

# Synergien und Zielkonflikte zwischen Ernährungssicherheit und Ressourceneffizienz

Birgit Kopainsky<sup>1</sup>, Theresa Tribaldos<sup>1</sup>, Christian Flury<sup>1</sup>, Matteo Pedercini<sup>2</sup> und Hans-Jörg Lehmann<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Flury&Giuliani GmbH, 8006 Zürich, Schweiz

<sup>2</sup>Millennium Institute, 20006-4021, Washington DC, USA

<sup>3</sup>Bundesamt für Landwirtschaft, 3003 Bern, Schweiz

Auskünfte: Birgit Kopainsky, E-Mail: birgit.kopainsky@flury-giuliani.ch



**Abb. 1** | Nahrungsmittelerzeugung unter stetigem Druck: Steigende Siedlungsansprüche reduzieren die freien Bodenflächen für die Nahrungsmittelerzeugung. (Foto: BLW)

## Einleitung

Der vorliegende Beitrag stützt sich auf das Teilprojekt Modellierung und befasst sich mit den Zielkonflikten und Synergien zwischen Produktions- und Umweltwirkungen der Schweizer Land- und Ernährungswirtschaft (L&E; vgl. Kasten «Ressourceneffizienz» S. 133). In diesem Teilprojekt wurde untersucht, wie sich die Schere zwischen Nahrungsmittelbedarf und Produktionspotenzial in der Schweiz schliessen liesse (Abb. 1). Allerdings kann das weitere Umfeld dabei nicht ausser Acht gelassen werden, da fast 50 % der in der Schweiz verbrauchten Lebensmittel importiert werden (BLW 2012a). Laut Jungbluth *et al.* (2011) fallen ausserdem etwa 60 % der Umweltbelastungen durch den Konsumbereich Ernährung im Ausland an. Vor diesem Hintergrund wurden im Teilprojekt Modellierung

die Herausforderungen für die Schweizer L&E im Zeithorizont 2050 identifiziert. Dabei wurden insbesondere die Hebelwirkungen einzelner Interventionen zur langfristigen Sicherung der Produktion und einer effizienten Ressourcennutzung untersucht. Die folgenden Forschungsfragen werden beantwortet:

- Welche Handlungsfelder bestehen, um die Schweizer L&E gezielt hinsichtlich Ressourceneffizienz und Ernährungssicherheit ausrichten zu können?
- Was sind die Produktions- und Umweltwirkungen dieser Handlungsfelder?
- Entstehen Zielkonflikte und Synergien?
- Zur Erreichung der formulierten Ziele und Beantwortung der Forschungsfragen wurde ein dynamisches Simulationsmodell auf den Schweizer Kontext angepasst und entsprechend kalibriert.

## Ressourceneffizienz im Dienste der Ernährungssicherheit – Umgang mit Knappheit

Die intensive und gleichzeitig nachhaltige Nutzung der Ressourcen ist ein Schlüsselfaktor für die künftige globale Ernährungssicherheit. Die absehbaren demografischen Veränderungen, die zunehmende Knappheit der natürlichen Ressourcen sowie die Konsequenzen der Klimaveränderungen erfordern auch in der Schweiz neue Denkansätze und Lösungen. Vorausschauend diese Veränderungen zu identifizieren, zu quantifizieren und zu priorisieren sowie Handlungsbedarf abzuleiten, ist ein Gebot der Zeit. Die einzelnen nationalstaatlichen Land- und Ernährungswirtschaften sind über den globalen Agrarhandel und die Auswirkungen der globalen Klimaveränderungen verbunden. Diese Tatsache macht es noch mehr als früher nötig, die Entwicklungen und auch die Schlussfolgerungen aus einem grösseren Blickwinkel zu betrachten.

Das Bundesamt für Landwirtschaft hat zu diesem Zweck ein Projekt mit dem Titel «Ressourceneffizienz im Dienste der Ernährungssicherheit» (REDES) lanciert. Im Rahmen dieses Projekts werden die langfristigen (2050) internationalen und nationalen Entwicklungen zusammengeführt und die diesbezüglichen prioritären Handlungsfelder für die Schweizer Land- und Ernährungswirtschaft aufgezeigt. Die Ergebnisse von zwei REDES-Teilprojekten werden in Beiträgen in dieser Ausgabe dargestellt.

