2.10 Landwirtschaft

Mit dem Klimawandel steigt in der Landwirtschaft das Risiko von Ernteausfällen in wichtigen Produktionsgebieten, mit negativen Folgen für die Ernährungssicherheit der Bevölkerung in ärmeren Ländern. In der Schweiz werden kurzfristig sowohl positive wie negative Wirkungen auf die Erträge erwartet, längerfristig steigt aber auch hier das Risiko von Einbussen durch Hitze und Trockenheit.

Jürg Fuhrer (Agroscope)

Globale und nationale Situation

Das Produktionspotenzial in der Landwirtschaft wird massgeblich durch das durchschnittliche lokale und regionale Temperatur- und Niederschlagsregime bestimmt. Zudem unterliegt die aktuelle Produktion den Jahr-zu-Jahr-Schwankungen der Witterung. Es ist aber schwierig, Trends und Variabilität der Erträge ursächlich einzelnen Klimagrössen zuzuordnen; einerseits sind die Erträge zahlreichen Einflussfaktoren ausgesetzt, hauptsächlich jenen der Bewirtschaftung, andererseits stehen meist nur zeitlich begrenzte Datenreihen zur Verfügung. Die Verbindung zwischen Klimadaten und Erträgen kann allerdings mit Hilfe statistischer oder mechanistischer Modelle indirekt analysiert werden.

Weltweit sinkende Erträge

Im Vergleich zu früheren Berechnungen (Vierter IPCC-Sachstandsbericht) liefern die jüngsten Modellstudien gemäss des Fünften IPCC-Sachstandsberichts deutlichere Hinweise auf tiefere Erträge infolge der erfolgten Klimaänderung in den meisten Anbaugebieten – mit Ausnahme einiger nördlich gelegenen Regionen. Dies gilt besonders für Weizen und Mais, in geringerem Ausmass auch für Reis. Das bedeutet, dass der Anstieg der Temperatur während der letzten Jahrzehnte, allenfalls in Kombination mit Wassermangel, bereits ertragsmindernd gewirkt hat, und dass die negativen Wirkungen auf den Ertrag gegenüber den positiven heute überwiegen. Konkret ist dies der Fall beim Anbau von Mais in China und Brasilien oder beim Weizen in Indien, Russland und Frankreich (Lobell et al. 2011). Zudem kann global ein Drittel der jährlichen Ertragsschwankungen während der letzten Jahrzehnte statistisch mit Schwankungen im Klima erklärt werden, in einigen wichtigen Produktionsgebieten wie im mittleren Westen der USA, in Australien oder in Maisanbaugebieten Chinas sogar über 60 Prozent (Ray et al. 2015).

Hitzewellen und Dürreperioden in wichtigen Produktionsregionen führten zu kurzfristigen Ertragseinbrüchen, welche die Nahrungsmittelversorgung unter anderem in Teilen Asiens und Afrikas beeinträchtigten. Dies geschah jüngst bei der Produktion von Weizen und Reis in Russland, den USA und Australien. Gepaart mit anderen Faktoren, wie der Zunahme der Biotreibstoffproduktion, trugen solche Ereignisse zu einem Anstieg der Nahrungsmittelpreise auf dem Weltmarkt bei, und erschwerten so der Bevölkerung in ärmeren Importländern den Zugang zu Grundnahrungsmitteln (Willembockel 2012). Im Gegenzug konnten die Produzenten von höheren Preisen profitieren.

Schweiz: Einfluss politischer Entscheide war bisher grösser als jener des Klimawandels

In der Schweiz ist ein Einfluss des Temperaturanstiegs seit 1980 auf die Erträge von Ackerkulturen kaum feststellbar. Die Modellierung der Klimaeignung für den Anbau einzelner Kulturen lässt allerdings erkennen, dass sich die Bedingungen von 1980 bis 2010 in verschiedenen Regionen für Mais tendenziell verbessert, jene für Winterweizen verschlechtert haben (Abb. 2.15). Auch die Klima-

