

Schriftenreihe der FAL / Les cahiers de la FAL 49

FORSCHUNG FÜR DIE AGRARLANDSCHAFT

Tagung der Agroscope FAL Reckenholz vom 23. Januar 2004



 agroscope

FAL RECKENHOLZ

Forschung für Landwirtschaft und Natur

Impressum

ISSN 1421-4393 Schriftenreihe der FAL
ISBN 3-905608-71-5
Herausgeberin Agroscope FAL Reckenholz, Reckenholzstrasse 191, CH-8046 Zürich
Tel. ++41 (0)1 377 71 11
info@fal.admin.ch www.reckenholz.ch
Redaktion Gregor Klaus, CH-4467 Rothenfluh; Patrick Ruggle, FAL
Übersetzung SanoVet, CH-1844 Villeneuve
Gestaltung Iris Turke, CH-9506 Lommis; Ursus Kaufmann, FAL
Preis CHF 30.00 / € 20.00; inkl. Mwst
Copyright by FAL 2004

Inhalt

Vorwort	2
Avant-propos	3
Programm	4
Programme	5
Einführung ins Tagungsthema	
Agrarlandschaft im Wandel	7
Karl Martin Tanner	
Landscape Structure, Intensity of Agricultural Land-Use and Biodiversity: Connections along a European Gradient	12
Debra Bailey and Felix Herzog	
Quelles biodiversités pour les paysages agricoles?	16
Jacques Baudry	
Möglichkeiten und Grenzen der Agroforstwirtschaft in Europa	19
Yvonne Reisner und Felix Herzog	
Wasser- und Stoffhaushalt in Abhängigkeit von Landnutzung und Landschaftsstruktur – Modellierung, Szenarien und Bewertungsansätze	23
Rudolf Krönert	
Regionale Unterschiede in den Phosphor- und Stickstoffeinträgen aus der Landwirtschaft in die Gewässer	29
Volker Prasuhn	
Simulation der Bodenfeuchte im Schweizer Agrarraum unter heutigen und zukünftigen Klimabedingungen	33
Karsten Jasper	
Ökonomische Optimierung: Ein geeignetes Instrument zur Modellierung der ökologischen Effekte der Landnutzung?	37
Kurt Zraggen, Beatrice Schüpbach, Christian Flury und Erich Szerencsits	
Adressliste der Autorinnen und Autoren	42

Vorwort

Die Agrarlandschaft hat sich in den letzten Jahrzehnten sichtbar verändert. Dieser Wandel wurde vor allem durch drei Kräfte massgebend bestimmt. Das Bevölkerungswachstum und der Anspruch jedes Einzelnen auf mehr Raum haben die Siedlungsfläche ausgedehnt und so die traditionellen dorfnahen Äcker und Hochstamm-Obstgärten verdrängt. Auch die Waldfläche hat sich auf Kosten des landwirtschaftlich genutzten Landes ausgedehnt. Schliesslich haben die Bauern selbst die Agrarlandschaft gestaltet, dies zum Beispiel durch Veränderungen in der Parzellierung, durch Meliorationen, durch eine Intensivierung der Bewirtschaftung oder durch den Ersatz von Hochstamm-Obstgärten durch Niederstammanlagen. Dieser Wandel führte unter anderem zu einem Rückgang der Tier- und Pflanzenarten sowie zu einem verstärkten Eintrag von Nährstoffen in das Oberflächen- und Grundwasser.

Seit Beginn der achtziger Jahre mehrten sich die Kritiken an einer zu intensiven landwirtschaftlichen Produktion. Im Sinne der Multifunktionalität soll die Landwirtschaft in der heutigen Zeit neben der möglichst ökonomischen Produktion von gesunden Nahrungsmitteln vermehrt die natürlichen Ressourcen schonen und pflegen und die Landschaft als Lebens- und Erholungsraum gestalten. Um diese sehr hohen Anforderungen erfüllen zu können, braucht die Landwirtschaft die Unterstützung der Forschung.

Die FAL-Reckenholz will gemäss ihrer Vision zukunftsweisende Landwirtschaftssysteme entwickeln, welche die Multifunktionalität der Landwirtschaft verbessern soll. Um dies zu erreichen, braucht es Forschung auf der Ebene der Parzelle, des Betriebes und der Agrarlandschaft. Die FAL-Tagung 2004 ist der Forschung auf der Ebene der Agrarlandschaft gewidmet. Die Vorträge sind in drei Themenkreise gegliedert: Biodiversität, Wasser- und Stoffhaushalt und Landnutzung. Dabei wird ein Einblick geben in verschiedene regionale und europäische Projekte. Wir hoffen, mit dieser Tagung für die Nutzung und Gestaltung der Agrarlandschaft wichtige Impulse geben zu können.

Zürich-Reckenholz, Januar 2004



Paul Steffen, Direktor

Avant-propos

Le paysage agricole a changé de façon visible au cours des dernières décennies. La poussée démographique et les prétentions croissantes de l'individu en terme d'espace ont provoqué l'éclosion spontanée de zones d'habitation dans le paysage, empiétant ainsi sur les petites parcelles proches des villages et sur les vergers d'arbres fruitiers haute tige. Parallèlement, la forêt s'est étendue dans des régions périphériques éloignées, au détriment de la surface agricole utile. Mais les agriculteurs eux aussi ont contribué au changement du paysage agricole. Les causes principales sont la modernisation et l'intensification des moyens de production. Toutes ces transformations ont rendu le paysage plus monotone, ont conduit à un recul de la faune et de la flore sauvages, ainsi qu'à une augmentation des apports d'éléments fertilisants dans les eaux de surfaces et les nappes phréatiques.

Depuis le début des années 1980, l'intensification démesurée de la production agricole est de plus en plus souvent remise en question. Dans le cadre de sa mission de multifonctionnalité, l'agriculture se doit à l'heure actuelle de produire des denrées alimentaires saines, de la manière la plus économique possible, tout en protégeant et en entretenant les ressources naturelles. Elle se doit enfin de conserver au paysage sa vocation d'espace naturel et d'espace de détente. Pour pouvoir satisfaire les enjeux d'une telle envergure, l'agriculture a besoin du soutien de la recherche.

Selon sa vision, la FAL-Reckenholz veut développer des systèmes agricoles d'avenir qui permettent d'améliorer la multifonctionnalité de l'agriculture. Pour y parvenir, la recherche doit s'appliquer à l'échelle de la parcelle, de l'exploitation et du paysage agricole. La conférence FAL 2004 est consacrée à la recherche à l'échelle du paysage agricole. Les exposés traitent de questions touchant les domaines du paysage, de la biodiversité, du régime hydrique, du bilan des matières ainsi que de l'exploitation des sols. Ils offrent ainsi un aperçu des projets régionaux et européens. Nous espérons que cette conférence pourra donner un nouvel élan à l'exploitation et à la configuration du paysage agricole.

Zurich-Reckenholz, janvier 2004

A handwritten signature in blue ink, consisting of several loops and a long horizontal stroke at the end.

Paul Steffen, directeur

Programm

- 09.30 **Ankunft, Registrierung**
- 09.45 **Begrüssung**
Paul Steffen, Direktor, FAL Reckenholz
- 10.00 **Agrarlandschaft im Wandel**
Karl Martin Tanner, Eidg. Technische Hochschule (ETH), Zürich
- 10.30 **Landscape Structure, Intensity of Agricultural Land-Use and Biodiversity: Connections along a European Gradient**
Debra Bailey, FAL
- 11.00 **Pause**
- 11.30 **Quelles biodiversités pour les paysages agricoles?**
Jacques Baudry, Institut National de la Recherche Agronomique (INRA), Rennes/F
- 12.00 **Möglichkeiten und Grenzen von Agroforstwirtschaft in Europa**
Yvonne Reisner, Felix Herzog, FAL
- 12.30 **Mittagessen**
- 13.50 **Wasser- und Stoffhaushalt in Abhängigkeit von Landnutzung und Landschaftsstruktur: Modellierung, Szenarien und Bewertungsansätze**
Rudolf Krönert, Umweltforschungszentrum (UFZ), Leipzig/D
- 14.20 **Regionale Unterschiede in den Phosphor- und Stickstoffeinträgen aus der Landwirtschaft in die Gewässer**
Volker Prasuhn, FAL
- 14.50 **Pause**
- 15.20 **Simulation der Bodenfeuchte im Schweizer Agrarraum unter heutigen und zukünftigen Klimabedingungen**
Karsten Jasper, FAL
- 15.50 **Ökonomische Optimierung: Ein geeignetes Instrument zur Modellierung ökologischer Effekte der Landnutzung?**
Christian Flury, Eidg. Technische Hochschule (ETH), Zürich
- 16.20 **Schlussdiskussion**
- 16.30 **Ende der Tagung**

Programme

- 9h30 Arrivée, enregistrement
- 9h45 Accueil
Paul Steffen, Directeur, FAL Reckenholz
- 10h00 Agrarlandschaft im Wandel
Karl Martin Tanner, Ecole polytechnique fédérale (EPF), Zurich
- 10h30 Landscape Structure, Intensity of Agricultural Land-Use and Biodiversity:Connections along a European Gradient
Debra Bailey, FAL
- 11h00 Pause
- 11h30 Quelles biodiversités pour les paysages agricoles?
Jacques Baudry, Institut National de la Recherche Agronomique (INRA), Rennes/F
- 12h00 Möglichkeiten und Grenzen von Agroforstwirtschaft in Europa
Yvonne Reisner, Felix Herzog, FAL
- 12h30 Repas de midi
- 13h50 Wasser- und Stoffhaushalt in Landschaften in Abhängigkeit von Landnutzung und Landschaftsstruktur: Modellierung, Szenarien und Bewertungsansätze
Rudolf Krönert, Centre de recherches environnementales (Umweltforschungszentrum, UFZ), Leipzig/D
- 14h20 Regionale Unterschiede in den Phosphor- und Stickstoffeinträgen aus der Landwirtschaft in die Gewässer
Volker Prasuhn, FAL
- 14h50 Pause
- 15h20 Simulation der Bodenfeuchte im Schweizer Agrarraum unter heutigen und zukünftigen Klimabedingungen
Karsten Jasper, FAL
- 15h50 Ökonomische Optimierung: Ein geeignetes Instrument zur Modellierung von ökologischen Effekten der Landnutzung?
Christian Flury, Ecole polytechnique fédérale (EPF), Zurich
- 16h20 Discussion finale
- 16h30 Fin de la conférence



Blick vom Wisenberg (BL), in der Nähe des Unteren Hauensteinpässes, Richtung Südwesten, Region Belchenflue, Geissflue (vgl. Tanner 1996), 1813 (Ausschnitt aus einem Panorama von Samuel Birmann, Museum Baselland, Liestal), oben; 1990 (Ausschnitt aus einem Panorama von Peter Schmid-Ruosch, Museum Baselland, Liestal), unten.
Abbildung 1

Agrarlandschaft im Wandel

Karl Martin Tanner

Veränderungen in der Art der Bewirtschaftung landwirtschaftlicher Nutzflächen sowie Meliorationseingriffe führen laufend zu Veränderungen des Landschaftsbilds. Dieser zumeist schleichende Landschaftswandel wird hier mit Hilfe der Bildpaar-Methode aufgezeigt. Die Bewirtschafter sind sich noch nicht immer und überall ihrer grossen Verantwortung als Landschafts-Gestalter bewusst. Welche Landschaft die Gesellschaft in Zukunft wünscht, sollte vermehrt Gegenstand intensiver Diskussionen werden.

Der Begriff Agrarlandschaft ist in der Schweiz in erster Linie eine Sammelbezeichnung für jene 37% der Landesfläche, welche landwirtschaftlich genutzt werden. Indirekt weist er aber auch auf die Tatsache hin, dass die Landwirtschaft nicht nur Nahrungsmittel produziert, sondern auch Landschaft. Würde der Mensch nicht regelmässig Gras mähen, Vieh zur Weide treiben und Äcker bestellen, hätte die Schweiz ein ganz anderes Gesicht. Die Bewirtschafter überformen laufend die durch geomorphologische Prozesse entstandene grobe Grundstruktur des Geländes mit einer Feinstruktur. Sie verleihen dem Gesicht jeder Landschaftskammer gleichsam die Züge eines Individuums. Landschaftsprägend sind ausserdem viele Aktivitäten, welche der Bodenverbesserung und Rationalisierung der landwirtschaftlichen Betriebsabläufe dienen.

Anhand von mehrheitlich aus dem Kanton Baselland stammenden Beispielen wird im Folgenden nach Eingriffen gesucht, welche in der Vergangenheit die erwähnte Individualität der Agrarlandschaft und damit das Landschaftsbild besonders «augenfällig» (ins Auge fallend) verändert haben. Biodiversitäts-Aspekte stehen ausnahmsweise nicht im Vordergrund. Methodisch kommt der Analyse von historischen Bildern eine besondere Bedeutung zu.

Karl Martin Tanner
Natur- und Landschaftsschutz,
Departement UMNW,
ETH Zentrum
HG FO 21.2,
8092 Zürich



Wandel bei der Verteilung Wald – Offenland

Ein Blick vom Wisenberg auf den Faltenjura zeigt, dass um 1800 nur etwa die Hälfte des heute bewaldeten Areals von Wald bedeckt war (Bildvergleich in Abb. 1). Der offenere Charakter der Landschaft hatte mehrere Ursachen. Sehr viele Wälder wurden damals nicht nur forst-, sondern auch landwirtschaftlich als sogenannte Waldweiden genutzt. Dadurch wurde das Aufkommen des Jungwuchses stark beeinträchtigt. Gleichzeitig war der Nutzungsdruck auf die Ressource Holz sehr gross, da noch kein anderer Brennstoff zur Verfügung stand (Tanner 1996). Ausserdem war die Grenze zwischen dem Wald und dem Offenland vor der eidgenössischen Forstgesetzgebung (1876 und 1902) an vielen Orten nicht fest definiert.

Dass aber auch heute noch die Perimeter der Waldflächen Wandlungen unterworfen sind, kann zum Beispiel in den grossen aufgelassenen Weidearealen im Alpenraum beobachtet werden. Die Nutzungsaufgabe führt dort zu einem Vordringen des Waldes und damit zu einer einschneidenden «Umkrempelung» der Landschaft (Bundesamt für Statistik 2001).



Verschwinden von Bünthen durch Überbauung, Bubendorf (vgl. Tanner 1999), um 1915 (?)
(Foto: K. Lüdin, Fotoarchiv Druckerei Lüdin AG, Liestal), oben; am 3.5.1989 (Foto: F. Gysin, Mikrofilmstelle des Kantons Basel-Landschaft, Liestal), unten.
Abbildung 2

Ausdehnung der Siedlungsfläche auf Kosten der Bünthen

Ein Vergleich der beiden Fotografien in Abbildung 2 zeigt gleich zwei Phänomene: Zum einen wurden und werden durch das Wachsen der Siedlungsräume laufend landwirtschaftliche Nutzflächen «verzehrt». Dies ist ein praktisch irreversibler Vorgang. Zum anderen zeigt das ältere Bild ein einst weit verbreitetes Element der Agrarlandschaft, nämlich die Zone der kleinen Äcker oder Bünthen, die der Selbstversorgung der Dorfbewohner dienten. Die Bünthen lagen sinnvollerweise in unmittelbarer Nähe der Dörfer. Als die Gemeinden im Zuge der Raumplanung Bauzonen ausschieden, legten sie diese sehr oft genau in den Bereich der Bünthen. Damit ist ein sehr vielfältiges Landschaftselement ziemlich gedankenlos fast vollständig zum Verschwinden gebracht worden (Tanner 1999).