## Methode

Das hier verwendete Modell testete verschiedene Handlungsfelder innerhalb und ausserhalb der Landwirtschaft. Das Modell basiert auf dem Threshold-21-Ansatz des Millennium-Instituts (Barilla 2011), das aus einem System von Differenzialgleichungen erster Ordnung besteht. Es beschreibt die Entwicklung der Schweizer L&E über die Zeit und die Auswirkungen von Rahmenbedingungen und Interventionen auf diese Entwicklung. Da es sich um ein Simulationsmodell handelt, werden weder Ziele im Bereich der Produktion noch im Bereich der Ressourcennutzung mathematisch optimiert. Die Simulationsrechnungen zeigen vielmehr auf, was es brauchen würde, um bestimmte Produktions- und/oder Umweltziele zu erreichen, was durch Anpassung ver-

## Zusammenfassung

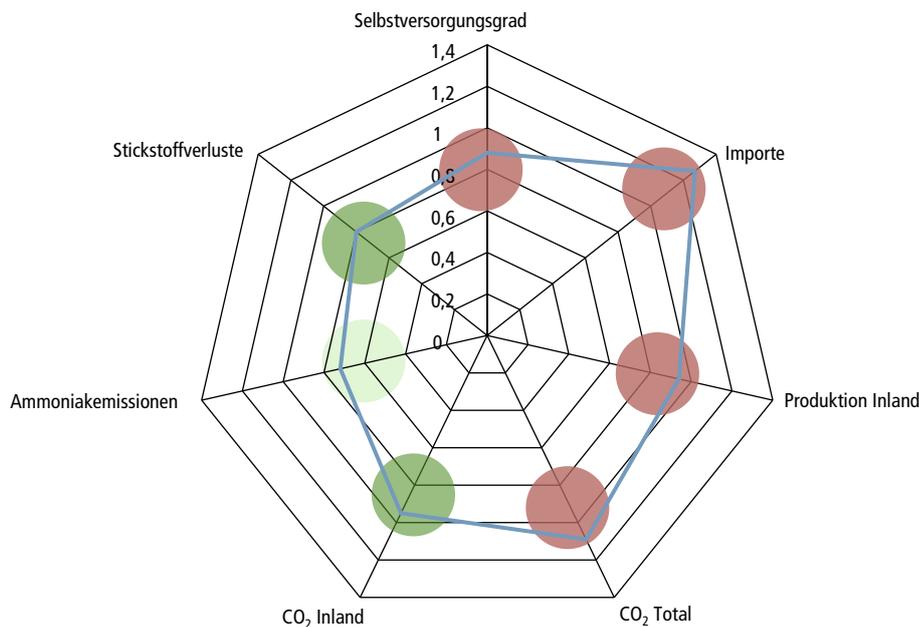
Die Schweizer Land- und Ernährungswirtschaft steht vor grossen Herausforderungen – und mit ihr die Gesellschaft. Die Schere zwischen gewünschter und realisierbarer Nahrungsmittelproduktion öffnet sich weiter, denn die Ernährungssicherheit für eine wachsende Bevölkerung verlangt nach einer ständigen Steigerung der Produktion, während gleichzeitig eine Reduktion des Ressourcenverbrauchs nötig ist. Durch die Anwendung eines dynamischen Simulationsmodells auf den Schweizer Kontext konnten die Zielkonflikte und Synergien zwischen den Umwelt- und Produktionswirkungen für den Zeithorizont 2050 quantifiziert werden. Ziel des vorliegenden Beitrags ist es, die Hebelwirkungen zur langfristigen Sicherung der Produktion bei gleichzeitiger Sicherung einer effizienten Ressourcennutzung zu identifizieren. Zentrale Erkenntnis der Modellierung ist, dass die Schweizer Landwirtschaft das Potenzial hat, die Produktions- und Umweltziele in Einklang zu bringen. Allerdings bedingt die Realisierung der Hebelwirkungen unter anderem einen technischorganisatorischen Fortschritt, der über die heute absehbaren Möglichkeiten hinausgeht.

schiedener Interventionsmöglichkeiten, so genannter Handlungsfelder, erreicht wird.