Welternährung

Die globale Nahrungsmittelproduktion basiert auf einer beschränkten Vielfalt von rund 150 Pflanzenarten. Davon liefern zwölf Sorten rund Dreiviertel der konsumierten Nahrungsmittel. Lediglich drei Sorten liefern über die Hälfte des Energiebedarfs: Mais, Weizen und Reis. Weitere 25 Prozent tragen Sorghum- und Millethirsen, Kartoffel, Süsskartoffel, Soja und Zuckerrohr bei.
Von der gesamten Produktion von Ackerkulturen dienen heute 62 Prozent der menschlichen Ernährung, 35 Prozent der Tierernährung und drei Prozent der Produktion von Energie und anderen industriellen Produkten.
Im Jahr 2050 werden mehr als neun Milliarden Menschen auf der Welt leben. Sie werden mehr Nahrung brauchen und mit wachsendem Wohlstand mehr Fleisch und Milchprodukte konsumieren, deren Produktion im Vergleich zur Pflanzenproduktion deutlich mehr Ressourcen verbraucht.

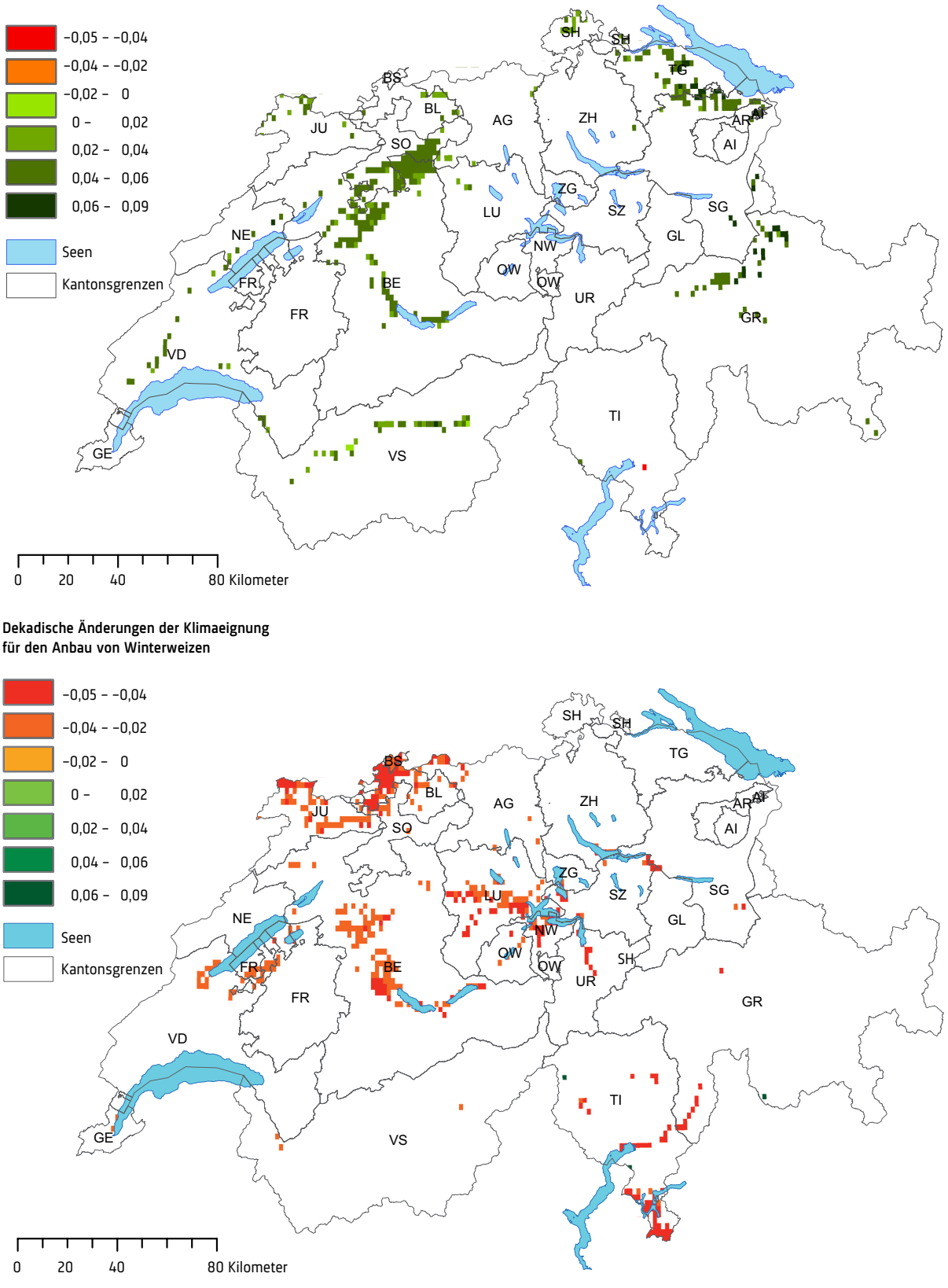

Abbildung 2.15: Änderung im Index der Klimaeignung für Mais (a) und Weizen (b) in Gebieten mit einem signifikanten Trend von 1983 bis 2010. (Quelle: Holzkämper et al. 2014)

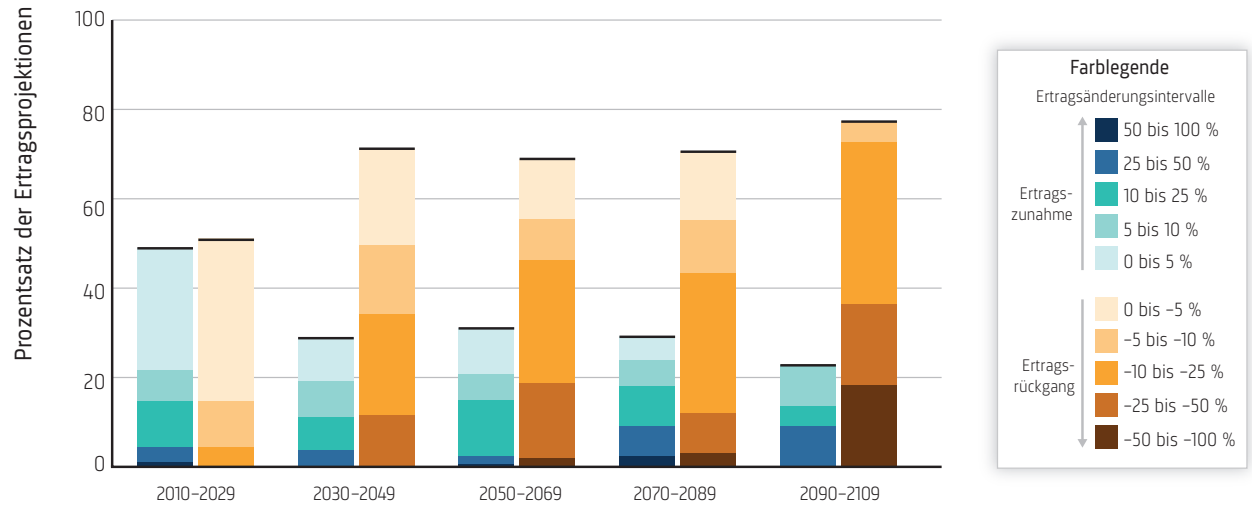