Meliorationsmassnahmen und ihre Folgen

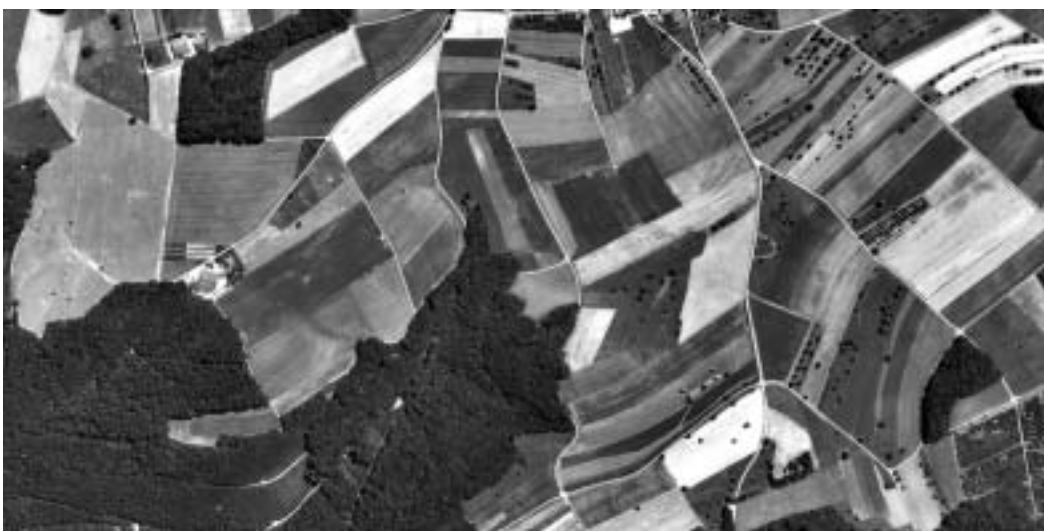
Meliorationsmassnahmen haben – besonders in den vergangenen fünfzig Jahren – einschneidende Veränderungen in der Agrarlandschaft zur Folge gehabt. Als Beispiele sollen im Folgenden landschaftliche Veränderungen durch Güterzusammenlegungen, durch die Eliminierung von Kleinstrukturen und durch die Errichtung landwirtschaftlicher Bauten mit Bildern dokumentiert werden (Tanner 1999).

Güterzusammenlegungen

Durch Erbteilung ist der Grundbesitz während Generationen zerstückelt worden. Mit Güterzusammenlegungen wurde und wird das Land neu zu grossen Einheiten zusammen-



Agrarlandschaft vor und nach einer Güterzusammenlegung, Anwil (vgl. Tanner 1999), 1930 (Luftbild, swisstopo, Wabern), oben; am 11.7.1994 (Luftbild, swisstopo, Wabern), unten.
Abbildung 3



geführt, was eine rationellere Bewirtschaftung ermöglicht. Die dadurch entstehenden Landschaftsveränderungen sind beträchtlich (Bildvergleich in Abb. 3).

Eliminierung von Kleinstrukturen

Kleinstrukturen sind meist punkt- oder linienförmige Landschaftselemente. Dazu gehören beispielsweise Mauern, Lesesteinreihen oder -haufen, Böschungen, Hecken und Dolinen. Häufig haben sie eine lange Geschichte. Sie bereichern die Landschaft in ihrer Summe optisch und sind wichtige Rückzugsorte für zahlreiche Tier- und Pflanzenarten. Im Rahmen von Rationalisierungsmassnahmen sind viele von ihnen oft unbemerkt und gleichsam «en passant» eliminiert worden (Abb. 4).

Neue landwirtschaftliche Bauten

Im Zuge von Gesamtmeliorationen sind an zahlreichen Orten Aussiedlerhöfe gebaut worden. Ausserdem entstehen zur Zeit – ausgelöst durch die veränderten Tierschutz-Vorgaben – viele neue Stallbauten. Sehr oft wird einer schonenden Integration der gros-

Letzte Spuren von wegmelioreierten Steinreihen und Hecken, Münstertal, Juni 1984 (Foto: K. M. Tanner, Seltisberg).
Abbildung 4





Früher war die Kirche das grösste Gebäude im Dorf... Schlecht in die Landschaft eingepasster Neubau eines Ökonomiegebäudes, Läuelfingen, 24.6.1999.

Abbildung 5 / K. M. Tanner, Seltisberg

Landschaft mit Hochstamm-Obstbäumen am 14.6.1996 und Simulation des Rückgangs der Bäume in drei Schritten, Arbodswil/Titterten.

Abbildung 6 / K. M. Tanner, Seltisberg, Fotomontage M. Kappeler, Röschenz

sen Baukörper in die Landschaft keine oder nur ungenügende Beachtung geschenkt, was zu Disharmonien führen kann (Abb. 5).

Änderungen bei den angebauten Pflanzen

Die Anteile von Acker-, Wies- und Weideland an der Landwirtschaftsfläche haben sich im Laufe der Zeit und je nach Wirtschaftslage immer wieder verschoben (Tanner 1999). Allein durch diese Veränderungen war das Landschaftsbild einschneidenden Wandlungen unterworfen. Daneben sind auch die angebauten Pflanzen von grosser optischer Bedeutung. Beispielsweise ist

es nicht unerheblich, ob ein Landschaftsausschnitt durch Gemüesfelder, Raps- oder Chinaschilflächen dominiert wird. Zwei weitere Beispiele sollen hier hervorgehoben werden:

Mais

Die starke Zunahme des Maisanbaus hat nach dem zweiten Weltkrieg grossen Teilen der Agrarlandschaft einen grundlegend neuen Stempel aufgedrückt. Nicht nur die Tier- und Pflanzendiversität, auch die optische Vielfalt hat eine Trivialisierung erfahren. In zahlreichen Geländekammern geht ausserdem jeweils in den Wochen vor der Ernte zunehmend die Fernsicht verloren.

Hochstamm-Obstbäume

Der Streuobstbau hat an den meisten Orten seine kommerzielle Bedeutung verloren. Tafelobst wird in landschaftsbildprägenden Intensivobstanlagen – meist in Niederstammkulturen – rationell erzeugt. In einigen Gebieten bestimmen aber Hochstamm-Obstbäume nach wie vor den Charakter der Landschaft. Mit dem Mittel der Fotomontage lassen sich die Folgen eines weiteren Rückgangs dieses Landschaftselements in mehreren Schritten visualisieren (Abb. 6).



Ausblick

Landschaft «fällt nicht vom Himmel», sondern wird laufend von Menschen (um)geformt. Im Bereich der Agrarlandschaft sind Landwirte und Kulturingenieure die wichtigsten Gestalter. Ihr Handeln wird wesentlich beeinflusst durch unterschiedliche externe Faktoren, die gar nicht so selten auch als «Modeerscheinungen» bezeichnet werden könnten. Insgesamt waren im 20. Jahrhundert in den Landwirtschaftsflächen Entwicklungen hin zu einem «Gesichts-Verlust», zu mehr Monotonie und zu weniger Diversität unverkennbar – was oben mit mehreren Abbildungen gezeigt wurde.

Um den Biodiversitäts-Schwund zu stoppen, sind in den letzten Jahren verschiedene Massnahmen im Rahmen des ökologischen Leistungsnachweises getroffen worden. Es kann bereits heute festgestellt werden, dass Buntbrachen, ausgedolte Bäche, neu gepflanzte Hecken, Ackerrandstreifen und weitere Vernetzungselemente an vielen Orten nicht nur ökologische, sondern auch optische Vielfalt in die offene Landschaft zurückgebracht haben. Welche Art von Vielfalt vorkommen soll, wird jedoch noch immer weitgehend von nur 5% der Bevölkerung – der Bauernschaft – allein definiert. Hier sollten wesentliche Neuerungen zum Tragen kommen: In Zukunft sollte die ganze Gesellschaft in partizipativen Prozessen Konsense über die anzustrebenden Landschaftszustände suchen (StremLOW *et al.* 2003). Dabei können Foto-Simulationen, wie sie zum Beispiel in Abbildung 6 gezeigt werden, hilfreich sein. Alle Einwohner einer Region sollten entscheiden, welches der auf den Bildern simulierten Gesichter «ihre» Landschaft erhalten muss – und welchen Preis sie dafür zu bezahlen gewillt sind.

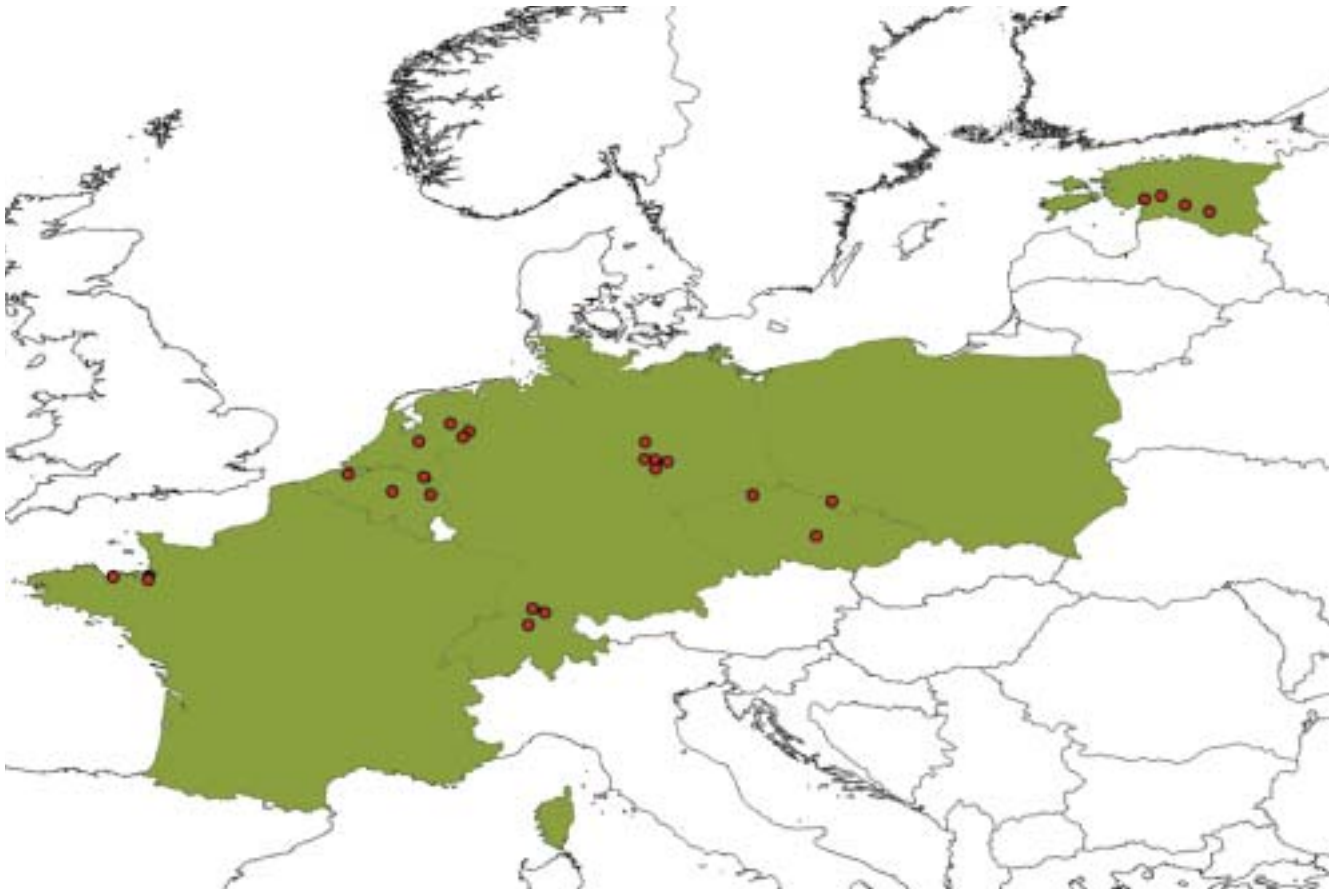
Literatur

- Bundesamt für Statistik, 2001. Bodennutzung im Wandel. Arealstatistik Schweiz. Neuenburg, 31 Seiten.
- StremLOW M., Iselin G., Kienast F., Kläy P., Maibach M., 2003. Landschaft 2020 – Analysen und Trends. Grundlagen zum Leitbild des BUWAL für Natur und Landschaft. Schriftenreihe Umwelt Nr. 352, BUWAL, Bern, 152 Seiten.
- Tanner K. M., 1996. Die Wisenberg-Panoramen von Samuel Birmann (1813) und Peter Schmid-Ruosch (1990). Begleittext zur gleichnamigen Mappe. Quellen und Forschungen zur Geschichte und Landeskunde des Kantons Basel-Landschaft 59, Liestal, 36 Seiten.
- Tanner K. M., 1999. Augen-Blicke. Bilder zum Landschaftswandel im Baselbiet. Quellen und Forschungen zur Geschichte und Landeskunde des Kantons Basel-Landschaft 68, Liestal, 264 Seiten.

Résumé

Paysage agricole en mutation

L'évolution du mode d'exploitation des surfaces agricoles utiles et les améliorations foncières modifient perpétuellement l'aspect du paysage. Ce changement de paysage, généralement insidieux, est mis en évidence ici à l'aide de couples de photos. Les exploitants ne sont pas encore toujours et pas partout conscients des lourdes responsabilités qui sont les leurs dans la configuration spatiale du paysage. Quel paysage la société souhaite-t-elle à l'avenir? C'est une question qui devrait faire l'objet de discussions intensives.



Location of test sites
across the European
Gradient.
Figure 1

Landscape Structure, Intensity of Agricultural Land-Use and Biodiversity: Connections along a European Gradient

Debra Bailey and Felix Herzog

The intensification of agricultural land-use combined with decreasing ecological infrastructure called 'greenveins' (e.g. hedgerows, permanent grassland, wetland habitats) has led to dramatic changes in our landscapes and is often associated with declines in biodiversity. As agricultural land-use dominates the European landscape, its potential impact on biodiversity is enormous. The examination of landscape structure and land-use intensity in conjunction with the biodiversity, yields clear trends across the European gradient. The results suggest that plant species are more sensitive to the amount of greenveins and the intensity of agricultural land-use, whereas the total numbers of birds observed are more responsive to the connectedness of greenvein habitats.

The intensification of agricultural land-use combined with decreasing ecological infrastructure called 'greenveins' (e.g. hedgerows, permanent grassland, wetland habitats) has led to dramatic changes in our landscapes and is often associated with declines in biodiversity (Wilson et. al. 1999). As agricultural land-use dominates the European landscape, its potential impact on biodiversity is enormous (Eurostat 1998). Of course not all changes in agricultural practice result in the same amount of biodiversity loss, and the loss effects are often delayed. Extinctions occur when the amount of habitat becomes critical or when isolated habitat patches are lost (Andren 1994, Thomas 2000).