Um die Herausforderungen für die Schweizer L&E zu identifizieren, wurde ein Baseline-Szenario entwickelt, das unter den zu erwartenden Rahmenbedingungen ohne Interventionen die zukünftigen Entwicklungen aufgezeigt. Die Diskrepanz, die sich zwischen den Ergebnissen aus dem Baseline-Szenario und wünschenswerten Umwelt- und Produktionszielen ergibt, zeigt den Handlungsbedarf auf. Die Bedingungen des Baseline-Szenarios sowie die Umsetzbarkeit einzelner Handlungsfelder wurden in Expertenworkshops erarbeitet.

## Resultate

Die Modellrechnungen zum Baseline-Szenario zeigen, dass die landwirtschaftliche Produktion im Zuge von Bevölkerungswachstum und Flächenverlust abnimmt. Dabei wird angenommen, dass die Bevölkerung in der Schweiz auf neun Millionen anwächst, während die landwirtschaftliche Nutzfläche von heute über 1 000 000 ha auf etwas mehr als 900 000 ha abnimmt. Die Gesamtnachfrage nach produzierten Nahrungsmitteln hängt zusätzlich von



**Abb. 2 | Zusammenfassung Ergebnisse Baseline-Szenario (2010=1) (Kopainsky et al. 2013, 23).**

Rote und grüne Kreise: Qualitative Bewertung der Veränderungen zwischen 2010 und 2050. Im Bereich der Umweltwirkungen sind die Bewertungen eindeutig, weil entweder quantitative oder qualitative Zielvorgaben bestehen. Die drei nationalen Indikatoren zu den Umweltwirkungen entwickeln sich alle in Richtung ihrer Zielgrösse und sind daher grün dargestellt. Die hellgrüne Farbe im Fall der Ammoniakemissionen ist damit begründet, dass die Ammoniakemissionen im Baseline-Szenario zwar abnehmen, aber immer noch deutlich vom Zielwert der 25 000 Tonnen pro Jahr entfernt sind. Der internationale Indikator zu den Umweltwirkungen ist hingegen rot, da die gesamten CO<sub>2</sub>-Äquivalente des Schweizer Konsums von Nahrungsmitteln ansteigt. Im Bereich der Produktionswirkungen ist die Bewertung weniger eindeutig, da es keine wissenschaftlichen Vorgaben zur Produktions-, Importmenge oder zum Selbstversorgungsgrad gibt. In Abbildung 2 wird ein Rückgang der inländischen Produktion und des Selbstversorgungsgrades als negativ bewertet und daher rot dargestellt. Ebenso fällt der damit verbundene Anstieg an Importen negativ ins Gewicht. Eine gegenteilige politische Bewertung, d.h. eine positive Bewertung einer rückläufigen Produktion, würde die Farbgebung verändern. Auf die Simulationsergebnisse hat eine solche Bewertung aber keinen Einfluss.

sich ändernden Konsummustern ab. Durch einen höheren Anteil älterer Menschen an der Gesamtbevölkerung wird generell ein niedrigerer Pro-Kopf-Konsum angenommen (AFSSA 2009, Max Rubner-Institut 2008), der jedoch den Gesamtanstieg durch mehr Menschen nicht auszugleichen vermag. Verbesserungen im Bereich der nationalen Umweltwirkungen durch eine geringere landwirtschaftliche Produktion sind nur aus inländischer Sicht relevant, müssen aber in einem globalen Kontext kritisch bewertet werden, da der Produktionsrückgang im Inland durch Importe kompensiert werden muss (Abb. 2).

