - Water Demand in Swiss Agriculture, and Sustainable Adaptive Options for Land and Water Management to Mitigate Impacts of Climate Change  
Structure du projet AGWAM du PNR 61 – Water Demand in Swiss Agriculture, and Sustainable Adaptive Options for Land and Water Management to Mitigate Impacts of Climate Change

wirtschaftlich optimale Struktur eines Betriebes berechnet. Zur Auswahl für die Betriebsoptimierung stehen Kultur, Bewässerung, Düngung, Nutztierart und Weidebesatz zur Verfügung. Die Berechnung wird für unterschiedliche Annahmen bezüglich künftiger Preise und agrarpolitischer Rahmenbedingungen (hauptsächlich bezüglich Direktzahlungssystem) durchgeführt.

**Ökobilanz**

Als letzter Schritt werden einzelne der ausgearbeiteten Lösungen der beiden Ebenen anhand einer Ökobilanzmethode auf ihre erweiterten Umweltwirkungen geprüft. Berücksichtigt werden hier die Kategorien «Treibhausgaspotenzial», «terrestrische Biodiversität» und «aquatische Biodiversität».

**FALLSTUDIE «BROYE»**

**«OPTIMIERTE» REGIONALE LANDNUTZUNG**

An dieser Stelle sollen einige Ergebnisse für die Testregion «Broye» dargestellt werden. Dass eine Anpassung an veränderte Klimabedingungen nötig ist, wird deutlich, wenn man die Auswirkungen der landwirtschaftlichen Landnutzung auf die vier Zielgrößen für den Zeithorizont um 2050 betrachtet (Fig. 4). Ohne Anpassungsmassnahmen sinkt mit beiden Klimaszenarien die Produktivität in der Region der Broye während Bodenabtrag, Stickstoffauswaschung und Wasserverbrauch massiv zunehmen.

Mithilfe der regionalen Optimierung werden – je nach Gewichtung der vier Zielgrößen – Anpassungsmöglichkeiten identifiziert, die diesen negativen Auswirkungen des Klimawandels entgegenwirken. Aus den zahlreichen Gewichtungskombinationen wurden letztlich drei ausgewählt, welche aggregiert auf die gesamte Region je eine unterschiedliche, strategische Ausrichtung darstellen:

- Strategie 1: Produktivität
- Strategie 2: Umwelt
- Strategie 3: Kompromiss

**Maximale Produktivität**

Die in Figur 5 abgebildeten, aggregierten Ergebnisse für die Region der Broye zeigen Folgendes [7]: Die Strategie «Produktivität» ermöglicht es, unter den wärmeren Klimabedingungen höhere Erträge zu erzielen, allerdings unter Verwendung einer deutlich gesteigerten Bewässerung. Die dazu benötigte Wassermenge über-

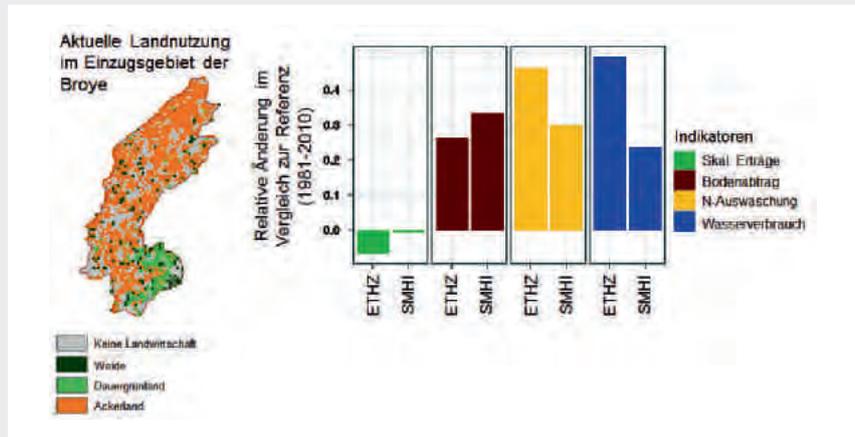


Fig. 4 Auswirkung von zwei Klimaszenarien (ETHZ, SMHI) für die Zeitperiode 2025–2065 auf Produktion (=skalierte Erträge), Bodenabtrag (Erosion), N-Auswaschung und Wasserverbrauch (Bewässerung) unter heutiger Landnutzung (ohne Anpassung) [7]