In agricultural landscapes, many species seem to operate at similar spatial scales, suggesting the existence of a 'collapse threshold' (Halley and Lawton 1996). The EU funded project 'Vulnerability of biodiversity in the agro-ecosystem as influenced by green veining and land-

¹ www.greenveins.nl;
project duration
2001–2004

Debra Bailey
Felix Herzog
Eidgenössische
Forschungsanstalt
für Agrarökologie
und Landbau,
FAL Reckenholz,
CH-8046 Zürich

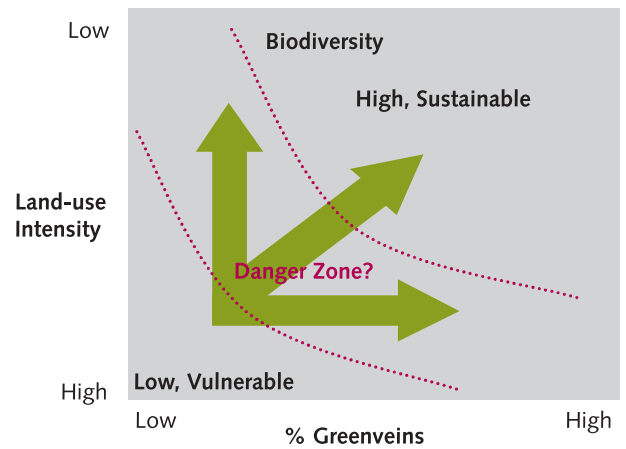
use intensity: Greenveins¹ is based on this hypothesis (Figure 2). A primary goal of the project is to describe the relationship between landscape change and biodiversity loss and to interpret the results in terms of vulnerability or sustainability. The results will be used to develop tools, assessment procedures and guidelines for biodiversity, landscape structure and land-use in agro-ecosystems.

European gradient of greenveining structures and land-use intensity

Twenty five landscape test sites of 5 x 5 km each were investigated across a European gradient (Figure 1). In each study area, data on biodiversity, landscape structure and land-use intensity were collected. The chosen sites represent a gradient of both greenveining structures and land-use intensity (Figure 3 a–e). Landscape structure was assessed with geo-referenced aerial photographs that were digitised according to a pre-defined habitat classification system adapted from the EUNIS habitat classification system of Europe. Landscape metrics were calculated using FRAGSTATS (McGarigal and Marks 1995) to quantify the structure of the study sites.

Questionnaires were used to ask farmers about their farming practice within the test areas. The examined indicators are outlined in Table 1. Approximately 10 randomly selected farmers were questioned at each site. Normalising the indicators and computing average values over all indicators for each study site yielded the 'Intensity Index'.

Representative species and species groups (vascular plants, nesting birds, arthropods) were sampled in random plot surveys to establish their presence and abundance. The resulting biodiversity data and the results of the landscape analyses are being examined for significant correlations. As the aim is to describe the relationship between biodiversity and changes in landscape, the observed effects are to be described through the construction of species decline curves. These will form the basis for interpretation in terms of vulnerability.



Schematic relationship between biodiversity, land-use and landscape structure with hypothetical 'danger zone' Figure 2



Gradients of greenveining vs. land-use intensity: intensively used landscapes with different shares of greenveining elements in central Germany (a, b) and Switzerland (c), extensively used landscapes with higher shares of greenveining in Estonia (d) and in Switzerland (e) Figure 3 / Frenzel (a), Augenstein (f), Schelske (c), Liina (d) and Csencsics (e)



Indicators for the intensity of agricultural management	
Indicator	Justification
Crop rotation: number of crops	A narrow crop rotation reduces the diversity of agricultural habitats and that of related fauna and flora; it can lead to increased pesticide use.
Crop rotation: percentage of intensive crops	Intensity will increase with the share of intensively managed crops (i.e. high fertiliser input).
Fertilisation: N-input to the two major crops	High nitrogen input to crops acts on the level of soil eutrophication and will affect the composition of the flora.
Fertilisation: animals	Increased density of animals leads to high nitrogen and phosphorous inputs and will affect the composition of the flora.
Pesticide use: number of pesticide applications for the two major crops	Pesticides have a direct effect on flora and fauna and aim at the reduction of their diversity.
Share of permanent grassland	Permanent grassland is generally more species rich than arable land; many arthropods use it for over wintering.
N-input to permanent grassland	Nitrogen input to grassland acts on the level of soil eutrophication and on the composition of the vegetation.
Water management: irrigated land	Active modifications of the water regime are generally followed by more intensive production in order to pay for the investment.

Table 1

Clear trends

The current results are preliminary. However, they show clearly that the study sites represent both a gradient in landscape structure and land-use intensity. In terms of the landscape structure, a high percentage of greenveins was not necessarily highly correlated with a high connectedness of greenveining habitats. Therefore, when assessing the overall impact of 'greenveining' it is important to consider both factors.

Land-use intensity varied strongly between the Belgian and Dutch sites, which were the most intensively used, and the Czech and some of the Estonian sites, in which the intensity of agricultural management was lowest. The French, Swiss and German sites ranked between those two extremes.

The examination of landscape structure and land-use intensity, in conjunction with the biodiversity, yielded clear trends across the European gradient. The results suggest that plant species are more sensitive to the amount of greenveins and the intensity of agricultural land-use, whereas the total numbers of birds observed are more responsive to the connectedness of greenvein habitats.

Outlook

The analyses to date have been undertaken on relatively simple landscapes. The project intends to examine increased landscape complexity in relation to particular species groups, functional species groups and metapopulations. By doing so we hope to identify suitable indicators that assess the level of land-use intensity and landscape structure plus indicate the landscapes potential for a sustainable biodiversity. Moreover, metapopulation functioning will be investigated based on surveys of particular species chosen to represent differences in spatial scale in the agro-ecosystem.

Literature

- Andren H., 1994. Effects of habitat fragmentation on birds, and mammals in landscapes with different proportions of suitable habitat: a review. *Oikos* 71, 355–366.
- Eurostat, 1998. European landscapes: farmers maintain more than half of the territory. Eurostat Statistics in focus. Agriculture, 10p.
- Halley J.M., Lawton J.H., 1996. The JAEP ecology of farmland modelling initiative: spatial models for farmland ecology: *Journal of Applied Ecology* 33, 435–438.

- McGarigal K., Marks B.J., 1995. FRAGSTATS. Spatial Analysis Program for Quantifying Landscape Structure. USDA Forest Service General Technical Report PNW-GTR-351
- Thomas C.D., (2000. Dispersal and extinction in fragmented landscapes. Proc. Royal Soc. Lond. Biol. 267, 139–145.
- Wilson J.D., Morris A.J., Arroyo B.E., Clark S.C., Bradbury R., 1999. A review of the abundance and diversity of invertebrate and plant foods of granivorous birds in northern Europe in relation to agricultural change. Agriculture, Ecosystems and Environment 75, 13–30.

Zusammenfassung

Landschaftsstruktur, Intensität der landwirtschaftlichen Produktion und Biodiversität: Zusammenhänge entlang eines europäischen Gradienten

Die Intensivierung der Landwirtschaft und der Rückgang halbnatürlicher Landschaftsstrukturen, sogenannter «Greenveins» (z.B. Hecken, Dauergrasland, Feuchtflächen), hat zu dramatischen Veränderungen unserer Landschaften geführt und wird oft mit der Abnahme an biologischer Vielfalt in Verbindung gebracht. Da Agrarlandschaften den grössten Teil des europäischen Kontinentes ausmachen, spielen sie eine sehr wichtige Rolle für die gesamte Biodiversität. Unsere Untersuchungen von Landschaftsstruktur, Intensität der landwirtschaftlichen Produktion und Biodiversität in über Europa verteilten Testgebieten ergab klare Trends und Zusammenhänge. So hängt die Anzahl Pflanzenarten vor allem von der Menge an «Greenveins» und der Intensität der Bewirtschaftung ab, während die Gesamtzahl von beobachteten Vögeln stärker mit der Vernetzung der «Greenveins-Habitate» korreliert.

Résumé

Structure du paysage, intensité de la production agricole et biodiversité: Interactions à l'échelle européenne

L'intensification de l'agriculture et le recul des surfaces semi-naturelles, appelées «Greenveins» (p. ex. haies, surfaces herbagères permanentes, surfaces humides), ont conduit à une mutation dramatique de nos paysages et sont souvent associés à la diminution de la biodiversité. Sachant que les paysages agricoles occupent la majeure partie du continent européen, ils jouent un rôle très important pour la biodiversité globale. Nos études de la structure du paysage, de l'intensité de la production agricole et de la biodiversité de zones-tests réparties dans toute l'Europe nous ont permis de dégager des tendances et des interactions très nettes. Ainsi, le nombre d'espèces végétales dépend avant tout du nombre de «Greenveins» et de l'intensité du mode d'exploitation, tandis que le nombre total d'oiseaux observés est plus étroitement lié aux réseaux des «Greenveins».



Paysage agricole
traditionnel
en Bretagne.
Figure 1

Quelles biodiversités pour les paysages agricoles?

Jacques Baudry

Le rapport entre agriculture et biodiversité a quelque chose de paradoxal. D'un côté, l'agriculture est une des causes majeures de perte d'espèces animales et végétales, notamment à cause des changements d'utilisation des terres qui accompagne son évolution, de l'autre son développement au cours des millénaires a permis une grande diversification de la faune et de la flore. S'interroger sur la gestion de la biodiversité dans les paysages agricoles, c'est poser trois questions: 1) le développement de cette biodiversité, 2) les relations entre les activités agricoles contemporaines et l'évolution de la biodiversité, enfin 3) quelles sont les options, en particulier au regard des demandes de la société?

Le développement de l'agriculture en Europe a entraîné la disparition de grandes surfaces forestières et, en conséquence, la disparition de nombreux grands mammifères. Il a aussi conduit à la création de nombreux nouveaux habitats pour la flore et la faune, habitats utilisés par des espèces venant le plus souvent du sud avec la remontée des plantes domestiques comme les céréales. Même si de nombreux travaux de recherche portent sur les effets de la fragmentation forestière, donc la disparition des espèces inféodées à ces habitats, les mesures agri-environnementales portent le plus fréquemment sur les espèces prairiales ou les espèces messicoles. Les premières sont liées à des milieux herbacés permanents, peu fertilisés et menacées par l'abandon, donc la colonisation par des ligneux qui les privent de lumières ou par la mise en culture. Les secondes disparaissent sous l'effet des herbicides et du changement des modes de culture.

Les paysages agricoles dits traditionnels (qui ont prévalu jusqu'au milieu du XX^{ème} siècle) sont caractérisés par une grande hétérogénéité de milieux et, surtout, par une variation graduelle de cet ensemble de milieux, de la forêt à la pâture à la culture (figure 1). Cette diversité de milieux résultait des conditions environnementales (climat, relief, sol) et de la nécessité de pro-

Jacques Baudry
INRA, 65,
rue de St. Brieuc,
F-35042 Rennes cedex

duire une diversité de produits animaux et végétaux pour l'alimentation, l'habillement, le chauffage etc. Les clôtures (murs, haies) et les aménagements divers (fossés de drainage ou d'irrigation) ont largement contribué à diversifier les paysages. Ce sont souvent, actuellement, des refuges pour de nombreuses espèces. Ce sont aussi des éléments qui «font» la valeur culturelle des paysages européens.

Un autre fait historique doit être pris en compte, il s'agit du transfert de nutriments liés aux activités humaines. Le pâturage avec enclos nocturne avait pour but de fertiliser les terres cultivées. Des nutriments étaient pris des zones de pacages pour être transférés, via les animaux, sur les jachères. Le foin, la pratique de l'étrépage des landes sont aussi des techniques qui ont, au fil des siècles modifié les conditions écologiques, accentué les contrastes trophiques entre les diverses parties des paysages, donc accru la diversité écologique.

Le rôle de ces paysages culturels dans le maintien de la biodiversité est essentiel, bien que l'histoire soit souvent omise des travaux sur la conservation des espèces en milieu agricole.

Les relations entre les activités agricoles et la biodiversité

L'analyse de ces relations est une activité de recherche intense depuis plusieurs décennies. L'accent a d'abord été mis sur l'effet direct de pratiques agricoles comme la fauche, le pâturage, la fertilisation (Paoletti et Pimentel 1992). Ces approches à une échelle fine permettent de dégager des modèles de réaction des espèces à ces techniques pour les prairies, les parcelles de cultures et surtout les bordures de champ qui ont été l'objet de nombreux programmes de recherche (Marshall *et al.* 2002).

Le développement de l'écologie du paysage (Burel et Baudry 1999) a ouvert de nouvelles perspectives en intégrant les effets de la mosaïque des cultures, des réseaux de bordures mais aussi la capacité de mouvement des différentes espèces. Cela donne une modélisation plus réaliste des dynamiques de la biodiversité puisque 1) les possibilités de déplacements des espèces d'une culture à l'autre sont prises en compte et 2) l'évaluation se fait sur un ensemble composite, le paysage, donc aux échelles de prise de décision des agriculteurs.

Cette évolution a eu des conséquences importantes pour la définition des politiques publiques. La mise en place de corridors écologiques aux niveaux nationaux et européens en découle directement, au moins dans le principe. Ceci est une rupture avec une approche de la protection des espèces par la création de réserves. Cependant, les données et les modèles permettant de prédire les évolutions des différentes composantes de la biodiversité en fonction de changements paysagers ou de pratiques agricoles sont encore rudimentaires. La question du poids respectif de ces pratiques et des structures paysagères reste peu traitée. Ceci peut être une des causes des difficultés des mesures agri-environnementales dont les conséquences sont parfois peu visibles (Kleijn *et al.* 2001).

Quelles biodiversités gérer?

Si les recherches en écologie fournissent des informations de plus en plus précises sur la dynamique de la biodiversité dans les paysages, la question du choix des objectifs de gestion reste, pour une large part, une question sociale.

Toutes les espèces ne peuvent pas être présentes simultanément dans un paysage. Comment faire des choix? Faut-il favoriser les espèces rares, patrimoniales, ayant un rôle dans la protection des cultures (Altieri 1999), dans le fonctionnement des écosystèmes?

Les instances participatives mises en place aux niveaux locaux, nationaux, européens doivent en débattre. Comment la recherche peut-elle participer à ces débats, avec les savoirs disponibles, en produisant de nouveaux savoirs?

On voit là que la question de la biodiversité ouvre de larges perspectives de recherche qui dépassent la compétence de l'écologue. Des disciplines comme l'histoire ou l'archéologie, les sciences sociales en général peuvent aider à progresser; d'autres comme toutes les sciences

agronomiques doivent aussi participer aux recherches, car elles permettent de réfléchir à la mise en œuvre des décisions de gestions mais, également, de mieux cerner les différences entre les paysages agricoles et les paysages non anthropisés (Bignal 1998).

Remerciements: Je remercie Félix Herzog de son invitation et le Ministère de l'Écologie et du Développement Durable pour son soutien (programme DIVA).