Abbildung 2.16: Relative Anteile der negativen und positiven Projektionen für Änderungen im Ertrag landwirtschaftlicher Kulturen für tropische und gemässigte Klimaregionen. Die Grafik vereint die Ergebnisse für verschiedene Emissionsszenarien sowie für Simulationen mit und ohne Anpassungsmassnahmen (Summe = 100%). Die Grafik zeigt, dass die Anteile der positiven Auswirkungen zunehmend sinken, während jene der negativen Auswirkungen steigen. Die Säulen sind aufgeteilt nach dem Ausmass der Ertragsveränderung (in Prozent) im Vergleich zu den Erträgen Ende des 20. Jahrhunderts. Nach 2050 überwiegen negative Ertragsveränderungen von mehr als fünf Prozent. (Quelle: IPCC 2014/WGII/Chap.7/Fig. 7-05)

eignung für den Rebbau hat sich in den letzten 30 Jahren verbessert und besonders anspruchsvolle Traubensorten profitierten von steigenden Temperaturen (Holzkämper et al. 2013). Im Gegensatz zum Einfluss des Klimawandels ist die Wirkung politischer Entscheide auf die Getreideerträge deutlicher erkennbar, zum Beispiel jene der Einführung der ökologischen Direktzahlungen (Finger 2010).