Impact de deux scénarios climatiques (ETHZ, SMHI) pour la période 2025–2065 sur la production (=rendement proportionnel), l'érosion, le lessivage d'azote et la consommation d'eau (irrigation) avec l'exploitation actuelle du territoire (sans adaptation) [7]

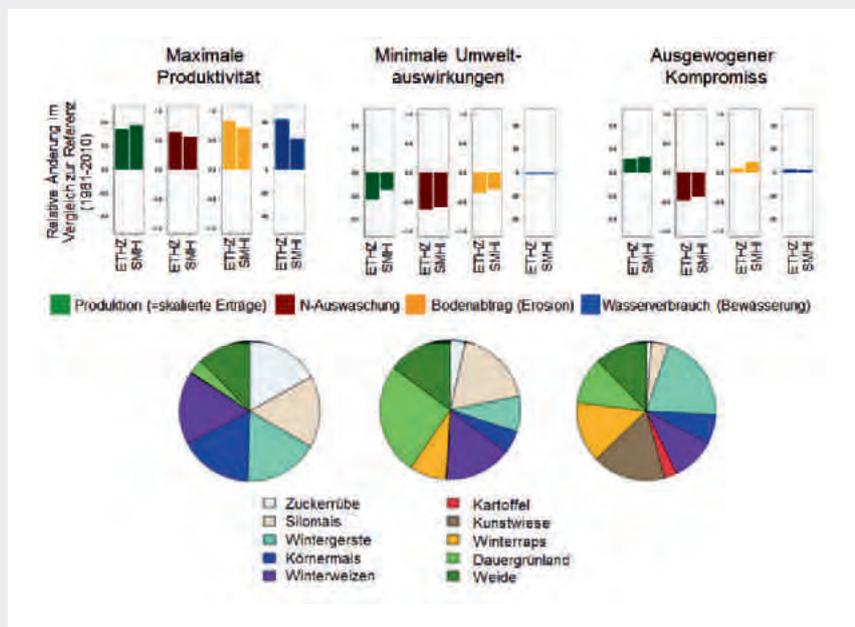


Fig. 5 Oben: drei Strategien für die Anpassung an den Klimawandel (2035–2065) unter der Annahme von zwei Klimaszenarien (ETHZ = linke Säule, SMHI = rechte Säule) und ihre Wirkungen auf die Zielgrößen Produktion, Bodenabtrag, N-Auswaschung und Wasserverbrauch (Bewässerung). Unten: Kulturenmix für die drei Anpassungsstrategien in der Region der Broye [7]

En haut: trois stratégies d'adaptation au changement climatique (2035–2065) dans l'hypothèse de deux scénarios climatiques (ETHZ = colonne gauche, SMHI = colonne droite) et leurs impacts sur les valeurs cible de production, érosion, lessivage d'azote et consommation d'eau (irrigation). En bas: mélange des cultures pour les trois stratégies d'adaptation dans la région de la Broye [7]

steigt in dieser Strategie aber die gemäss den Abfluss-Simulationen (siehe [6]) unter Klimawandel in der Region verfügbare Menge an Flusswasser. Dies bedeutet, dass die Strategie nur durch Zufuhr von zusätzlichem Wasser von aussen in die Region realisierbar ist. Gleichzeitig nehmen aber Bodenabtrag und N-Aus-

waschung zu, was auf erhöhte Niederschlagsintensitäten, den erhöhten Anteil an Ackerkulturen in höheren Lagen und die verstärkte Mineralisierung im Boden zurückzuführen ist. Ebenso bestätigen das hohe Treibhausgaspotenzial und negative Auswirkungen auf die Biodiversität die hohen Umweltkosten dieser Stra-

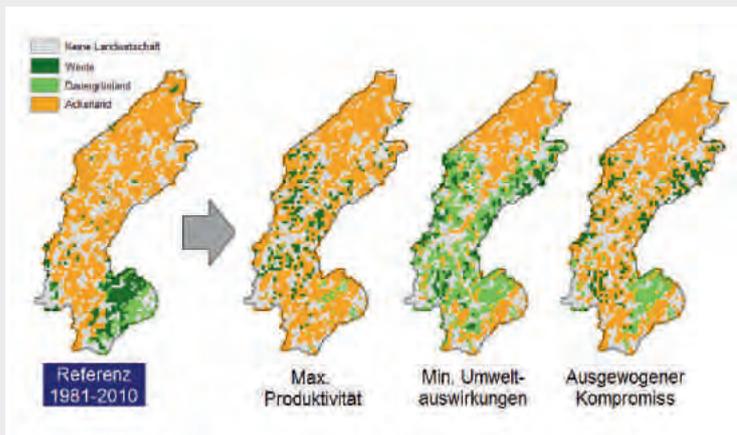


Fig. 6 Landnutzungsmuster unter heutigen Bedingungen (Referenz) und für den Zeithorizont 2035–2065 für drei Strategien zur Anpassung an den Klimawandel [7]