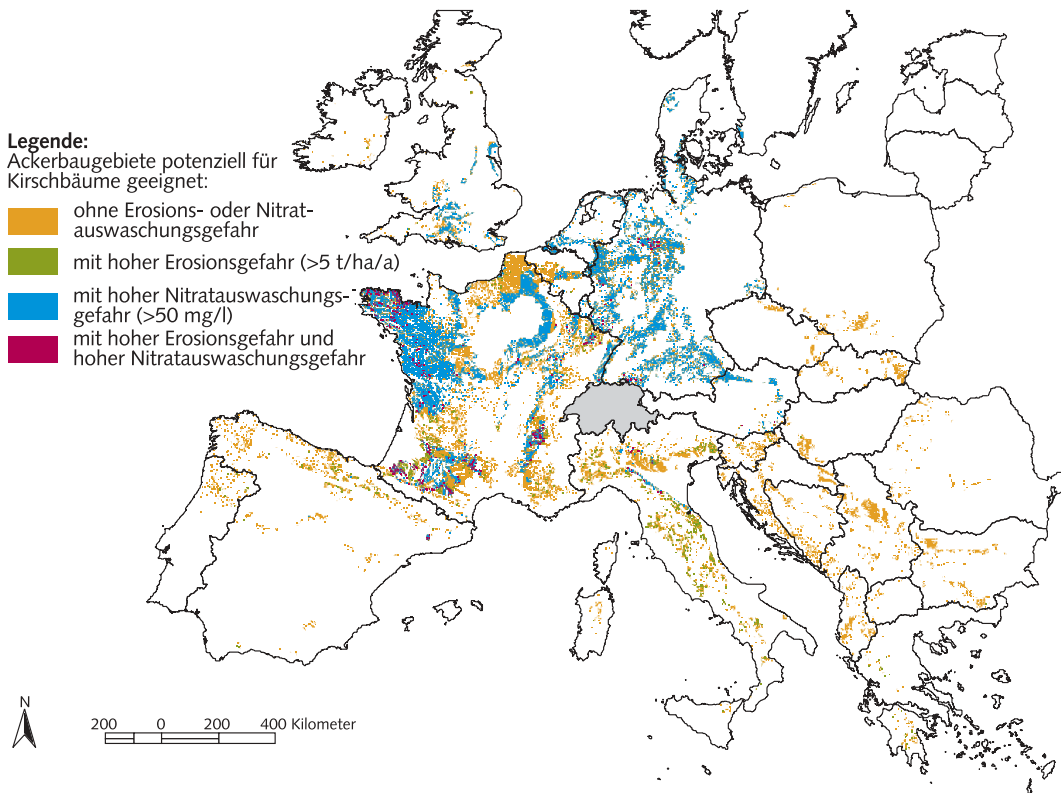
Références

- Altieri M.A., 1999. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 74, 19–31.
- Bignal E.M., 1998. Using an ecological understanding of farmland to reconcile nature conservation requirements, EU agricultural policy and world trade agreements. *Journal of Applied Ecology* 35(6), 949–954.
- Burel F., Baudry J., 1999. *Ecologie du paysage: concepts, méthodes et applications*. Paris, Lavoisier.
- Kleijn D., Berendse F., Smit R., Gilissen N., 2001. Agri-environment schemes do not effectively protect biodiversity in Dutch agricultural landscapes. *Nature* 413, 723–725.
- Marshall J., Baudry J., Burel F., Joenje W., Gerowitt B., Paoletti M.G., Thomas G., Kleijn D., Le Coeur D., Moonen A.C., 2002. Field boundary habitats for wildlife, crop, and environmental protection. In: *Landscape ecology in agroecosystem management*. L. Ryszkowski. Boca Raton, CRC Press, 219–247.
- Paoletti M.G., Pimentel D. (Eds.), 1992. *Biotic diversity in agroecosystems*. Amsterdam, Elsevier.
- Robinson R.A., Sutherland W.J., 2002. Post-war changes in arable farming and biodiversity in Great Britain. *Journal of Applied Ecology* 39, 157–176.

Zusammenfassung

Welche Artenvielfalten in den Agrarlandschaften?

Die Beziehung zwischen Landwirtschaft und Artenvielfalt ist etwas paradox. Einerseits ist die Landwirtschaft eine der Hauptursachen für den Verlust von Tier- und Pflanzenarten insbesondere wegen der Änderungen der Landnutzung aufgrund moderner Techniken und Strukturen. Andererseits erlaubte ihre Entwicklung im Laufe der Jahrtausende eine grosse Diversifizierung der Fauna und der Flora. Über den Umgang mit der Artenvielfalt in den Agrarlandschaften kann man drei Fragen stellen: 1) die Entwicklung dieser Artenvielfalt 2) die Beziehungen zwischen den zeitgenössischen landwirtschaftlichen Aktivitäten und der Evolution der Artenvielfalt, und schliesslich 3) welches sind die Optionen insbesondere im Hinblick auf die Anforderungen der Gesellschaft?



Ackerbaugelände mit potenzieller Eignung für die Integration von Kirschbäumen (*Prunus avium*) und deren Lage in Gefährdungszonen für Bodenerosion und Nitrat- auswaschung. Für die Schweiz wurden im Rahmen der Projekte PESERA und ELPEN die Gefährdungszonen für Bodenerosion und Nitrat- auswaschung nicht berücksichtigt. Diese sind in einem zukünftigen Arbeitsschritt zu berechnen. *Abbildung 1*

Möglichkeiten und Grenzen der Agroforstwirtschaft in Europa

Yvonne Reisner und Felix Herzog

Seit Jahren wird darüber diskutiert, wie der Schutz der natürlichen Ressourcen wie Boden, Wasser, Luft und Biodiversität in den Agrarlandschaften Europas verwirklicht werden kann. Durch die Verknüpfung der Direktzahlungen an die Landwirtschaft mit einem ökologischen Leistungsnachweis hat die Diskussion einen bedeutenden Aufschwung erhalten. Obwohl der Agroforstwirtschaft ein Potenzial zur Entlastung und Aufwertung der Agrarlandschaften zuerkannt wird, ist ihr Stellenwert in der agrarpolitischen Diskussion noch immer gering. Innerhalb eines EU-Projekts stellt sich die Frage, wo in Europa die Integration von Bäumen in bestehende Ackerflächen möglich und ökologisch sinnvoll wäre. Die bisherigen Untersuchungen haben gezeigt, dass die Agroforstwirtschaft in vielen Gebieten Europas einen Beitrag zur Reduktion von Nitrat- auswaschungen und der Bodenerosion leisten könnte.

Die Agroforstwirtschaft ist vor allem in tropischen Ländern weit verbreitet. Sie wird unter anderem zum Schutz der natürlichen Ressourcen propagiert. Die enge räumliche Durchmischung von Bäumen und Ackerkulturen kann zur Erosionsverminderung beitragen und die Auswaschung von Nährstoffen reduzieren (Nair 1993).

In Europa ist der Stellenwert der Agroforstwirtschaft hingegen gering. Während in tropischen Entwicklungsländern die nachhaltige Steigerung der Produktion im Vordergrund steht, sollen mit der Agroforstwirtschaft in Europa Agrarüberschüsse abgebaut und stattdessen hochwertiges Nutzholz produziert werden. Der Schutz der natürlichen Ressourcen ist aber überall von grosser Bedeutung (Gordon und Newman 1997, Herzog 1997).

Eine Abschätzung des Ertragspotenzials (Holzproduktion, Erträge der Ackerkulturen) und des Beitrags zum Ressourcenschutz sind unentbehrliche Entscheidungsgrundlagen sowohl für Landwirte, die Agroforstwirtschaft betreiben möchten, als auch für Entscheidungsträgerinnen und Entscheidungsträger, die Förderungsstrategien in der Agrarpolitik erarbeiten. Diese Informationen werden im EU-Projekt SAFE¹ (Silvoarable Agroforestry For Europe) erarbeitet.

¹ <http://www.montpellier.inra.fr/safe/>; Projektlaufzeit: August 2001 bis Januar 2005

Dr. Yvonne Reisner
Felix Herzog
Eidgenössische
Forschungsanstalt
für Agrarökologie
und Landbau,
FAL Reckenholz,
CH-8046 Zürich

Standortansprüche für das Anpflanzen von Kirschbäumen (<i>Prunus avium</i>)	
Kriterien	<i>Prunus avium</i>
Höhe über Meer	0–1700 m
Mittlerer Jahresniederschlag	650–1800 mm
Mittlere Jahrestemperatur	8–14°C
Mitteltemperatur des wärmsten Monats	<30°C
Mitteltemperatur des kältesten Monats	–20 bis –1°C
Klimazone	Keine Einschränkung
Bodentyp (FAO-Klassifizierung)	Cambisol, Chernozem, Rendzina, Lithosol, Fluvisol, Luvisol, Arenosol, Vertisol
Bodenart	Mittel bis fein
Bodenwasserhaushalt	Trocken bis halbtrocken
Boden pH-Wert	4,5–8
Bodenmächtigkeit	>1 m
Wasserkapazität	>100 mm
Grundwasserflurabstand	>200 cm

Tabelle 1

SAFE beschränkt sich auf die Kombination von Pinien (*Pinus pinea*), Nussbäumen (*Juglans nigra* und *Juglans regia*), Pappeln (*Populus* spp.), Steineichen (*Quercus ilex*) und Kirschbäumen (*Prunus avium*) mit einjährigen Ackerkulturen (Abb. 2, 3). Unser Beitrag zu diesem Projekt ist die Ausscheidung potenziell geeigneter Gebiete für die Agroforstwirtschaft in Ackerlandgebieten in Europa. Die Ausscheidung erfolgte auf der Basis von Standorteignung und Ressourcenschutz. Die Bewertung des Anbaupotenzials beruht auf zwei Analyseschritten:

1. Wo ist ein produktives Wachstum von Bäumen in agroforstlichen Systemen möglich?

Die Standortansprüche der Baumarten bezüglich Klima, Boden und Relief wurden aus einer umfangreichen Literaturstudie sowie einer Expertenbefragung abgeleitet (siehe Tabelle 1 für Kirsche). Als zentrale Informationsquelle diente das «Forestry Compendium» (CABI 2003). Die Klimadaten Europas wurden von Metzger *et al.* (2002) übernommen; die Bodenkenndaten stammen aus der europäischen Bodenkarte 1:1'000'000 (European Soil Bureau 2002). Über eine Relieffanalyse wurden Gebiete mit einer Hangneigung von weniger als 10% ausgewiesen und für jede Baumart die artspezifische Höhenlage berücksichtigt. Von den in Frage kommenden Gebieten wurden ausschliesslich die ackerbaulich genutzten Landschaften berücksichtigt. Dazu wurde die europäische Bodenbedeckungskarte PELCOM (Mücher *et al.* 1998) zu Hilfe genommen.

2. Wo macht Agroforstwirtschaft aus Sicht des Ressourcenschutzes Sinn?

Eine pauschale Forderung nach einer Umstellung von reinem Ackerbau auf Agroforstwirtschaft für die potenziell geeigneten Gebiete aus Analyseschritt 1 kann allerdings nicht gestellt werden. Vielmehr ist eine Abwägung einzelner Leitbilder erforderlich. Deshalb wurden Gebiete mit einer erhöhten Erosionsgefahr und Nitratauswaschung ausgeschieden. Als Bewertungsgrundlage für die Boden-erosion dienten die Karten aus dem Projekt PESERA² (Pan-European Soil Erosion Risk Assessment). Aus dem ELPEN-Projekt³ (European Livestock Policy Evaluation Network) konnten jene Räume bewertet werden, die anfällig für eine erhöhte Nitratauswaschung ins Grundwasser sind.

Baumreihen in Ackerflächen. England. Abbildung 2 / F. Herzog, FAL





Dehesa: traditionelles Agroforstsystem in Spanien. Haferanbau unter Stil- und Kork-eichen.

Abbildung 3 /
F. Herzog, FAL

Grosses Potenzial

Rund 65% der heutigen Ackerfläche Europas⁴ eignen sich für mindestens eine der fünf untersuchten Baumarten. Von dieser Ackerfläche weisen 5% Bodenabtragswerte von mehr als 5 Tonnen pro Hektare und Jahr auf und werden daher als hoch erosionsgefährdet eingestuft. Rund 28% gelten als empfindliche Zonen für die Nitratauswaschung.

Als Beispiel sind in Karte 1 diejenigen Ackerbauggebiete abgebildet, in welchen die Standortvoraussetzungen ein produktives Wachstum von Kirschbäumen erlauben. Dieses potenzielle Anbauggebiet umfasst eine Fläche von 278'000 Quadratkilometern. Das entspricht rund 15% der europäischen Ackerfläche, wobei sich das potenzielle Anbauggebiet grösstenteils auf die gemässigten Breiten beschränkt. Rund 7% dieser Flächen sind stark erosionsgefährdet; rund 30% weisen ein grosses Risiko für eine erhöhte Nitratauswaschung ins Grundwasser auf.

Bewertung der Landschaftsvielfalt

Agroforstwirtschaft in ackerbaulich genutzten Landschaften könnte insbesondere in Teilen der Bretagne und in Südwestfrankreich einen Beitrag zur Reduktion der Nitratauswaschung und der Bodenerosion leisten. Im Rheingraben zwischen Basel und Frankfurt würde eine Einführung der Agroforstwirtschaft in Ackerbaugebieten vor allem die Gefahr der Nitratauswaschung reduzieren. In Italien wäre die Umweltleistung vorwiegend beim Erosionsschutz zu sehen.

In weiteren Analyseschritten wird eine Bewertung der Landschaftsvielfalt vorgenommen. Ziel ist es, Gebiete auszuscheiden, in welchen eine stärkere Strukturierung der Landschaft durch die Agroforstwirtschaft den Biotopverbund stärken und den Zustand der Biodiversität verbessern könnte. Ausserdem wird eine ökonomische Machbarkeitsanalyse durchgeführt, die auf langfristigen Simulationen der Interaktionen zwischen Bäumen und Ackerkulturen beruht.

Literatur

CABI, 2003. Forestry Compendium. CAB International, Wallingford, UK.
European Soil Bureau, 2002. European soil database version 2.

² <http://pesera.jrc.it>

³ <http://www.mluri.sari.ac.uk/elpen>

⁴ Europa umfasst in dieser Studie die in Karte 1 eingezeichneten Länder (mit Skandinavien, ohne die Schweiz). Die Gesamtfläche beträgt rund 5 Millionen km², die Ackerfläche rund 2 Millionen km².

- Gordon A.M., Newman S.M. (Eds.), 1997. Temperate Agroforestry Systems. Oxon, New York, CAB International.
- Herzog F., 1997. Konzeptionelle Überlegungen zu Agroforstwirtschaft als Landnutzungsalternative in Europa. Zeitschrift für Kulturtechnik und Landentwicklung 38(1), 32-35.
- Metzger M., Bunce B., Jongman R., Múcher S., 2002. European Environmental Classification. A bioclimatic approach. Leaflet.
- Múcher C.A., Steinnocher K., Champeaux J.L., Griguolo S., Wester K., Loudjani P., 1998. Land Cover Characterization for environmental monitoring of pan-Europe. In: Proc. 18th EARSEL Symp. on Operational Remote Sensing for Sustainable Development, ITC, Enschede, 11-13th May 1998, pp 107-113.
- Nair P.K.R., 1993. An introduction to agroforestry. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 494 p.