Hierzulande führten Jahre mit extremer Witterung in der jüngeren Vergangenheit nur bedingt zu spürbaren Veränderungen im Angebot und bei den Produktepreisen. Höhere Preise ergaben sich am ehesten bei regionalen Produkten, zum Beispiel beim Gemüse. Produktionsausfälle wie 2003 wurden teils durch zusätzliche Importe und Importerleichterungen kompensiert (Aussetzung der Zölle beim Tierfutter); in Härtefällen wurden Betriebshilfedarlehen zur Verfügung gestellt. Die Direktzahlungen des Bundes puffern zudem für Ackerbaubetriebe die Schwankungen im Betriebserfolg ab (Lehmann et al. 2013).

Verletzlichkeit

Künftige Veränderungen

Die weitere Entwicklung der klimabedingten Änderungen in der globalen Agrarproduktion wurde anhand der Kombination von Produktionsmodellen und regionalen Klimaprojektionen abgeschätzt. Die Ergebnisse unterliegen den Unsicherheiten im Emissions- und Klimaverlauf, in den agrartechnischen Entwicklungen sowie in den Modellen (Rosenzweig et al. 2014). Für die nächsten Jahrzehnte (2010–2029) zeigt die überwiegende Mehrzahl der Studien, dass sich die positiven und negativen Ertragstrends in etwa die Waage halten (Abb. 2.16). Mittelfristig (Jahre 2046–2065) werden bei ungebremster Emissionsentwicklung (RCP8.5) die negativen Wirkungen in zahlreichen temperierten Regionen der mittleren Breiten und besonders in tropischen Klimaregionen deutlich zunehmen, während für nördliche Breiten weiter positive Auswirkungen erwartet werden. Gegen Ende des Jahrhunderts überwiegen die negativen Ertragsprojektionen deutlich.

In der Schweiz dürfte sich im selben Zeithorizont die Erwärmung weiter positiv auf den Anbau von Mais auswirken, sofern Trockenheit nicht häufiger und auf einer grösser werdenden Fläche ertragslimitierend wirkt. Ebenso positiv entwickelt sich die Klimaeignung für den Rebbau (Holzkämper et al. 2013). Eher negativ wird sich diese Erwärmung auf andere Kulturen wie Winterweizen oder Kartoffeln auswirken. Mit der fortschreitenden Erwärmung dürfte auch der Schädlingsdruck zunehmen. Dieses Risiko wurde bisher noch wenig untersucht. Erste Ergebnisse für den Apfelwickler zeigen jedoch, dass in Zukunft in allen Gebieten jährlich mit zwei bis drei statt wie heute ein bis zwei Folgegenerationen gerechnet werden muss (Hirschi et al. 2012). Zudem wird die Kältebarriere am Alpenkamm schmaler und für invasive Arten besser überwindbar, wie am Beispiel der Wallnussfruchtfliege gezeigt wurde (Aluja et al. 2011).

Der Klimawandel betrifft auch die Tierproduktion. Diesem Bereich wurde im Gegensatz zur Pflanzenproduktion in den bisherigen Untersuchungen deutlich weniger Beachtung geschenkt. Dies obwohl bedeutende negative Auswirkungen auf Futterproduktion, Tiergesundheit sowie Menge und Qualität der tierischen Produkte erwartet werden (IPCC 2014/WGII/Chap. 7). In der Schweiz, mit einem bedeutenden Anteil an Grünland und einem hohen Wert der Fleisch- und Milchproduktion, müssen die Risiken bedingt durch zunehmenden Hitzestress bei Nutztieren vermehrt beachtet werden (Fuhrer & Calanca 2012). Mit der Erwärmung verlängert sich zwar die Vegetationsperiode, was sich positiv auf die Raufutterproduktion und die Wiesenbewirtschaftung auswirkt, sofern in Trockenperioden ausreichend Bewässerung verfügbar ist (Calanca & Fuhrer 2005). Die Tiere müssen aber vorsorglich vor Hitzestress und Wassermangel geschützt werden, um das Risiko von Leistungseinbussen, Krankheiten oder sogar erhöhter Mortalität zu mindern.