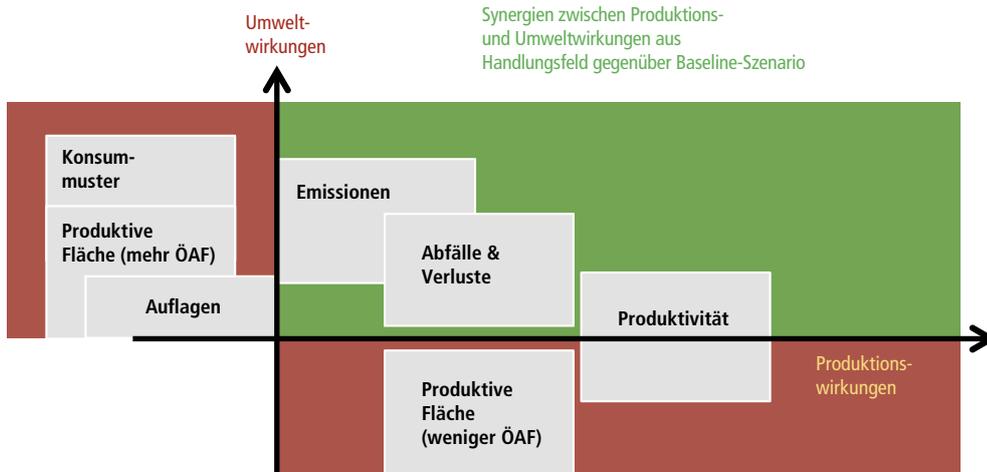
#### Ambivalente Wirkungen einzelner Handlungsfelder

Wegen der sich anbahnenden Problematik zwischen Bevölkerungswachstum und Produktionsrückgang wurden verschiedene Handlungsfelder im Modell untersucht. Einige setzen ausserhalb der produzierenden Landwirtschaft an (Veränderung von Konsummustern, Reduktion von Abfällen/Verlusten in der Verarbeitung/im Konsum, Verfügbarkeit produktiver Fläche), andere innerhalb (Umweltauflagen, Reduktion Stickstoffemissionen, Produktivitätssteigerungen und Optimierung von Produktionssystemen).

Beim Handlungsfeld Konsummuster wurde ein Rückgang des Konsums tierischer Produkte um 10 % als realistisch erachtet. Dieser Rückgang hat sowohl positive als auch negative Auswirkungen zur Folge. Während die Umweltwirkungen sowohl im Inland als auch im Ausland gesenkt werden können, steigt die Nachfrage nach pflanzlichen Produkten, die im Inland mangels geeigneter Fläche nicht produziert werden können. Dadurch steigen die Importe leicht an, was wiederum den Selbstversorgungsgrad etwas senkt.

Eine Reduktion von Abfällen und Verlusten in der Verarbeitung und dem Konsum um 20 % kann massgeblich zu einer Verbesserung bezüglich Selbstversorgungsgrad beitragen. Um die Importe bis 2050 auf dem Niveau von 2010 zu behalten, wäre eine Reduktion um 30 % nötig, was aber als unrealistisch eingeschätzt wird (WWF 2012).

Eine zunehmende Ökologisierung der Landwirtschaft durch mehr ökologische Ausgleichsflächen hat einerseits eine positive Auswirkung auf die Biodiversität und andere Umweltindikatoren. Andererseits vermindert sie aber auch die Produktivität der Landwirtschaft, was wieder höhere Importe zur Folge hat.



Zielkonflikte zwischen Produktions- und Umweltwirkungen aus Handlungsfeld gegenüber Baseline-Szenario

Abb. 3 | Wirkungen bezüglich Produktion und Umwelt der untersuchten Handlungsfelder (Kopainsky et al. 2013, S. 30).

Dieselbe Argumentation gilt für verstärkte Umweltauflagen wie beispielsweise eine Reduktion des Einsatzes von Mineraldünger. Während solche Auflagen auf die Umwelt positive Auswirkungen haben, verringern sie die Produktion und steigern damit die Importmenge. Bezüglich Effizienzsteigerungen im Bereich Stickstoff- und Ammoniakemissionen besteht hingegen ein höheres Potenzial als bei Umweltauflagen. Hier können die Umweltwirkungen verbessert werden, ohne die Produktionsindikatoren negativ zu beeinflussen.

Für eine Produktivitätssteigerung in der Landwirtschaft durch verbesserte Produktionssysteme und neue Züchtungen besteht ein grosses Potenzial. Die Literatur und Experten gehen davon aus, dass Erträge durch diese Methoden bis 2050 um 25 % gesteigert werden könnten bei gleichbleibendem Einsatz nichterneuerbarer Ressourcen (FAO 2011). Für eine Stabilisierung der Produktion auf dem Niveau von 2010 wären allerdings Ertragssteigerungen von 80 % nötig.