Résumé

Possibilités et limites de l'agroforesterie en Europe

Depuis plusieurs années, on se demande comment protéger les ressources naturelles, comme le sol, l'eau, l'air et la biodiversité dans les paysages agricoles d'Europe. L'introduction des prestations écologiques requises en contrepartie des paiements directs versés à l'agriculture a donné un nouvel élan au débat. Bien qu'on reconnaisse à l'agroforesterie un potentiel pour soulager et valoriser les paysages agricoles, sa place dans les discussions de politique agricole est encore limitée. Dans le cadre d'un projet européen, la question de l'intégration des arbres dans les terres assolées en Europe a été posée. Où l'intégration est-elle possible et où apporte-t-elle une dynamique écologique? Les études réalisées jusqu'à présent ont montré que dans de nombreuses régions d'Europe, l'agroforesterie contribuait à réduire la lixiviation des nitrates et l'érosion des sols.



Löss-Agrarlandschaft
im Schwarzerde-
Gebiet bei Köthen
Abbildung 1

Wasser- und Stoffhaushalt in Abhängigkeit von Landnutzung und Landschaftsstruktur – Modellierung, Szenarien und Bewertungsansätze

Rudolf Krönert

Die Stickstofffracht der größeren Flüsse Deutschlands soll bis ins Jahr 2010 auf 3 mg/l Gesamtstickstoff gesenkt werden. Für intensiv genutzte Agrarlandschaften ist dieser Wert nicht erreichbar. Bei der Düngung müssen die Immissionen aus der Atmosphäre und die Direktaufnahme von Stickstoff durch die Pflanzen regional differenziert berücksichtigt werden.

In Deutschland kommen 73% des in die Oberflächengewässer gelangenden Stickstoffs aus der Landwirtschaft; der Rest stammt vor allem aus kommunalen Abwässern (Weber-Blaschke und van Wickeren 2001, Weber-Blaschke 2002). Der Stickstoffaustrag aus der Landschaft in die Meere erfolgt vor allem als Nitrat (NO_3^-) mit dem Wasser. Das Nitrat kann über verschiedene Eintragspfade in das Grund- und Oberflächenwasser gelangen. Die Umweltpolitik fordert, dass an den Pegeln aller grösseren Flüsse die Stickstofffracht bis 2010 auf 3 mg/l reduziert werden muss. Zur Zeit wird dieser Wert erst an 14% der Pegel erreicht¹. Am Unterlauf der Elbe, die auch die ostdeutsche Lössregion entwässert, beträgt die Stickstofffracht noch immer knapp 6 mg/l. Um die Umweltziele für Oberflächenwasser und für Grundwasser (50 mg/l NO_3^-) zu erreichen, sollte der Stickstoffbilanzüberschuss pro Hektare Agrarfläche aus wissenschaftlicher Sicht auf 50 kg/ha – auf durchlässigen Böden sogar auf 20–40 kg/ha – gesenkt werden (Nachhaltige Entwicklung in Deutschland 1998).

¹ <http://www.umweltbundesamt.de/dux/wa-inf.htm>

Lösslandschaften des Elbe-Einzugsgebietes

Lössregionen gehören zu den fruchtbarsten und intensiv genutzten Agrarlandschaften (Abb. 1). Das Studium des Wasser- und Stickstoffhaushalts in den Lösslandschaften des Elbe-Einzugsgebietes war während fünf Jahren Forschungsgegenstand in der Sektion Angewandte Landschaftsökologie des Umweltforschungszentrums Leipzig-Halle GmbH. Die Untersuchungen wurden in Zusammenarbeit mit Kooperationspartnern durchgeführt, darunter das Institut

Rudolf Krönert
Umweltforschungszentrum (UFZ),
Permoserstrasse 15,
D-04318 Leipzig

Klimatische und hydrologische Jahreskennwerte der Lössregion des Elbeeinzugsgebietes, gegliedert nach den Bodenverbreitungsgebieten (nach Kunkel und Wendland 1998)				
	Löss-Schwarz- erdegebiet	Sandlössgebiet	Löss-Parabraun- erdegebiet	Löss-Pseudo- gleygebiet
Niederschlag 1961 bis 1990 (mm)	<550	550–650	600–700	700–800
potenzielle Verdunstung (mm)	580–600	580–600	580–600	540–580
pflanzenverfügbares Bodenwasser (mm)	175–200	150–175	175–200	200–250
reale Verdunstung (mm)	<475	450–475	475–500	500–525
Gesamtabfluss (mm)	<100	100–150	150–200	200–300
Basisabfluss (mm)	<50	25–100	100–150	100–200
Direktabfluss (mm)	<50	25–100	50–75	50–100
Austauschfähigkeit des Bodenwassers/a	<0,5	0,5–1	0,5–1	1–2

Tabelle 1

für Acker- und Pflanzenbau der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg. Anlass der Forschungsaktivitäten war die Tatsache, dass der Stickstoffbilanzüberschuss pro Flächeneinheit zu überhöhten Austrägen von Stickstoff in das Oberflächen- und Grundwasser führt (Krönert *et al.* 2002).

Das Ziel unserer Untersuchungen bestand darin, den regional differenzierten, wassergebundenen Stickstofffluss in der Lössregion des Elbegebiets zu bestimmen und Strategien zur Senkung des Austrags in die Gewässer – ebenfalls regional differenziert – abzuleiten. Neben Daten aus Messungen an Lysimetern, aus Kleinst- und Kleineinzugsgebieten wurden auch Modellrechnungen für ein Kleineinzugsgebiet (Parthe ca. 360 km²), ein Teileinzugsgebiet (mittlere Mulde ca. 2700 km²) und die Teilräume der Lössregion verwendet. Einige Ergebnisse sind für intensiv genutzte Agrarlandschaften von allgemeiner Bedeutung und werden in diesem Beitrag dargestellt.

Tabelle 1 gibt einen Überblick über die klimatisch-hydrologische und bodengeographische Gesamtsituation der vier Teilregionen innerhalb der Lössregion. Im Sandlössgebiet dominieren je nach Dichte des Unterbodens Parabraunerden oder Staugleye. In den Teilregionen sind die Anbaustruktur und der Viehbesatz deutlich verschieden (vgl. Tabelle 2). Dies ermöglichte es uns, für jede Teilregion je einen virtuellen Betriebstyp zu konstruieren und Betriebsdaten sowie Merkmale des Stickstoffhaushalts zu berechnen.

Hoher geschätzter Nitratgehalt im Sickerwasser

Es wurden zwei Varianten für den Nitrataustrag und den Nitratgehalt im Sickerwasser berechnet (Tab. 2). Dieses Vorgehen ist auf die Unsicherheit bei der Bestimmung des Bilanzgliedes «Stickstoffimmission aus der Atmosphäre» bzw. «Direktaufnahme von Stickstoff aus der Atmosphäre durch die Pflanzen» zurückzuführen. Der diesbezügliche Diskussionsstand muss hier kurz skizziert werden. Für die Bundesrepublik Deutschland liegen flächendeckend für Ein-Quadratkilometer-Raster Daten für die Stickstoffdeposition für 1990 bis 1999 in Jahresdurchschnittswerten vor (Gauger *et al.* 1999, Gauger 2002). Diese Deposition setzt sich aus nasser, trockener und feuchter Deposition zusammen. Die Berechnung der nassen Deposition beruht auf Messungen mittels Bulk-Sammlern, die der trockenen und feuchten Deposition auf Modellrechnungen. Für 1998 schwankt die Gesamtdosition zwischen 7,7 kg/ha und Jahr und 143,4 kg/ha und Jahr bei einem Mittelwert von 28,4 kg/ha. Als Mittelwert für Landwirtschaftsflächen wurden 22,1 kg/ha und Jahr und für Mischwald 44,6 kg/ha und Jahr berechnet (Gauger 2002). Es gibt also eine grosse regionale Differenzierung der atmosphärischen Deposition. Schulz (2002) hat über Messungen der Stickstoffdeposition mittels Baumborken

Indikatoren zur Beschreibung der Modellbetriebe (Abraham und Reinicke 2001)					
Kennzahl	ME	Modellbetrieb			
		Schwarzerde (Cluster 9)	Sandlöss (Cluster 8)	Parabraunerde (Cluster 11)	Staugley (Cluster 12)
Standort					
Sickerwasser	mm	59,4	111,0	191,0	205,0
WMZ	d	25	28	19	21
Struktur					
Tierbesatz	GV/ha	0,28	0,45	0,62	0,67
Getreide	% AF	57,10	57,10	57,10	57,10
Hackfrüchte	% AF	23,80	19,00	14,30	14,30
Grünland	% LF	2,30	11,00	18,20	19,20
Ertrag, Leistung					
Winterweizen	dt/ha	84,5	65,0	69,9	65,0
Zuckerrüben	dt/ha	450,0	465,0	478,0	–
Winterraps	dt/ha	32,5	28,0	30,1	29,5
Stickstoffhaushalt					
N-Entzug (Hauptprodukt)	kg/ha	133,7	120,9	146,4	137,9
Mineral-N	kg/ha	116,3	108,2	103,6	111,2
Organischer-N	kg/ha	17,3	32,3	47,4	52,3
N-Fixierung	kg/ha	10,7	8,8	15,1	10,4
N-Saldo*	kg/ha	32,2	65,0	55,0	62,0
N-Saldo**	kg/ha	59,7	88,2	76,2	85,6
Umweltwirkungen					
Fruchtartendiversität	Index	1,75	2,05	2,07	1,98
Nitrataustrag*	kg/ha	8,30	32,90	43,10	45,60
Nitrataustrag**	kg/ha	17,30	46,00	55,20	64,40
Nitratgehalt Sickerwasser*	mg/l	62,0	131,30	100,00	98,50
Nitratgehalt	mg/l	128,90	183,60	128,00	139,20
Sickerwasser**	HE/ha	– 0,07	– 0,28	– 0,03	– 0,01
Humussaldo*	HE/ha	0,28	0,05	0,26	0,26
Humussaldo**	MJ/GE	159,20	170,30	154,80	184,90
Energieintensität					
Sozioökonomie					
DB Pflanzenproduktion	DM/ha	1461,0	1027,0	730,2	419,0
DB Tierproduktion	DM/ha	596,4	1121,8	1628,4	1602,0
DB Gesamt	DM/ha	2057,4	2148,8	2358,6	2021,0
Arbeitszeitbedarf	Akh/ha	17,3	26,5	26,6	29,2

* Unterstellung der N-Immissionen nach Gauger *et al.* (1999)

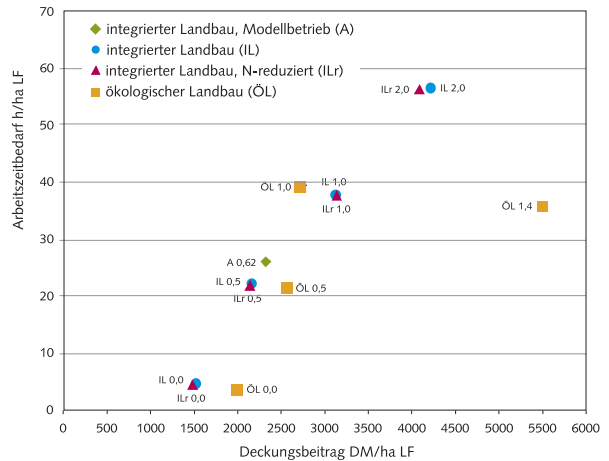
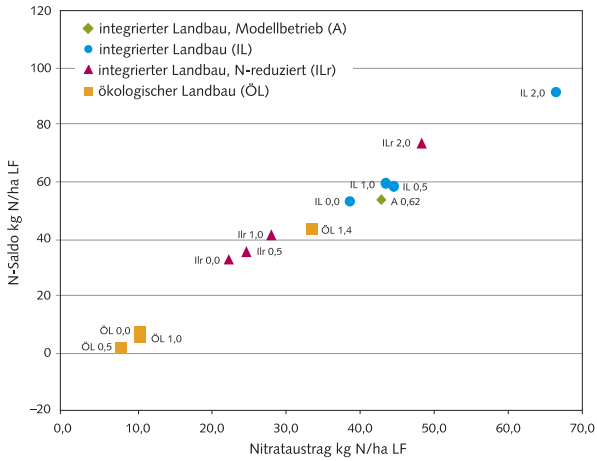
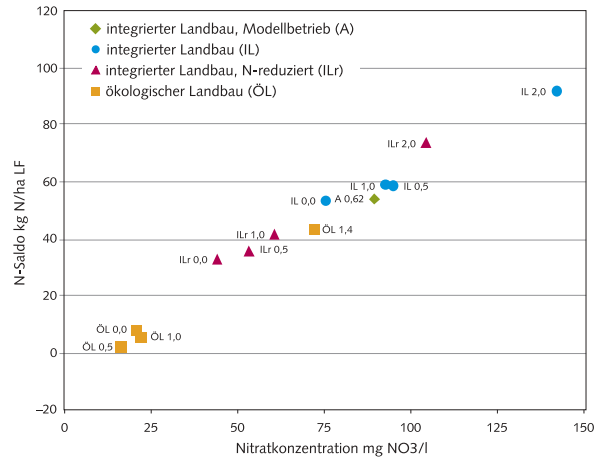
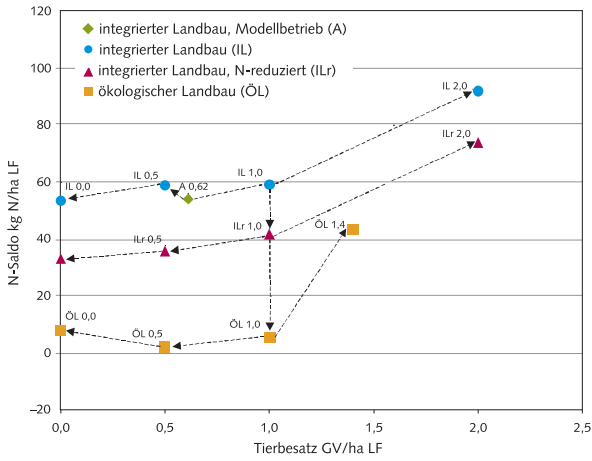
** Unterstellung der N-Immissionen nach Weigel *et al.* (2000), d. h. Werte nach Gauger *et al.* (1999) + 30 kg

AF = Ackerfläche, Akh = Arbeitskraftstunden, DB= Deckungsbeitrag, GE = Getreideeinheit, GV = Grossvieheinheit, HE = Humuseinheit, LF = Landwirtschaftsfläche, ME = Masseinheit, MJ = Megajoule, WMZ = wirksame Mineralisierungszeit

Tabelle 2

nachgewiesen, dass diese Differenzierung auch kleinräumig, beispielsweise in Abhängigkeit von der Lage der Tierställe, sehr gross ist. Die von Gauger *et al.* (1999) berechneten Werte für Landwirtschaftsflächen sind ganz offensichtlich zu niedrig angesetzt.