Extreme wirken sich auf Weltagrarhandel aus

Mit fortschreitendem Klimawandel werden weltweit negative Auswirkungen auf die Landwirtschaft überhand nehmen und die Ertragsstabilität sinken. Die im Zuge des Klimawandels auftretenden Temperaturextreme dürften häufiger über der physiologischen Toleranzgrenze der meisten Ackerkulturen zu liegen kommen. Damit könnte ein für eine ausreichende weltweite Agrarproduktion kritisches Mass der Klimaänderung erreicht werden. Tiefere und stärker schwankende Erträge in den Hauptproduktionsländern führen trotz wirtschaftlicher Anpassungseffekte zu höheren Weltmarktpreisen (Nelson et al. 2014) und zu stärkeren Preisschwankungen (Calzadilla et al. 2013). In Kombination mit global ändernden Ansprüchen an die Nahrungsmittelverfügbarkeit und -qualität (u. a. mehr tierisches Eiweiss) wird die Ernährungssicherheit für mehr Menschen gefährdet. Sofern die Agrarproduktion wegen des Klimawandels weiter sinkt und die jährlichen Schwankungen zunehmen, würde die Zahl der unterernährten Menschen bis 2050 deutlich steigen (WHO 2014). In vielen Gebieten würde dies den laufenden Anstrengungen zur Verbesserung der Ernährungssituation entgegenwirken. Betroffen wären insbesondere Kinder in Regionen Afrikas und Südasiens (Brown 2014). Zudem wird erwartet, dass die Qualität der Diät vieler Menschen durch den Klimawandel verschlechtert wird und dadurch die Zahl von ernährungsbedingten Todesfällen in vielen Regionen bis 2050 ansteigen wird (Springmann et al. 2016).

Besonders schwierig würde die Situation nach 2050 bei ungebremster Emissionsentwicklung (RCP8.5) mit einer Erwärmung von durchschnittlich vier Grad Celsius bis Ende Jahrhundert, verbunden mit häufigen Extremen. Gleichzeitig wird der Bedarf nach tierischen Produkten weltweit weiter steigen, besonders in Schwellenländern mit einem starken Bevölkerungswachstum und steigenden Ansprüchen an die Qualität der Lebensmittel.

Anpassung

Massnahmen zur Anpassung können den negativen Auswirkungen des fortschreitenden Klimawandels in beschränktem Mass entgegen wirken und helfen, positive Auswirkungen zu nutzen. Mögliche Massnahmen der ackerbaulichen Praxis sind unter anderem (s. a. Fuhrer & Gregory 2014):

- Züchtung und Einsatz von Sorten für ein breites Spektrum von Nutzpflanzen mit höherer Temperatur-, Trockenheits- und Schädlingstoleranz,
- verschieben der Zeiträume für den Anbau,
- zusätzliche Bewässerung im Rahmen einer nachhaltigen Wasserbewirtschaftung,
- schonende Bodenbearbeitung zur Verbesserung des Bodenwasserhaushalts,
- Einführung von Agroforstsystemen, das heisst einer Kombination von mehrjährigen Holzpflanzen und landwirtschaftlichen Kulturen und
- gezielte Information zur Unterstützung der Entscheidungsfindung.

Modellrechnungen zeigen, dass mit solchen Massnahmen, angepasst an die lokalen Bedingungen und Bedürfnisse, klimabedingte Ertragseinbussen reduziert werden können (Challinor et al. 2014). Viele Anpassungsmassnahmen haben generellen Charakter und spielen sowohl im Ausland wie in der Schweiz eine zunehmend wichtige Rolle. Wasser ist auch hierzulande eine begrenzt nutzbare Ressource. Bei steigendem Bedarf nach Wasser durch ein wärmeres und trockeneres Klima wird der schonende Umgang durch den Einsatz effizienter Technik und ein angepasstes Betriebsmanagement wichtiger (Fuhrer et al. 2013). Gleichzeitig muss auch den Auswirkungen von zunehmenden Starkniederschlägen vorgebeugt werden. Deshalb sind Massnahmen wie unter anderem eine schonende Bodenbearbeitung zur Verhinderung von Bodenabtrag nötig.