Modèle d'exploitation du territoire dans les conditions actuelles (référence) et pour la période 2035–2065 pour trois stratégies d'adaptation au changement climatique [7]

tegie [8]. Sie könnte bestenfalls für ein beschränktes Teilgebiet innerhalb dieser Region infrage kommen.

Minimale Umweltauswirkung

Im Gegensatz dazu sinkt die Produktivität mit der Strategie «Umwelt», und die Auswirkungen auf die übrigen Zielgrößen sind deutlich geringer als in der Referenzsituation. Diese Strategie bedingt aber eine Verschiebung der Landnutzung hin zu einem höheren Anteil von Dauergrünland auf Kosten der Ackerkulturen Körnermais und Winterweizen. Die reduzierte Produktion zugunsten der Umweltwirkungen würde aber auch bedingen, dass landwirtschaftliche Güter vermehrt importiert werden, auf Kosten höherer «grauer Emissionen».

Kompromisslösung

Bei der Kompromissstrategie wird der Anteil von Winterkulturen auf Kosten der Sommerkulturen vergrößert, der Anteil von Dauergrünland erhöht und die Bewässerung moderat gesteigert. Dadurch können leicht höhere Erträge bei gleichbleibenden Umweltauswirkungen gegenüber der Referenzsituation (heutiges Klima) erzielt werden.

Die hinter den verschiedenen Strategien stehenden Landnutzungsmuster sind in *Figur 6* dargestellt.

**ANPASSUNG AUF BETRIEBSEBENE**

Anhand eines typischen, gemischten Betriebes in der Broye-Ebene bei Payerne mit 30 ha Fläche konnte untersucht werden, wie eine ökonomisch optimale Bewirtschaftung unter verschiedenen Klima-, Preis- und Politikszenerarien aussehen könnte [9]. Dabei wird klar, dass Änderungen im Preisniveau, d.h. anstelle von heutigen Schweizer Preisen das Preisniveau der EU, eine viel stärkere Wirkung auf die Betriebsstruktur haben als der Klimawandel (*Fig. 7*). Die Einbuße im landwirtschaftlichen Einkommen verursacht durch Klimawandel kann sogar unter dem eher extremen Klimaszenario (ETHZ) gering gehalten werden, indem die Kulturauswahl angepasst wird (z.B. mehr Winterkulturen statt Körnermais). Dadurch sinkt auch das Treibhausgaspotenzial (speziell bei Ackerbaubetrieben), was zeigt, dass Klimaanpas-

sung und Klimavermeidung vereinbar sind. Bei tieferen Preisen erfolgt allerdings eine starke Verlagerung hin zur Grünlandwirtschaft mit einem reduzierten Weidebesatz, d.h. eine extensivere Bewirtschaftung mit einem sehr viel tieferen Profit des Betriebes [9]. Unter der Annahme veränderter agrarpolitischer Rahmenbedingungen (AP14-17) bleiben die Kulturanteile auch unter Klimawandel unverändert, das Einkommen nimmt aber ab. Bei all diesen Szenarien nimmt der Wasserverbrauch des Betriebes stark zu, was sich negativ auf die aquatische Biodiversität

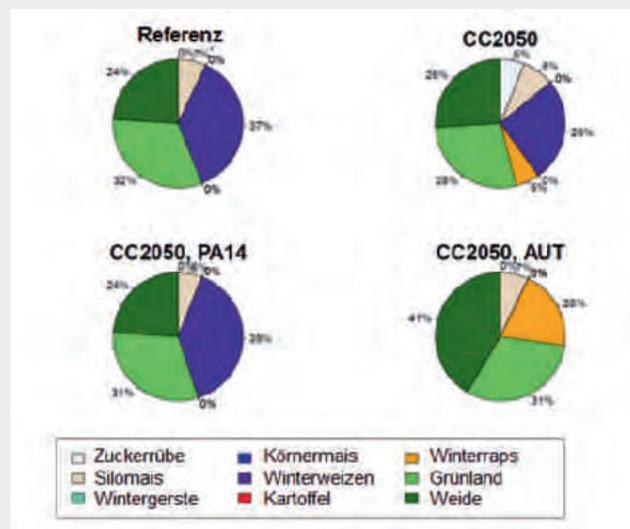


Fig. 7 Auswirkung von Klimawandel (CC2050), europäischem Preisniveau (am Beispiel österreichischer Preise, AUT), einer veränderten Agrarpolitik (PA14 = AP14-17) auf den Kulturenmix eines gemischten Betriebes in der Region Payerne [9]