Es gibt Beweise dafür, dass Pflanzen Stickstoff auch über das Blatt aufnehmen. Auf den nicht gedüngten Nullparzellen des statischen Düngungsversuches in Bad Lauchstädt südwestlich von Halle wurden im Durchschnitt der Jahre 1959 bis 2002 52 kg/ha und Jahr Stickstoff aufgenommen, ca. 30 kg mehr als von Gauger für den Raum Bad Lauchstädt berechnet wurde. Weitere Dauerversuche in europäischen Ländern weisen für Nullparzellen ebenfalls mehr als 42 kg/ha und Jahr Stickstoffentzug auf. In Abhängigkeit von der Länge der Vegetationsperiode haben Kulturpflanzenarten in Bad Lauchstädt unterschiedliche Stickstoffmengen auf Nullparzellen aufgenommen: Kartoffeln 33, Sommergerste 35, Winterweizen 72 und Zuckerrüben 67 kg/ha und Jahr (Merbach und Körschens 2002). Die Ergebnisse der Bilanzrechnungen für Nullparzellen stimmen mit Direktmessungen der Stickstoffaufnahme durch Kulturpflanzen mittels ITNI-System (Integral Total Nitrogen Input) gut überein (Weigel *et al.* 2000, Böhme und Russow 2002). Bei Berücksichtigung der Direktaufnahmen von Stickstoff durch die Pflanzen von etwa 30 kg/ha steigen die geschätzten Nitratgehalte im Sickerwasser dramatisch an.



Bewertung der Betriebszenarien für das Parabraunerdegebiet anhand ökologischer und sozio-ökonomischer Indikatoren. Die Zahlen geben die Grossvieheinheiten pro Hektare an (Abraham und Reinicke 2001)

Abbildung 2

Wann werden Grenzwerte eingehalten?

Die 12 Szenariorechnungen pro Betriebstyp lassen erkennen, unter welchen Voraussetzungen bestimmte Grenzwerte (50 kg/ha Stickstoffbilanzüberschuss, 50 mg/l Nitrat im Sickerwasser, Sicherung des gegenwärtigen Betriebsergebnisses) über- oder unterschritten werden. Abbildung 2 zeigt für das Löss-Parabraunerdegebiet, dass alle drei genannten Grenzkriterien nur für die Szenarien «Integrierter Anbau» bei reduziertem mineralischen Stickstoffdünger plus 0,5 Vieheinheiten sowie für die drei Szenarien des ökologischen Anbaus mit 0,5, 1,0 oder 1,4 Vieheinheiten eingehalten werden. Den Bilanzrechnungen liegen die Stickstoffimmissionen nach Gauger *et al.* (1999) zugrunde. Im Schwarzerdegebiet erfüllen fünf Szenarien gleichzeitig die drei Grenzkriterien. Im Löss-Staugleygebiet und im Sandlössgebiet sind dies lediglich drei Szenarien des ökologischen Anbaus. Hier wird der Nitrataustrag in das Grundwasser bei 1,4 Vieheinheiten bereits zu hoch.

Hirt (2002) hat für einzelne Flächen im Einzugsgebiet der mittleren Mulde, das im wesentlichen zur Lössregion gehört, die Pfade der diffusen Stickstoffeinträge für zwei Zeiträume berechnet und zu einer Gesamtaussage zusammengefasst (Abb. 3). Diesem Ansatz liegen Immissionswerte nach Gauger *et al.* (1999) zugrunde. Die Grafik bedarf allerdings der Interpretation. Die in den 1980er Jahren deutlich höheren Austräge aus der Landschaft bzw. Einträge in die Gewässer entsprechen dem in den 1980er Jahren höheren Einsatz vor allem organischer Düngung aus der Viehhaltung. Wegen der langen Verweilzeit des Stickstoffs in Böden, Gestein und Aquifer dürften diese Werte den gegenwärtigen Austrägen nahe kommen. Vor allem der Rückgang der Viehhaltung nach 1990 führt zu einer deutlichen Minderung der berechneten Austräge. Dies dürfte einem zukünftigen Szenario entsprechen. Erkennbar ist, dass der Austrag ganz wesentlich über den Grundwasserpfad erfolgt. Der Austrag über die Drainagen ist bedeutend und kommt vor allem aus dem Staugleygebiet und dem Sandlössgebiet.

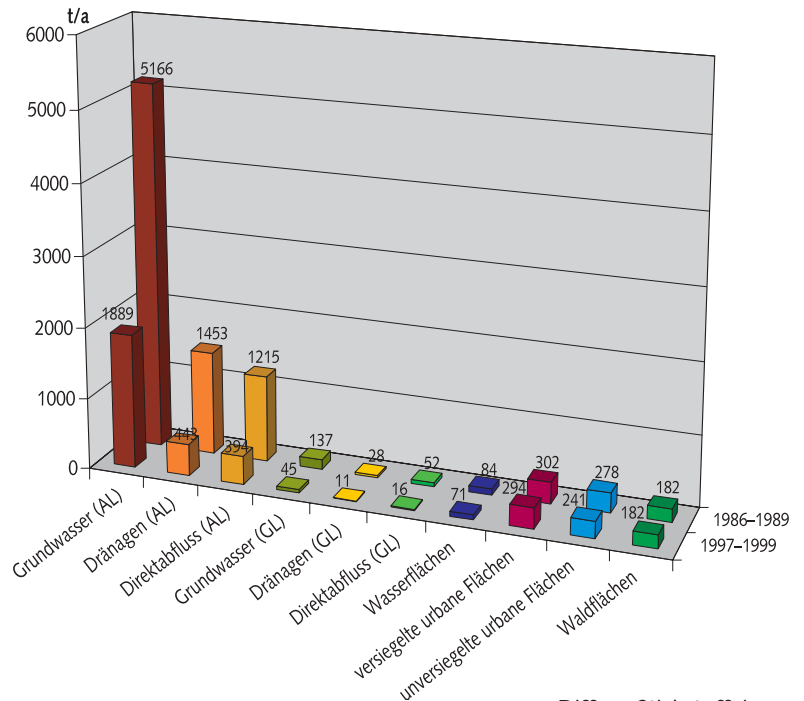
Schlussfolgerungen

Das Erreichen der Umweltziele für Gewässer hängt wesentlich von der Senkung der Stickstoffbilanzüberschüsse auf Agrarflächen ab. Das erfordert nicht nur eine geringere organische und mineralische Düngung, sondern auch die möglichst exakte Berücksichtigung der Immissionen aus der Atmosphäre und der Direktaufnahme von Stickstoff durch die Pflanzen. Unterstützt werden kann die Minderung des Austrags von Stickstoff in die Gewässer durch einen Rückbau von Drainagen (soweit vertretbar) und die stärkere Elimination von Stickstoff aus punktuellen Quellen in den Kläranlagen. Für die landwirtschaftlich intensiv genutzte Lössregion bleibt es dennoch unwahrscheinlich, dass das geforderte Umweltziel für Oberflächengewässer bis 2010 erreicht wird.

Die generellen Schlussfolgerungen, dass die Stickstoffeinträge aus der Atmosphäre und die Direktaufnahme von Stickstoff durch die Pflanzen regional differenziert und genauer berechnet sowie bei der Düngung gebührend berücksichtigt werden müssen, dürften allgemeingültig sein.

Literatur

- Abraham J., Reinicke F., 2001. Erstellung und Bewertung landwirtschaftlicher Betriebsszenarien für repräsentative Gebiete der mitteldeutschen Lößregion unter Anwendung des Modells REPRO. Verein zur Förderung einer nachhaltigen Landwirtschaft e. V. Halle, unveröff.
- Böhme F., Russow R., 2002. Formen der atmosphärischen N-Deposition und deren Bestimmung in Agrarökosystemen unter besonderer Berücksichtigung der ¹⁵N-Isotopenverdünnungsmethode (ITNI). In: Franko U. (Hrsg.): Stickstoff – ein Nährstoff aus dem Gleichgewicht. Ergebnisse aus dem Workshop «N-Deposition in Agrarökosystemen» vom 2. Bis 3. Mai 2002. Leipzig, UFZ-Bericht 16, S. 6–17.
- Gauger T., Anshelm F., Köble R., 1999. Kritische Luftschadstoff-Konzentrationen und Eintragsraten sowie ihre Überschreitung für Wald- und Agrarökosysteme sowie naturnaher waldfreie Ökosysteme. Forschungsvorhaben im Auftrag des BMU/UBA, FF-Nr. 10803079/29785079.
- Gauger T., 2002. Flächendeckende Kartierung der Gesamtdeposition von Stickstoff in Deutschland. In: Franko U. (Hrsg.): Stickstoff – ein Nährstoff aus dem Gleichgewicht. Ergebnisse aus dem Workshop «N-Deposition in Agrarökosystemen» vom 2. Bis 3. Mai 2002. Leipzig, UFZ-Bericht 16, S. 72–89.
- Hirt U., 2002. Regional differenzierte Abschätzung der Stickstoffeinträge aus punktuellen und diffusen Quellen in die Gewässer der mittleren Mulde. Diss. Frankfurt/Main.
- Krönert R., Franko U., Haferkorn U., Hülsbergen J. (Verantwortl. Bearbeiter), 2002. Gebietswasserhaushalt und Stoffhaushalt in der Lößregion des Elbegebietes als Grundlage für die Durchsetzung einer nachhaltigen Landnutzung. Abschlußbericht BMBF FKZ: 0339586, Leipzig, Halle, Dresden 31.03.2002 unveröff.
- Kunkel R., Wendland F., 1998. Der Landschaftswasserhaushalt im Flußgebiet der Elbe – Verfahren, Datengrundlagen und Bilanzgrößen. Analyse von Wasserhaushalt, Verweilzeiten und Grundwassermilieu im Flußeinzugsgebiet der Elbe (Deutscher Teil), Abschlußbericht Teil 1 (FKZ BMBF 07FIT014). Schriften des Forschungszentrums Jülich. Reihe Umwelt/Environment, Bd. 12.
- Merbach I., Körschens M., 2002. Die Nullparzellen des Statischen Düngungsversuches Bad Lauchstädt als Indikator für den atmosphärischen N-Eintrag. In: Franko U. (Hrsg.): Stickstoff – ein Nährstoff aus dem Gleichgewicht. Ergebnisse aus dem Workshop «N-Deposition in Agrarökosystemen» vom 2. Bis 3. Mai 2002. Leipzig, UFZ-Bericht 16, S. 46–56.
- Nachhaltige Entwicklung in Deutschland, 1998. Entwurf eines umweltpolitischen Schwerpunktprogramms, BMU, Bonn.



Diffuse Stickstoffeinträge in das Einzugsgebiet der mittleren Mulde. Jahresdurchschnitte 1982–1989 sowie 1997–1999 (Hirt 2002).
Abbildung 3

- Schulz H., 2002. Flächendeckende Erfassung von N-haltigen Depositionen mit Hilfe von Baumborken. In: Franko U. (Hrsg.): Stickstoff – ein Nährstoff aus dem Gleichgewicht. Ergebnisse aus dem Workshop «N-Deposition in Agrarökosystemen» vom 2. Bis 3. Mai 2002. Leipzig, UFZ-Bericht 16, S. 32–45.
- Weber-Blaschke G., van Wickeren P., 2001. Stickstoffbilanz in Deutschland, KA – Wasserwirtschaft, Abwasser, Abfall, 48, Nr.11, S.1551–1556.
- Weber-Blaschke G., 2002. Stickstoffflüsse im Bereich der Ver- und Entsorgung in Deutschland. Ergebnisse aus dem Arbeitsbericht des ATV-DVWK-Fachausschusses AK 9 «Stoffflüsse». In: Franko U. (Hrsg.): Stickstoff – ein Nährstoff aus dem Gleichgewicht. Ergebnisse aus dem Workshop «N-Deposition in Agrarökosystemen» vom 2. Bis 3. Mai 2002. Leipzig, UFZ-Bericht 16, S.57–71.
- Weigel A., Russow R., Körschens M., 2000. Quantification of airborne N-input in Long-Term Field Experiments and its validation through measurements using ¹⁵N isotope dilution. Z. Pflanzenernähr. Bodenk., 163, S. 261–265.

Résumé

Régime hydrique et bilan des matières dans les paysages en fonction de l'exploitation des sols et de la structure même du paysage: simulations, scénarios et ébauches d'évaluation

La charge en azote des principaux fleuves d'Allemagne doit être abaissée à 3 mg/l d'azote total jusqu'en 2010. Pour les surfaces agricoles intensives, cette valeur est impossible à atteindre. Lors de la fumure, les immissions atmosphériques et l'azote directement absorbé par les plantes doivent être prises en compte de manière différenciée suivant les régions.



Regionale Unterschiede in den Phosphor- und Stickstoffeinträgen aus der Landwirtschaft in die Gewässer

Volker Prasuhn

Zum Schutz unserer Gewässer ist es notwendig, die Phosphor- und Stickstoffeinträge aus der Landwirtschaft zu reduzieren. Um geeignete Massnahmen treffen zu können, müssen hydrologische Einzugsgebiete im Hinblick auf die Höhe der stofflichen Belastung und der Haupteintragspfade analysiert werden. Als Instrument haben sich sogenannte mesoskalige Emissionsmodelle bewährt, die unter Berücksichtigung der naturräumlichen Ausstattung eines Gebiets eine Analyse nach Eintragspfaden und Nutzungen ermöglichen und räumliche Belastungsschwerpunkte identifizieren. Am Beispiel der geographischen Regionen Alpen, Voralpen, Mittelland und Jura des Kantons Bern werden die Resultate von Modellberechnungen vorgestellt.

Die Vermeidung von Phosphor- und Stickstoff-Einträgen in die Gewässer ist für die nachhaltige Sicherung der Nutz- und Schutzfunktionen dieser Ökosysteme von zentraler Bedeutung. Entsprechende Anstrengungen werden nicht nur auf nationaler Ebene unternommen (Phosphor- und Stickstoff-Projekte nach Gewässerschutzgesetz Art. 62a, ökologischer Leistungsnachweis). Da Schadstoffe via den Rhein ins Meer transportiert werden und dort zur Überdüngung beitragen, ist die Schweiz z. B. im Rahmen der EU-Wasserrahmenrichtlinie und der Internationalen Rheinschutzkommission IKSR auch international tätig (Sieber 2003).

Um eine Reduzierung der diffusen Stoffeinträge (= vor allem Landwirtschaft sowie natürliche Hintergrundlast) in die Gewässer umsetzen zu können, sind detaillierte Kenntnisse über die Art der Eintragsquellen sowie die räumliche Verbreitung von Belastungsschwerpunkten notwendig. Auf dieser Grundlage können politische Entscheide getroffen und bewirtschaftungsspezifische Massnahmen eingeleitet werden. Deren Umsetzung erfolgt auf der Ebene der Betriebe oder der Parzelle durch die Landwirte.

In den letzten Jahren wurde eine Vielzahl von methodischen Ansätzen zur Bilanzierung diffuser Stoffeinträge in die Gewässer entwickelt, die sich bezüglich Vorgehen, Prognosegenauigkeit, Daten- und Rechenaufwand stark unterscheiden (Scheer 1999). Da Messungen in Gewässern (Immissionsverfahren) keine direkte Zuordnung der Herkunft von Stoffen zu den verschiedenen Verursachern erlauben, werden mesoskalige Emissionsverfahren¹ favorisiert.

Vier geografische Regionen (Alpen, Voralpen, Mittelland und Jura) mit typischer Landnutzung.
Abbildung 1 /
G. Brändle /
U. Kaufmann, FAL

¹ Mesoskalig: Flusseinzugsgebiete mittlerer Grösse (50–10'000 km²); Emissionsverfahren: Berechnung der verschiedenen Austräge und Verursacher (Emittenten) über die einzelnen Transportpfade (Direkteinträge, Erosion, Abschwemmung, Auswaschung etc.)