Anpassungen der Produktionssysteme können laufend und regional oder lokal priorisiert realisiert werden. Sie erfolgen entweder innerhalb der existierenden Strukturen oder in Form von tiefgreifenden Systemänderungen. Letztere schliessen eine stärkere Diversifizierung der bäuerlichen Betriebe und die Verschiebung von Anbauzonen ein. Um der zunehmenden Schwankungen von Produktion und Preisen entgegenzuwirken, sind verschiedene Massnahmen wichtig: Vergrösserung der Reserven, Diversifi-

zierung der Produktion, Anpassungen bei der Lagerung und Verteilung der Grundnahrungsmittel sowie ein verbesserter Versicherungsschutz der Produzenten.

Wie hoch das Potenzial zur Vermeidung negativer Auswirkungen des Klimawandels letztlich ist, bleibt unsicher. Es könnte deutlich höher liegen als aufgrund des heutigen Sachstandes angenommen wird. In wirtschaftlich schwächeren Regionen der Welt kommt der Erhöhung der Anpassungsfähigkeit besondere Bedeutung zu; sie bedingt Verbesserungen bei Wissenstransfer, Investitionen, verbesserte politische und soziale Strukturen und einen vereinfachten Marktzugang.

In der Schweiz sind die Möglichkeiten für eine Anpassung vergleichsweise gross und Massnahmen in der Landwirtschaft können durch Anreizsysteme, Auflagen für Direktzahlungen oder über die Preispolitik gesteuert werden. Zunehmend wird die Frage eines Versicherungsschutzes gegenüber Witterungsrisiken diskutiert. Die Grundlagen für index-basierte Versicherungen gegen Schäden durch Trockenheit wurden erarbeitet (Kapphan et al. 2012) und erste Versicherungsprodukte sind am Entstehen (Schweizer Hagel 2016). Zudem wird der Ausbau der Bewässerung durch eine effiziente Infrastruktur in einzelnen Regionen geplant, zum Beispiel im Berner Seeland. Dazu gehören verlustarme Bewässerungsnetze mit Anschluss an ausgiebige Reservoire wie grössere Flüsse und Seen, die Steuerung der Bewässerungsmenge, so dass sie dem tatsächlichen Bedarf entspricht sowie eine bodennahe Wasserverteilung zum Beispiel durch Tropfbewässerung.

Herausforderungen für die Schweiz

In der Schweiz wurden 2012 bezogen auf die Energiemenge netto[1] rund 55 Prozent des inländischen Bedarfs im Land selbst produziert. Dies ist im Vergleich mit der EU ein tiefer Selbstversorgungsgrad. Die Schweiz importiert hauptsächlich pflanzliche Produkte wie Früchte, Gemüse, Getreide und Fette und dies zumeist aus EU-Ländern. Mit der wachsenden inländischen Bevölkerungszahl nimmt der Nahrungsbedarf zu, was bedeutet, dass zum Erhalt des Netto-Selbstversorgungsgrades bei abnehmender Landwirtschaftsfläche künftig eine Steigerung der Produktivität nötig sein wird. Andernfalls nimmt die Abhängigkeit von Nahrungs- und Futtermittelimporten aus dem Ausland weiter zu und damit auch der Einfluss von Preisschwankungen auf den internationalen Agrarmärkten. Die Herausforderung besteht darin, diese Steigerung unter Schonung der natürlichen Grundlagen (Boden, Wasser, Luft und Klima) und der biologischen Vielfalt zu realisieren, und gleichzeitig die negativen wirtschaftlichen Auswirkungen des Klimawandels abzufedern sowie neue Möglichkeiten zu nutzen. Besonders hoch ist die Treibhausgasemission der tierischen Produkte (Fleisch und Molkereierzeugnisse), mit einem im Vergleich zu den pflanzlichen Produkten in der Schweiz geringen Importanteil (Bretscher et al. 2014). Eine Umstellung hin zu einer zunehmend vegetarisch orientierten Ernährung wäre daher für die Schweiz günstig.