#### Kombination verschiedener Handlungsfelder

Als wichtigstes zusammenfassendes Ergebnis zeigen die Modellrechnungen, dass die Schweizer Landwirtschaft auch 2050 das Potenzial hat, einen wesentlichen Beitrag zur Ernährungssicherheit zu leisten und dabei gleichzeitig Produktions- und Umweltwirkungen in Einklang zu bringen. Dies bedingt jedoch Massnahmen, die breiter fassen als die heute bekannten und gängigen Bewirtschaftungs- und Managementmethoden. Neue Bewirtschaftungs- und Managementmethoden müssen einen Systemansatz für die Problematik wählen, der eine Balance zwischen den

einflussreichsten und effizientesten Massnahmen erreicht. Einige Handlungsfelder wirken nur einseitig bezüglich Produktion oder Umwelt (z.B. Auflagen), während andere sowohl im Bereich der Produktion als auch der Ressourcenschonung zu Verbesserungen führen können (z.B. Emissionsreduktionen, Reduktion von Abfällen und Verlusten) (Abb. 3).

Allerdings ist kein Handlungsfeld alleine in der Lage, in allen Bereichen der erfassten Produktions- und Umweltwirkungen deutliche Verbesserungen gegenüber der Baseline Szenario Situation herbei zu führen. Daher ist eine Kombination dieser verschiedenen Handlungsfelder gefragt. Die Berücksichtigung der folgenden drei Handlungsfelder führt beispielsweise zu deutlich besseren Resultaten: Reduktion der Abfälle und Verluste um 20 %, Verdoppelung der realisierten Ertragssteigerung gegenüber dem Baseline-Szenario (bei gleich bleibendem Einsatz externer Inputs) sowie Verbesserung der Effizienz im Bereich Stickstoff. Die Produktion im Inland steigt an, und in der Kombination mit einer Reduktion von Abfällen und Verlusten gehen die Importe stark zurück. Parallel dazu gehen sowohl Stickstoffverluste als auch Emissionen zurück. Eine solche Kombination hat den Effekt, den Selbstversorgungsgrad auf dem Stand von 2010 zu erhalten.

Die Modellierung zeigt, dass die Problematik von Ernährungssicherheit mit mehr Ressourceneffizienz sehr komplex ist und daher auch komplexe Lösungsansätze nötig sind. Sie ergibt weiter, dass die nötigen Schritte bereits heute eingeleitet werden müssen, um die Ziele bis 2050 zu erreichen.

## Diskussion

### Integrierte Perspektive notwendig

Die Ergebnisse des dynamischen Simulationsmodells zeigen, dass es besonderer Anstrengungen bedarf, um über die heute bestehenden oder absehbaren Verbesserungsmöglichkeiten im Bereich von Produktion und Ressourcenschonung hinauszugehen. Dabei greift eine rein technische Auffassung im Sinne von Reduktion der Emissionen durch spezielle Auflagen zu kurz. Nur eine integrierte Perspektive über die gesamte L&E erlaubt es, oben genanntes Potenzial zu realisieren. Es müssen also auch explizit Bereiche wie verschiedene Produktionssysteme, Abfälle und Verluste sowie Konsummuster mitberücksichtigt werden. Ausserdem müssen Hebelwirkungen innerhalb und ausserhalb der Landwirtschaft kombiniert werden. Die Ergebnisse sind konsistent mit bestehenden Arbeiten (z.B. BLW 2012b, Peter 2011, SGPW 2008) und ergänzen diese dadurch, dass sie die Beiträge der einzelnen Handlungsfelder zur Minimierung von Diskrepanzen im Bereich der Produktion und Ressourcenschonung quantifizieren. Ausserdem konnten auch Synergien und Zielkonflikte zwischen einzelnen Zielen (z.B. Zielkonflikte zwischen Ressourcenschonung und Produktion bei reinen Umweltauflagen oder die gleichzeitigen positiven Produktions- und Umweltwirkungen bei der Reduktion von Abfällen und Verlusten) aufgezeigt werden.