Volker Prasuhn
Eidgenössische
Forschungsanstalt
für Agrarökologie
und Landbau,
FAL Reckenholz,
CH-8046 Zürich

Charakteristische Kenngrößen der vier geographischen Regionen im Kanton Bern (inklusive hydrologisch angeschlossene ausserkantonale Anteile).				
	Alpen	Voralpen	Mittelland	Jura
Fläche (km ²)	2'945	1'328	1'656	612
Gebietshöhe (m.ü.M.)	1'728	845	526	955
Gebietsneigung (%)	27,7	13,8	4,3	16,2
Gebietsniederschlag (mm)	1'818	1'387	1'135	1'500
Gebietsverdunstung (mm)	403	549	577	504
Gebietsabfluss (mm)	1'416	838	558	996
Nutzung (%)				
• Wald	27	37	26	54
• Grasland	33	34	13	31
• Ackerland	0	22	39	10
• Siedlung	2	6	16	5
• unproduktiv	38	1	6	0
Drainierte Fläche (% von LN)	2	6	23	9
Hofdüngeranfall				
• Stickstoff (kg N/ha LN)	87	138	130	96
• Phosphor (kg P/ha LN)	13	22	21	15
LN = landwirtschaftliche Nutzfläche				

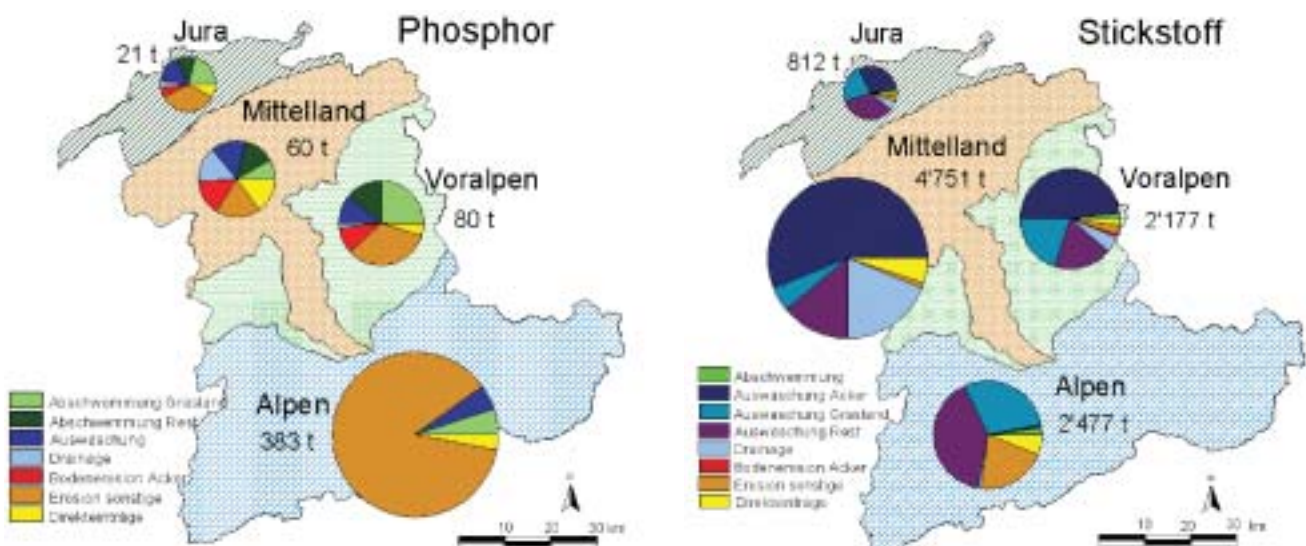
Tabelle 1

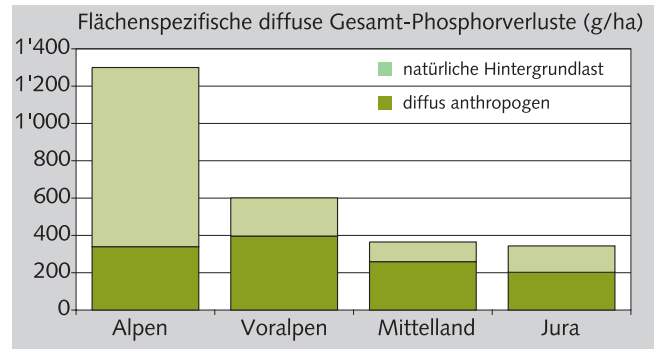
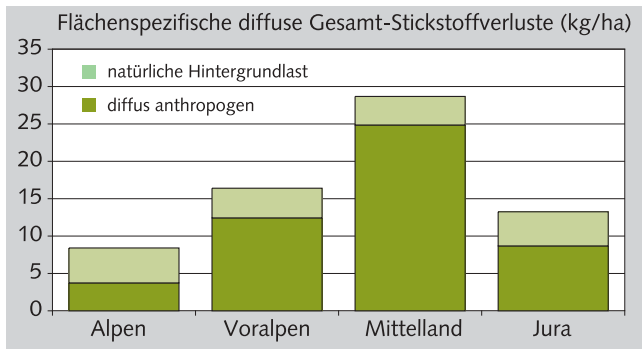
Das Modell MODIFFUS (Modell zur Abschätzung diffuser Stoffeinträge in die Gewässer) ist ein solches mesoskaliges Emissionsmodell (Prasuhn und Mohni 2003). Mit Hilfe des Modells können umfangreiche Naturraum- und Nutzungsinformationen digital aufbereitet und verknüpft werden. Auf der Grundlage von Resultaten aus Feldversuchen, Literaturrecherchen und mittels Expertenwissen werden die Wasser- und Stoffflüsse quantifiziert. Dabei werden Grössenordnungen von Stoffverlagerungen aufgezeigt und räumliche Eintragungsschwerpunkte gebiets-, nutzungs- und pfadbezogen lokalisiert. Der speziellen naturräumlichen Ausstattung unterschiedlicher Regionen wird dabei Rechnung getragen. Dies soll im Folgenden exemplarisch an einer Untersuchung im Kanton Bern (Prasuhn und Mohni 2003) aufgezeigt werden.

Unterschiedliche Naturräume – unterschiedliche diffuse Eintragungspfade

Die geographischen Regionen Alpen, Voralpen, Mittelland und Jura unterscheiden sich deutlich in ihrer naturräumlichen Ausstattung. Die Landnutzung ist an die einzelnen Naturräume weitgehend angepasst (Tab. 1). Die Alpen sind durch grosse Höhen, Hangneigungen, Niederschläge und Abflüsse gekennzeichnet. Entsprechend überwiegen unproduktive Flächen wie Felsgebiete und Gletscher. In den Voralpen herrscht neben einem hohen Wald-

Phosphor- und Stickstoff-Einträge aus diffusen Quellen in den geographischen Regionen des Kantons Bern, aufgeschlüsselt nach Haupteintragspfaden.
Abbildung 2





anteil vor allem Graslandnutzung vor. Und während im Mittelland die klimatischen Parameter und Reliefbedingungen eine intensive landwirtschaftliche Nutzung mit Ackerland ermöglichen, dominiert im Jura der Waldanteil.

Die verschiedenen Regionen zeigen deutliche Unterschiede bei der Herkunft der diffusen Stoffeinträge (Abb. 2). In den Alpen dominiert beim Phosphor eindeutig der Eintrag über die Erosion aus dem Verwitterungsmaterial vegetationsloser Flächen. In den Voralpen und im Jura ähneln sich die Eintragspfade. Neben den Einträgen über die Erosion spielt die Abschwemmung von Gülle aus dem Grasland eine wichtige Rolle. Im Mittelland sind dagegen alle Eintragspfade ähnlich stark gewichtet.

Beim Stickstoff überwiegt in den Alpen der Eintrag über die Auswaschung aus den Wald-, Fels- und Gletschergebieten, was auf deren hohen Flächenanteil zurückzuführen ist. In den Voralpen sind die Einträge aus der Auswaschung unter Ackerland sowie unter Grasland und Wald hoch. Im Mittelland dominiert neben den Verlusten aus Drainagen die Auswaschung unter Ackerland. Im Jura sind aufgrund des hohen Waldanteils die Auswaschungsverluste unter Wald bedeutend.

Flächenspezifische Phosphor- und Stickstoff-Verluste aus diffusen Quellen. *Abbildung 3*

Regional angepasste Massnahmenkonzepte

Beim Phosphor (P) stammen die mit Abstand höchsten Einträge mit 383 t P/Jahr oder 1'300 g P/ha und Jahr aus den Alpen. Der grösste Teil davon ist aber partikulärer Phosphor (87%). Dieser wird der natürlichen Hintergrundlast zugerechnet und trägt somit kaum zur Überdüngung der Gewässer bei. Die höchsten diffus anthropogenen Einträge werden mit knapp 400 g P/ha und Jahr in den Voralpen erzielt (Abb. 3). Sie stammen vorwiegend aus der Landwirtschaft.

Beim Stickstoff (N) stammen die mit Abstand höchsten diffusen Einträge mit 4'751 t N/Jahr oder 28,7 kg N/ha und Jahr aus dem Mittelland. Der hohe Anteil an Ackerland mit Auswaschungsverlusten von durchschnittlich 41 kg N/ha und Jahr sowie die grosse Zahl drainierter Landwirtschaftsflächen mit Verlusten von 44 kg N/ha und Jahr sind die Hauptursache für diese hohe Belastung. In den Alpen ist die Belastung mit 8,4 kg N/ha und Jahr dagegen am geringsten. Die natürliche Hintergrundlast beträgt in allen Regionen rund 4-5 kg N/ha und Jahr. Die vor allem aus der Landwirtschaft stammende diffus anthropogene Belastung ist im Mittelland mit 25 kg N/ha und Jahr mit Abstand am höchsten (Abb. 3).

Entsprechend der unterschiedlichen Belastungshöhen und Eintragspfade müssen für die vier geographischen Regionen regional angepasste Massnahmenkonzepte entwickelt werden. Beim Stickstoff muss der Schwerpunkt eindeutig bei der Verminderung der Nitratauswaschung unter Ackerland und den Drainageverlusten im Mittelland liegen, beim Phosphor bei der Verminderung der (Gülle-)Abschwemmung von Grasland in den Voralpen (Prasuhn *et al.* 1997). Mesoskalige Stoffflussmodelle wie MODIFFUS eignen sich durch die Berechnung von Landnutzungs- und Bewirtschaftungsszenarien als Prognoseinstrumente für die Abschätzung von Reduktionspotenzialen. Dies ist beispielsweise für Projekte nach dem Gewässerschutzgesetz Art. 62a (Prasuhn und Müller 2003) oder nach der EU-Wasserrahmenrichtlinie von gros-

ser Bedeutung. Auch bei der Wirkungskontrolle von Massnahmen können mesoskalige Stoffflussmodelle durch die Berechnung der Veränderungen von Nährstoffeinträgen über verschiedene Zeiträume wertvolle Dienste leisten (Prasuhn und Mohni 2003).

Literatur

- Prasuhn V., Mohni R., 2003. GIS-gestützte Abschätzung der Phosphor- und Stickstoffeinträge aus diffusen Quellen in die Gewässer des Kantons Bern. Interner Bericht FAL, Zürich, 250 S., www.reckenholz.ch.
- Prasuhn V., Müller K., 2003. GIS-gestützte Abschätzung der Phosphoreinträge aus diffusen Quellen in den Zugersee. Interner Bericht FAL, Zürich, 60 S., www.reckenholz.ch.
- Prasuhn V., Braun M., Kopse Rolli D., 1997. Massnahmen zur Verminderung der Phosphor- und Stickstoffverluste aus der Landwirtschaft in die Gewässer, dargestellt am Beispiel von 20 hydrologischen Einzugsgebieten im Kt. Bern. Amt f. Gewässerschutz u. Abfallwirtschaft Bern, 216 S.
- Scheer C., 1999. Bewertung verschiedener Verfahren zur Quantifizierung diffuser Nährstoffeinträge in Oberflächengewässer. DVWK-Materialien 5/99, Bonn, 90 S.
- Sieber U., 2003. Internationale Umweltabkommen und nationales Umweltrecht zur Begrenzung von Stickstoffeinträgen in die Gewässer. Schriftenreihe der FAL 43, 30–34.

Résumé

Différences régionales relatives aux apports de phosphore et d'azote rejetés par l'agriculture dans les eaux

Pour protéger nos eaux, il est nécessaire de réduire les apports de phosphore et d'azote issus de l'agriculture. Afin de prendre les mesures appropriées, il faut d'abord analyser les bassins hydrologiques pour connaître leur charge en substances et les principales voies de transport des polluants. Les modèles d'émissions dits méso-échelles se sont imposés comme instruments de travail. Ils tiennent compte de la configuration naturelle et spatiale d'un bassin et permettent d'effectuer une analyse par voie de transport et utilisation, afin d'identifier les points forts de la pollution dans l'espace. Les résultats de simulations sont présentés à partir de l'exemple de différentes régions géographiques : les Alpes, les pré-Alpes, le Plateau et le Jura du canton de Berne.



Trockenriss im Oberboden einer grasbewachsenen Wiese (Jens Leifeld, FAL).
Abbildung 1

Simulation der Bodenfeuchte im Schweizer Agrarraum unter heutigen und zukünftigen Klimabedingungen

Karsten Jasper

Für die Diskussion um die Auswirkungen der Klimaveränderung auf die Landwirtschaft sind Kenntnisse über die zukünftige Entwicklung der Bodenfeuchte von zentraler Bedeutung. In der vorliegenden Studie wurde die zeitliche und räumliche Variabilität der Bodenwasserverfügbarkeit im stark landwirtschaftlich genutzten Thurgau untersucht. Dazu wurden ein detailliertes Wasserhaushaltsmodell und verschiedene regionale Klimaszenarien verwendet. Die Simulationen erfolgten flächendifferenziert sowohl für historische (1981–2000) als auch für veränderte Klimabedingungen (2081–2100). Die Ergebnisse der Analyse zeigen, dass die Bodenfeuchte während der Vegetationsperiode zunehmend in für Pflanzen kritische Bereiche abfallen könnte.

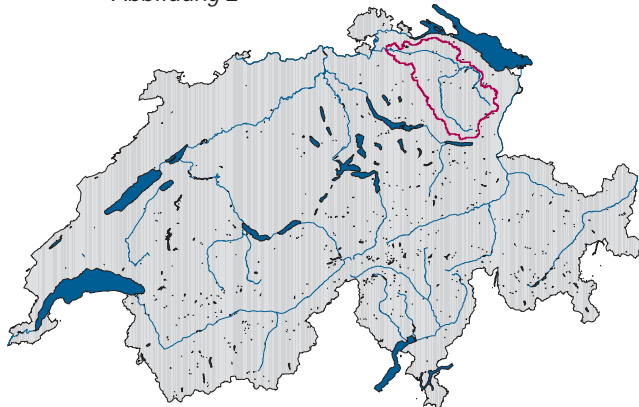
Bedroht der Klimawandel die Schweizer Landwirtschaft? Nach den enormen Dürreschäden des Jahrhundertsessers 2003 wird diese Frage noch intensiver diskutiert. Die Resultate wissenschaftlicher Untersuchungen zur weltweiten Klimaänderung deuten darauf hin, dass sich die Erdatmosphäre über der Schweiz rascher erwärmen wird als im globalen Durchschnitt und dass extreme Witterungserscheinungen gehäuft auftreten werden (OcCC 2002). Steigende Temperaturen und veränderte Niederschläge werden nicht nur den alpinen Wasserkreislauf beeinflussen (Schädler 2002), sondern auch erhebliche Auswirkungen auf die Landwirtschaft haben (Fuhrer 2002, Fuhrer *et al.* 2003). Die Frage nach der zukünftigen Entwicklung der regionalen Bodenwasserverteilung ist in diesem Zusammenhang von besonderer Bedeutung.