Eine zentrale Aufgabe wird die künftige Bewirtschaftung der Ressource Wasser sein.[2] Bereits heute ist im Mittelland, im Tessin und in inneralpinen Tallagen Bewässerung nötig (Fuhrer & Jasper 2009). In vielen voralpinen Einzugsgebieten werden die sommerlichen Abflüsse zurückgehen (Köplin et al. 2012; Fuhrer & Calanca 2014) (s. a. Kap. 2.4 Wasser, S. 84). Bei einem steigenden Bedarf an Bewässerung zur Sicherung von Ertrag und Qualität bei Acker- und Spezialkulturen (Obst- und Rebbau) sowie im Futterbau entsteht vermehrt Konkurrenz mit anderen Wassernutzern um ein knapper werdendes Wasserdargebot (Lanz et al. 2014). Möglichkeiten, den Bedarf nach Bewässerung zu mindern, sind nebst der Verbesserung der Bewässerungseffizienz auch Verschiebungen im Mix der angebauten Kulturen hin zu mehr Winterkulturen wie Winterraps oder -gerste und eine Bodenbearbeitung, welche die Bodenstruktur schont und die Wasserrückhaltung fördert.

Aber auch die Organisation der Kulturlandschaft muss überdacht werden: Anspruchsvolle Kulturen sollten dort angebaut werden, wo die Bedingungen in Bezug auf Klima- und Bodeneignung sowie Zugang zu nachhaltig nutzbaren Wasserressourcen günstig sind. Zudem können Landwirtschaftsbetriebe aufgrund von Änderungen im Wasserpreis oder durch die Einführung von Entnahmekontingenten dazu gebracht werden, Massnahmen zur Minderung ihres Wasserverbrauchs zu ergreifen, womit künftig die Übernutzung der Gewässer und einige mit einer intensiven Bewässerung verbundenen Umweltwirkungen verhindert werden, ohne dass dadurch der Betriebserfolg wesentlich geschmälert wird (Fuhrer et al. 2013).

1 Netto bedeutet hier, dass nur jener Anteil der Inlandproduktion berücksichtigt wird, der mit inländischen Futtermitteln produziert wurde.

2 Siehe auch www.nfp61.ch

Referenzen

Aluja M, Guillén L, Rull R, Höhn H, Frey J, Graf B, Samietz J (2011) **Is the alpine divide becoming more permeable to biological invasions? – Insights on the invasion and establishment of the Walnut Husk Fly, Rhagoletis completa (Diptera: Tephritidae) in Switzerland**. Bulletin of Entomological Research 101: 451–465.

Bretscher D, Leuthold-Stärfl S, Felder D, Fuhrer J (2014) **Treibhausgasemissionen aus der schweizerischen Land- und Ernährungswirtschaft**. Agrarforschung Schweiz 5: 458–465.

Brown ME (2014) **Food Security, Food Prices and Climate Variability**. Routledge, New York.

Calzadilla A, Rehdanz K, Betts R, Falloon P, Wiltshire A, Tol RSJ (2013) **Climate change impacts on global agriculture**. Climatic Change 120: 357–374.

Challinor AJ, Watson J, Lobell DB, Howden SM, Smith DR, Chhetri N (2014) **A meta-analysis of crop yield under climate change and adaptation**. Nature Climate Change 4: 287–291.

Finger R (2010) **Evidence of slowing yield growth – the example of Swiss cereal yields**. Food Policy 35: 175–182.

Fuhrer J, Calanca P (2012) **Klimawandel beeinflusst das Tierwohl bei Milchkühen**. Agrarforschung Schweiz 3: 132–139.

Fuhrer J, Calanca P (2014) **Bewässerungsbedarf und Wasserdargebot unter Klimawandel: eine regionale Defizitanalyse**. Agrarforschung Schweiz 5: 256–263.