Immer öfter werden solche Systeme von der Produktion (Feld) bis zum Konsum (Teller) im Kontext von sozio-ökologischen Systemanalysen betrachtet (z.B. Hammond & Dubé, 2012). In diesem Zusammenhang ist eine globale Perspektive auch für die Schweiz essenziell, importiert sie doch einen erheblichen Teil ihrer Nahrungsmittel oder Rohstoffe, die zur Nahrungsmittelproduktion benötigt werden. Daher genügt es auch nicht, den ökologischen Fussabdruck nur im Inland zu verringern, wenn dadurch Umwelt oder Sozialkosten andernorts entstehen.

### Transdisziplinäre Zusammenarbeit

Entscheidend für eine zielgerichtete Strategie über die zukünftige Ernährungssicherheit in der Schweiz ist weiter eine intensive Auseinandersetzung in Politik und Gesellschaft über zu erreichende Vorstellungen und Ziele. Wenn Klarheit herrscht über wünschenswerte und nicht wünschenswerte Zustände, die auch in Zukunft Gültigkeit behalten sollen, können die entsprechenden Massnahmen ergriffen werden. Dabei ist es wichtig, dass essenzielle Ressourcen wie beispielsweise der Erhalt der landwirtschaftlichen Nutzfläche im heutigen Ausmass qualitativ und quantitativ gesichert werden. Eine effektive Strategie ist in diesem Bereich wahrscheinlich noch

nicht gefunden. Weiter ist zu beachten, dass komplexe Lösungen auch vermehrt trans- und interdisziplinäre Zusammenarbeit erfordern, die heute noch zu wenig stattfindet. Ein optimierter Austausch zwischen verschiedenen Forschungsdisziplinen sowie zwischen Forschung und Praxis ist nötig, um die effizientesten Methoden in verschiedenen Bereichen zu garantieren und neue innovative Ansätze zu testen.

Weitere offene Fragen bestehen einerseits beim Systemwissen zur Internalisierung externer Kosten, Produktivitätssteigerungen mit geringeren negativen Effekten, Agrobiodiversität und Bodenfruchtbarkeit. Andererseits mangelt es an Transformationswissen in den Bereichen Reduktion von Abfällen und Verlusten oder Veränderungen im Konsumverhalten. Das bedeutet, dass Probleme und Lösungen in diesen Handlungsfeldern eigentlich bekannt sind, dass aber die geeigneten Prozesse fehlen, um die Lösungen umzusetzen.

Das in diesem Beitrag angewendete Simulationsmodell formalisiert gewissermassen die Rahmenbedingungen des sozio-ökologischen Systems L&E in der Schweiz. Um die hierbei gewonnenen Erkenntnisse sinnvoll weiter zu entwickeln, ist allerdings eine verstärkte Zusammenarbeit zwischen und innerhalb von Forschung und Entwicklung, Planung, Beratung und Praxis notwendig.

## Schlussfolgerungen

Durch die Anpassung und Kalibrierung eines dynamischen Simulationsmodells konnten die Komplexität der Schweizer L&E und ihre zukünftigen Herausforderungen abgebildet und quantifiziert werden. Diese integrierte Perspektive ist für eine umfassende Abschätzung von Produktions- und Umweltwirkungen nötig. Wichtigste Erkenntnis der in diesem Beitrag diskutierten Modellierung ist, dass die Realisierung der Hebelwirkungen unter anderem einen technisch-organisatorischen Fortschritt bedingt, der über die heute absehbaren Möglichkeiten hinausgeht. Ohne besondere Anstrengungen und Koordination dieser Anstrengungen bringt die Schweizer L&E die Produktions- und Umweltziele nicht in Einklang. Unter Berücksichtigung der notwendigen Zeit, um neue wissenschaftliche Erkenntnisse zu generieren, müssten die relevanten Weichen so schnell wie möglich gestellt werden. ■