Impact du changement climatique (CC2050), du niveau des prix européens (l'exemple des prix autrichiens, AUT), d'une politique agricole modifiée (PA14 = AP14-17) sur le mélange des cultures d'une exploitation mixte dans la région de Payerne [9]

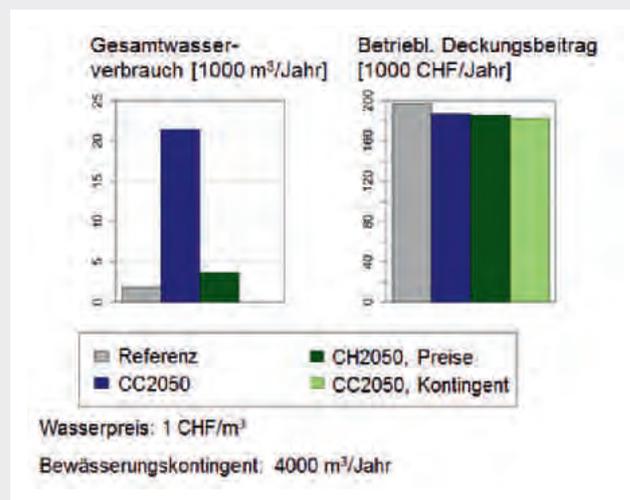


Fig. 8 Auswirkung von Wasserpreis und einem jährlichen Kontingent auf den Wasserverbrauch für die Bewässerung und das Einkommen am Beispiel eines gemischten Betriebes in der Region Payerne (30 ha) unter heutigen und zukünftigen Klimabedingungen (CC2050) [9]

Impact du prix de l'eau et d'un contingent annuel sur la consommation de l'eau pour l'irrigation et les revenus avec l'exemple d'une exploitation mixte dans la région de Payerne (30 ha) dans les conditions climatiques actuelles et futures (CC2050) [9]

auswirkt, da den beschränkt vorhandenen Fließgewässern in der Region der Broye mehr Wasser entnommen werden muss. Dieser Effekt nimmt mit sinkenden Preisen und bei veränderten Direktzahlungen auf die Fläche bezogen ab, pro produzierte Energieeinheit beim tieferen Preisniveau aber zu [8].

Durch Eingriffe bei der Wassernutzung kann dem erhöhten Wasserverbrauch, mit dem unter Klimawandel der Profitverlust des Betriebes ausgeglichen wird, entgegengewirkt werden. Zum Beispiel könnte die Einführung jährlicher Wasserkontingente oder die Erhöhung des Wasserpreises den Wassereinsatz drastisch senken. Dadurch würde der Ertrag zwar etwas zurückgehen, aber die Umweltwirkungen «Treibhausgaspotenzial» und «Aquatische Biodiversität» würden reduziert [9]. Der Profit des Betriebes würde geringfügig geschmälert (Fig. 8). Der Landwirt wäre unter diesen Bedingungen gezwungen, das verfügbare Wasser effizienter einzusetzen, was unter anderem durch eine besser an den Bedarf angepasste Wassermenge und sorgfältig gewählte Bewässerungszeitpunkte erreicht werden könnte.

## FAZIT

Diese Modelluntersuchungen am Beispiel einer intensiv landwirtschaftlich genutzten Region in einem eher trockenen Klima dienen dazu, das Spektrum an Anpassungsoptionen unter verschiedenen künftigen Bedingungen auszuleuchten. Dies soll dazu anregen, Lösungen zu finden, die einen nachhaltigeren Umgang mit der begrenzten Ressource «Wasser» ermöglichen, d.h. einen reduzierten Wasserverbrauch und geringere Umweltwirkungen durch eine profitable landwirtschaftliche Produktion. Die wesentlichen Ergebnisse sind:

- Anpassung mit einseitigem Fokus auf die Produktivität verstärkt negative Umweltauswirkungen.
- Ausgewogene Kompromisslösungen in der Landnutzung und Bewirtschaftung sind zumindest theoretisch möglich.
- Über Änderungen in Preisen und Direktzahlungen lassen sich Entwicklungen steuern.
- Ohne Regulierungen des landwirtschaftlichen Wasserverbrauchs wird Bewässerung unter Klimawandel stark zunehmen, verbunden mit verstärkten, negativen Umweltauswirkungen und häufigeren Engpässen bei der Wasserverfügbarkeit, dem nur durch die kostenintensive Zufuhr von Zusatzwasser aus grösseren Reservoiren (z.B. Seen) begegnet werden kann.
- Wasserpreise oder -beschränkungen (Kontingente) könnten geeignete Massnahmen darstellen, um die Übernutzung der Gewässer und die mit einer intensiven Bewässerung verbundenen Umweltwirkungen zu verhindern.

Ob der Weg hin zu einem nachhaltigeren Umgang mit Wasser beschritten wird oder alternativ der höhere Wasserbedarf durch technische Lösungen wie Wasserzufuhr über Verteilsysteme aus Seen oder Bau von Speicherbecken gedeckt wird, war nicht Gegenstand dieser Studie. Es sollte auf Stufe Verwaltung und Politik entschieden werden, ob über Anreize oder Vorschriften ein Wechsel in der Produktion und Raumplanung erreicht werden soll oder ob die weniger umweltfreundliche Variante mit technischen Lösungen zur Erhaltung des Ist-Zustandes unterstützt wird.

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] Weber, M.; Schild, A. (2007): *Stand der Bewässerung in der Schweiz. Bericht zur Umfrage 2006. Bericht Bundesamt für Landwirtschaft, Bern, 17 pp.*
- [2] Bundesamt für Statistik (2012): *Landwirtschaftliche Betriebszählung: Zusatzerhebung 2010. www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/07/03.html*
- [3] Fuhrer, J. (2010): *Abschätzung des Bewässerungsbedarfs in der Schweizer Landwirtschaft. Bericht Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, 26 S.*
- [4] CH2011 (2011). *Swiss Climate Change Scenarios CH2011, C2SM, MeteoSwiss, ETH, NCCR Climate, and OcCC, Zurich, Switzerland, 88 S.*
- [5] Bundesamt für Umwelt BAFU (Hrsg.) (2012): *Auswirkungen der Klimaänderung auf Wasserressourcen und Gewässer. Synthesebericht zum Projekt «Klimaänderung und Hydrologie in der Schweiz» (CCHydro). Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Wissen Nr. 1217: 76 S.*

- [6] Fuhrer, J. (2012): *Bewässerungsbedarf und Wasserdargebot unter heutigen und künftigen Klimabedingungen, Zürich, Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, 48 pp.*
- [7] Klein, T. (2013): *Adapting agricultural land management to climate change – A regional multi-objective optimization study. Dissertation Universität Bern. In Vorbereitung*
- [8] Tendall, D. (2013): *Life cycle impact assessment of water use under climate change in Swiss agriculture. Dissertation ETH Zürich. In Vorbereitung*
- [9] Lehmann, N. (2013): *How climate change impacts on local cropping systems: A bioeconomic simulation study for western Switzerland. Dissertation ETH Zürich. 153 S.*

## > SUITE DE RÉSUMÉ

ces négatives accrues sur l'environnement et de réserves d'eau disponible insuffisantes qui ne peuvent être compensées que par l'acheminement très coûteux d'eau supplémentaire depuis des réserves plus importantes (p. ex. des lacs). En revanche, des solutions de compromis équilibrées au niveau de la gestion et de l'exploitation du territoire sont possibles, du moins en théorie sans que cela impacte sensiblement la rentabilité d'une exploitation. Les changements souhaités concernent entre autres la disposition géographique des cultures, le choix des cultures plantées et les mesures d'exploitation. Ceux-ci peuvent être dirigés à travers des modifications des prix et des paiements directs. De plus, les prix ou les restrictions de l'eau (contingents) peuvent constituer des mesures appropriées pour prévenir la surexploitation des eaux et les conséquences environnementales liées à une irrigation intensive. Les résultats doivent encourager la réflexion au niveau des autorités et de la politique si des incitations ou réglementations permettent d'obtenir un changement de la production et de la gestion du territoire ou si des variantes moins écologiques avec des solutions techniques pour conserver l'état actuel doivent être soutenues.