Fuhrer J, Gregory PJ (eds.) (2014) **Climate Change Impact and Adaptation in Agricultural Systems**. CABI Climate Change Series.

Fuhrer J, Jasper K (2009) **Bewässerungsbedürftigkeit von Acker- und Grasland im heutigen Klima**. Agrarforschung Schweiz 16: 396–401.

Fuhrer J, Tendall D, Klein T, Lehmann N, Holzkämper A (2013) **Water demand in Swiss Agriculture – Sustainable Adaptive Options for Land and Water Management to Mitigate Impacts of Climate Change**. ART Schriftenreihe 19: 56.

Hirschi M, Stoeckli S, Dubrovsky M, Spirig C, Calanca P, Rotach MW, Fischer AM, Duffy B, Samietz J (2012) **Downscaling climate change scenarios for apple pest and disease modeling in Switzerland**. Earth System Dynamics 3: 33–47.

Holzkämper A, Fossati D, Hiltbrunner J, Fuhrer J (2014) **Spatial and temporal trends in agroclimatic limitations to production potentials for grain maize and winter wheat in Switzerland**. Regional Environmental Change 15: 109–122.

Holzkämper A, Fuhrer J, Frei C (2013) **Temperaturtrends und Rebbau in der Schweiz**. Schweizer Zeitschrift für Obst- und Weinbau 149: 6–9.

IPCC (2014) **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability (WGII)**. Chapter 7 «Food security and food production systems». www.ipcc.ch/report/ar5/wg2

Kapphan I, Calanca P, Holzkaemper A (2012) **Climate change, weather insurance design and hedging effectiveness**. The Geneva Papers 37: 286–317.

Köplin N, Schädler B, Viviroli D, Weingartner R (2012) **Relating climate change signals and physiographic catchment properties to clustered hydrological response types**. Hydrology and Earth System Sciences 16: 2267–2283.

Lanz K, Fuhrer J, Haeberli W, Stamm C (2014) **Steigender Nutzungsdruck im Wasserschloss**. Aqua & Gas 11: 24–29.

Lehmann N, Briner S, Finger R (2013) **The impact of climate and price risks on agricultural land use and crop management decisions**. Land Use Policy 35: 119–130.

Lobell DB, Schlenker W, Costa-Roberts J (2011) **Climate trends and global crop production since 1980**. Science 333: 616–620.

Nelson GC, Valin H, Sands RD, Havlík P, Ahammad H, Deryng D, Elliott J, Fujimori S, Hasegawa T, Heyhoe E, Kyle P, Lampe von M, Lotze-Campen, Mason d'Croz, van Meijl H, van der Mensbrugghe D, Müller C, Popp A, Robertson R, Robinson S, Schmid E, Schmitz C, Tabeau A, Willenbockel D (2014) **Climate change effects on agriculture: economic responses to biophysical shocks**. PNAS 111: 3274–3279.

Ray DK, Gerber JS, MacDonald GK, West PC (2015) **Climate variation explaines a third of global crop yield variability**. Nature Communications 6: 5989.

Rosenzweig C, Elliott J, Deryng D, Ruane AC, Müller C, Arneth A, Boote KJ, Folberth C, Glotter M, Khabarov N, Neumann K, Piontek F, Pugh TAM, Schmid E, Stehfest E, Yang H, Jones JW (2014) **Assessing agricultural risks of climate change in the 21st century in a global gridded crop model intercomparison**. PNAS 111: 3268–3273.

Schweizer Hagel (2016) **Produkte: Die APV+**. www.hagel.ch/de/produkte/apv

Springmann M, Mason-D'Croz D, Robinson S, Garnett T, Godfray HCJ, Douglas G, Rayner M, Ballon P, Scarborough P (2016) **Global and regional health effects of future food production under climate change: a modelling study**. The Lancet 387: 1937–1946.

WHO (2014) **Quantitative risk assessment of the eff ects of climate change on selected causes of death, 2030s and 2050s**. Geneva: World Health Organization, 128 pp.

Willenbockel D (2012) **Extreme weather events and crop price spikes in a changing climate**. Oxfam Research Reports, September 2012.