**Riassunto****Sinergie e conflitti d'obiettivo tra la sicurezza alimentare e l'efficienza delle risorse**

L'agricoltura e la filiera alimentare svizzera, e con esse la società, sono chiamate ad affrontare grandi sfide. Il divario tra la produzione auspicata e realizzabile di derrate alimentari continua ad acuirsi, perché la sicurezza alimentare per una popolazione in crescita richiede un costante aumento della produzione, mentre al tempo stesso è necessario ridurre il consumo di risorse. Con l'utilizzo di un modello dinamico di simulazione del contesto svizzero potrebbero essere quantificati i conflitti d'obiettivo e le sinergie tra gli effetti sull'ambiente e sulla produzione fino al 2050. L'obiettivo del presente contributo è quello di identificare i fattori che influiscono sulla sicurezza della produzione a lungo termine assicurando al contempo un utilizzo efficiente delle risorse. Il modello si basa sul presupposto che l'agricoltura svizzera possiede il potenziale per armonizzare gli obiettivi ambientali e di produzione. Tuttavia la realizzazione presuppone, tra le altre cose, un progresso tecnico-organizzativo che va oltre le possibilità prevedibili ad oggi.

**Summary****Synergies and trade-offs with regard to ensuring food security and the efficient use of resources**

In Switzerland, agriculture and the food industry are facing major challenges, as is society in general. The gap between desired and achievable levels of food production is growing wider, since ensuring sufficient food supplies for a growing population requires a constant increase in production while at the same time it is necessary to reduce the use of resources. By applying a dynamic simulation model to the situation in Switzerland it was possible to quantify the trade-offs and synergies between environmental and production outcomes with a time horizon of 2050. The aim of this project was to identify the key conditions for ensuring both long-term food provision and the efficient use of resources. The main finding arising from the application of the model was that Swiss agriculture has the potential to reconcile the aims of food provision and environmental protection; however, implementing the key conditions will depend inter alia upon technical and organisational progress that goes beyond the currently foreseeable possibilities.

**Key words:** food security, resource efficiency, dynamic simulation, scenarios, impact analysis.

**Literatur**

- Abele M., Blumenfeld N. & Imhof S. 2012. Univox Landwirtschaft 2012. Schlussbericht einer repräsentativen persönlichen Bevölkerungsbefragung im Auftrag des Bundesamtes für Landwirtschaft. Zürich, gfs, 24 S.
- AFSSA, 2009. Étude Individuelle Nationale des Consommations Alimentaires 2 (INCA2), 2006–2007, 225 S.
- Barilla, 2011. New models for sustainable agriculture. Parma: Barilla Center for Food and Nutrition, 95 S.
- Bundesamt für Landwirtschaft BLW, 2012a. Agrarbericht 2012. Bern, 246 S.
- Bundesamt für Landwirtschaft BLW, 2012b. Forschungskonzept Land- und Ernährungswirtschaft 2013–2016. Bern, 123 S.
- FAO 2011. Looking ahead in world food and agriculture. Perspectives to 2050. Rom, FAO, 539 S.
- Hammond R.A. & Dubé L. (2012). A systems science perspective and transdisciplinary models for food and nutrition security. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **109** (31), 12356–12363.
- Jungbluth N., Nathani C., Stucki M. & Leuenberger M., 2011. Environmental impacts of Swiss consumption and production. A combination of input-output analysis with life cycle assessment. Bern, BAFU, 171 S.
- Kopainsky B., Flury C., Pedercini M., Sorg L. & Gerber A., 2013. Ressourceneffizienz im Dienste der Ernährungssicherheit. Teilprojekt Modellierung – Schlussbericht. Zürich/Washington: Flury&Giuliani GmbH/Millennium Institute, 55 S.
- Max Rubner-Institut, 2008. Nationale Verzehrsstudie II, Ergebnisbericht, Teil 1. Karlsruhe, 280 S.
- Peter S., 2011. Entwicklung der landwirtschaftlichen Stickstoffemissionen bis im Jahr 2020. *Agrarforschung Schweiz* **2** (4), 162–169.
- Schweizerische Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften SGPW 2008. Vision Pflanzenbau 2050.
- WWF, 2012. Lebensmittelverluste in der Schweiz – Ausmass und Handlungsoptionen. WWF Schweiz, 16 S.