Regionale Klimaszenarien

Um diese Frage beantworten zu können, werden zunächst Klimaszenarien für einzelne Regionen der Schweiz benötigt. Im Rahmen dieser Studie wurden diese Szenarien für den Zeitraum von heute bis zum Jahr 2100 erarbeitet. Sie basieren auf den mit globalen

Karsten Jasper
Eidgenössische
Forschungsanstalt
für Agrarökologie
und Landbau,
FAL Reckenholz,
CH-8046 Zürich

Lage und Charakteristik des Thurgebietes (bis Pegel Andelfingen):
 Fläche (km²): 1700
 Höhengausdehnung (m üNN): 256–2505
 Mittlere Höhe (m üNN): 769
 Mittleres Gefälle (Grad): 9.1
 Vorherrschende Landnutzung: Grasland (36%)
 Vorherrschende Böden: Lehmböden (37%)
 Abbildung 2



Klimamodellen berechneten Druck- und Temperaturveränderungen über dem Nordatlantik und Europa. Diese Vorgaben wurden mit Hilfe eines statistischen Verfahrens auf die Schweiz übertragen (Gyalistras *et al.* 1994). Als Resultat stehen jeweils Monatswerte der Lufttemperatur und des Niederschlags zur Verfügung. Insgesamt wurden 18 der aktuellsten globalen Klimaszenarien regionalisiert («statistical downscaling») und als räumlich hochaufgelöste Datensätze im Fünf-Kilometer-Raster bereitgestellt.

Modell und Untersuchungsgebiet

Die Klimaveränderung führt in der Schweiz zu regional unterschiedlich ausgeprägten Veränderungen der Niederschläge und der Temperaturen. Diese können je nach den Annahmen der jeweiligen Klimasimulation (Emissionsszenario) und dem verwendeten

Klimamodell etwas anders aussehen. Die Folgen solcher Klimaveränderungen können beispielsweise mit Hilfe von hydrologischen Modellen weiterverfolgt werden. In dieser Studie wurde dazu das rasterbasierte Abfluss- und Wasserhaushaltsmodell WaSiM-ETH verwendet (Schulla und Jasper 2000). Dieses Modell ist eines der modernsten Instrumente für die prozessorientierte und flächenverteilte Simulation der hydrologischen Wasserflüsse in Einzugsgebieten.

Als Untersuchungsgebiet für die Modellanwendung wurde das 1700 Quadratkilometer grosse Flussgebiet der Thur gewählt (Abb. 2). Dieses überwiegend landwirtschaftlich genutzte Gebiet (57% Acker- und Grasland)

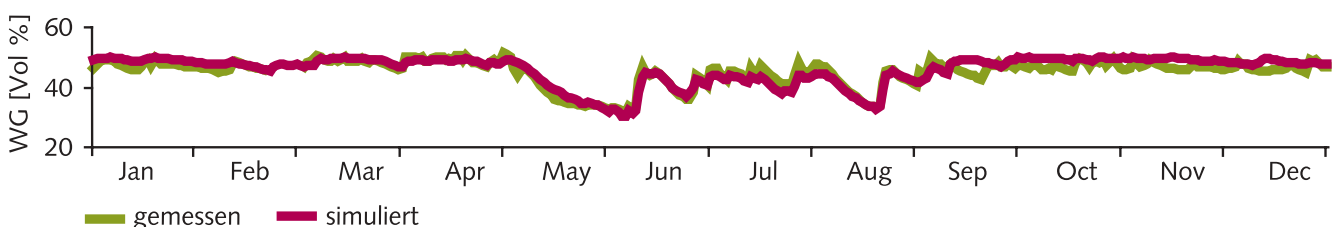
stellt aufgrund seiner komplexen Beschaffenheit (Morphologie, Landnutzung, Böden) ein ideales Testgebiet dar, um die Auswirkungen des Klimawandels auf den Bodenwasserhaushalt zu untersuchen.

Das Konzept der hydrologischen Modellanwendung sah kontinuierliche Simulationen für historische (1981–2000) und veränderte Klimabedingungen (2081–2100) vor. Alle Berechnungen erfolgten in Tagesschritten und im Ein-Kilometer-Raster. Für die Kalibrierung und Validierung des hydrologischen Modells wurden sowohl mehrjährige Abflussbeobachtungen der Thur als auch gemessene Bodenfeuchtedaten verwendet. Der Vergleich zwischen simulierten und beobachteten Daten zeigte eine generell gute Übereinstimmung (Abb. 3).

Kritische Feuchtezustände im Boden

Abbildung 4 zeigt die mittleren Änderungen der Temperatur und des Niederschlags für das Thurgebiet, wie sie aufgrund der regionalen Klimaprognosen für die Vegetationsperiode zu erwarten sind. Gegenüber dem Referenzklima (1981–2000) ist für den Zeitraum April bis September mit einer deutlichen Temperaturerhöhung zu rechnen. Je nach Szenario liegt die Temperaturerhöhung zwischen 1,0°C und 4,4°C. Die Prognosen für den Niederschlag sind dagegen weniger sicher. Einige Szenarien sehen eine Zunahme der Niederschlagsmenge, andere prognostizieren eine Abnahme. Die Skala der Prognosen reicht von –16% bis +19% oder von –125 mm bis +157 mm.

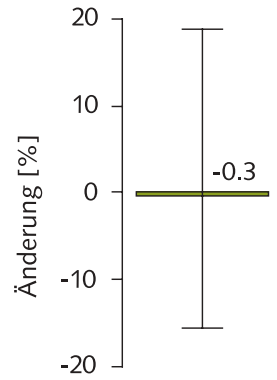
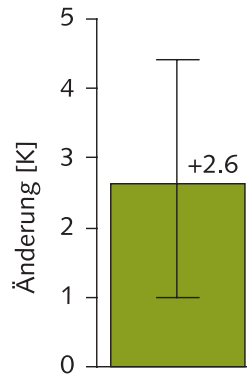
Bodenwassergehalt (BWG) in der Wurzelzone für den grasbewachsenen Lysimeterstandort Büel im Thurgebiet (Angaben in Volumenprozent).
 Abbildung 3



Höhere Temperaturen erhöhen den Verdunstungsanspruch der Atmosphäre und vergrößern den Transpirationssog in der Pflanze. Wird dieser erhöhte Transpirationsanspruch nicht in entscheidendem Masse durch das verfügbare Bodenwasser limitiert, wird die Pflanze mit einer verstärkten Wassernachlieferung aus dem Wurzelbereich reagieren.

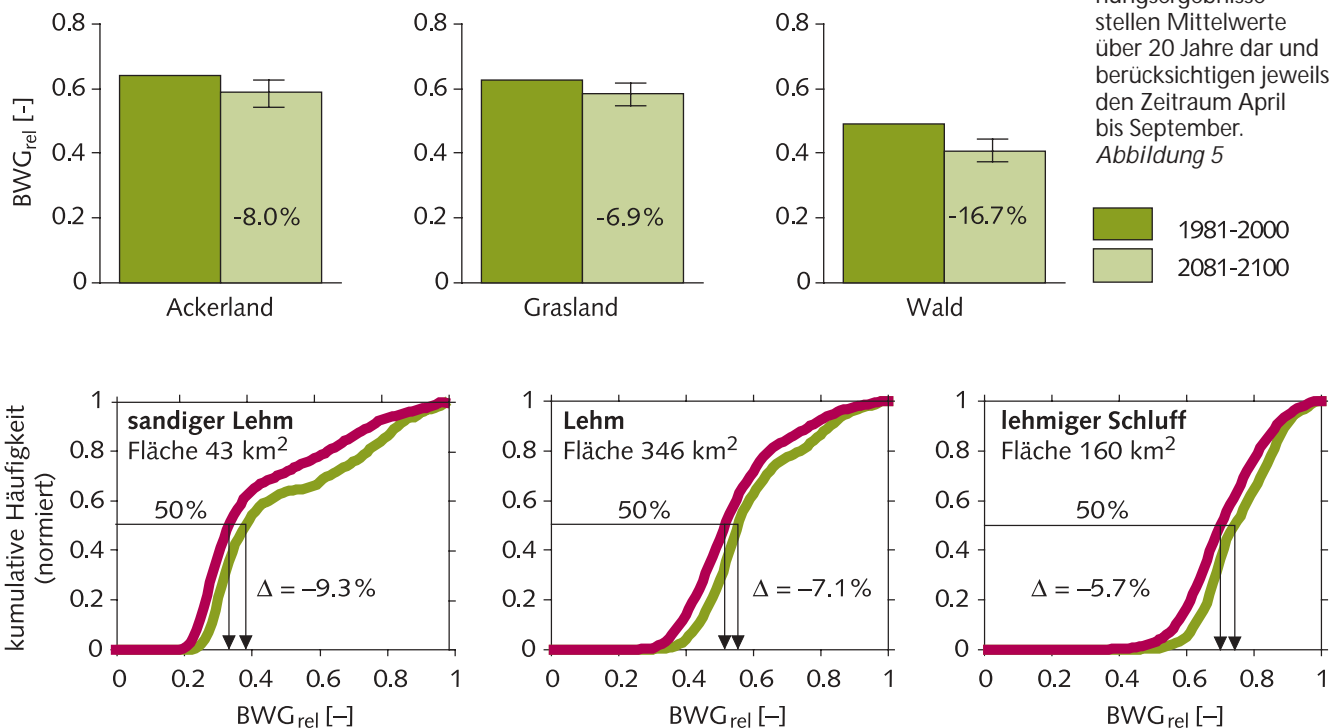
Die Modellexperimente unter veränderten Klimabedingungen stützen diese Aussage und zeigen für die Vegetationsperiode einerseits signifikant erhöhte Verdunstungsraten (Mittel über alle Szenarien: +11,5%) und andererseits deutlich abnehmende Bodenwassergehalte (Mittel über alle Szenarien: -10,0%). Die Veränderungen erfolgen räumlich stark differenziert und hängen in hohem Masse von der physiogeographischen Charakteristik der Region ab.

Abbildung 5 skizziert den Bodenwassergehalt für verschiedene Landnutzungen und Bodenarten unter heutigen und zukünftigen Klimabedingungen. Die grössten negativen Feuchteänderungen sind in bewaldeten Gebieten und für sandig-lehmige Böden zu erwarten. Waldstandorte könnten aufgrund ihrer vergleichsweise hohen Verdunstungsleistung eine mittlere Reduktion im Bodenwasser von etwa 16% erfahren; landwirtschaftliche Nutzflächen dagegen «nur» von 8%. Es ist bemerkenswert, dass offensichtlich «leichte» (sandige) Böden mit einer begrenzten Wasserhaltekapazität relativ stärker von einer Klimaerwärmung betroffen sein werden als «schwere» (schluffig-tonige) Böden. Das bedeutet, dass Böden, die bereits unter den heutigen Klimaverhältnissen vergleichsweise oft in für Pflanzen kritische Feuchtezustände «abdriften», dies in Zukunft noch häufiger und ausdauernder tun dürften. Die Simulationsergebnisse für den Prognosezeitraum (2081–2100) zeigen, dass sich im Vergleich zu den Referenzbedingungen (1981–2000) die mittlere Anzahl an Tagen mit Bodenwassergehalten unterhalb von 30% nutzbarer Feldkapazität nahezu verdoppeln könnte (Anstieg von 12 auf 21 Tage; Angaben jeweils bezogen auf das Gesamtgebiet der Thur).



Prognostizierte Veränderung der Lufttemperatur (in Kelvin) und des Niederschlages (in %) für das Thurgemeindegebiet. Mittel und Spannweite aller Szenarien für 2081–2100 (jeweils Mittel für April bis September). *Abbildung 4*

Relativer Bodenwassergehalt (BWG_{rel}) im Thurgemeindegebiet unter heutigen (1981–2000) und zukünftigen (2081–2100) Klimabedingungen für verschiedene Nutzungen (oben) und Böden (unten). Die Berechnungsergebnisse stellen Mittelwerte über 20 Jahre dar und berücksichtigen jeweils den Zeitraum April bis September. *Abbildung 5*



Unerfreuliche Perspektiven

Die Klimaerwärmung wird die Bodenwasserverhältnisse in vielen landwirtschaftlich genutzten Gebieten der Schweiz mit Sicherheit verändern und vielerorts die Wahrscheinlichkeit für das Eintreffen von kritischen Anbaubedingungen erhöhen. Landwirtschaftliche Betriebe, die in Regionen mit einem erhöhtem Gefährdungspotenzial liegen, werden über geeignete Anpassungen nachdenken müssen. Dazu gehören beispielsweise ein Ausweichen auf andere Kulturen und Sorten, die zusätzliche Bewässerung und die Reduzierung der Tierbestände. Insgesamt scheinen die Aussichten für die schweizerische Landwirtschaft infolge des zunehmend «mediterranen» Klimas wenig erfreulich zu sein; dennoch muss an dieser Stelle auch davor gewarnt werden, voreilig ökonomisch-ökologische Konsequenzen des Klimawandels für die Landwirtschaft zu ziehen.

Die in dieser Studie vorgelegten Ergebnisse dokumentieren eine potenziell mögliche Entwicklung der Bodenfeuchte im Thurgau und in der Schweiz. Grundlage der Berechnungen bilden die derzeit aktuellsten Klimaprognosen sowie eines der modernsten hydrologischen Modelle. Allerdings bleibt trotz dieser fundierten Ausgangslage bei den Ergebnissen ein nicht unerhebliches Mass an Unsicherheit bestehen. Dies ist insbesondere den Klimaszenarien zuzuschreiben, welche zumindest auf der regionalen Ebene (noch) eine vergleichsweise hohe Unsicherheit aufweisen. Das gilt vor allem für die Niederschlagsentwicklung. Auf der anderen Seite könnte eine verbesserte Simulation der Pflanzenphysiologie (Wachstum, Wasserdampfregulierung, CO₂-Effekte etc.) das hydrologische Modell verfeinern und dazu beitragen, das Wissen über die Bodenwasserdynamik zu vertiefen. Zur Zeit werden entsprechende Modellanpassungen vorgenommen.

Literatur

- Fuhrer J., Calanca P., Jasper K., 2003. Bauernregeln oder Klimaszenarien für die Landwirtschaft? Unipress 116, 28-30.
- Fuhrer J., 2002. Nationale Klimaforschung. UFA-Revue 9/02, 38-40.
- Gyalistras D., von Storch H., Fischlin A., Beniston M., 1994. Linking GCM-simulated climatic changes to ecosystem models: case studies of statistical downscaling in the Alps. *Clim. Res.* 4, 167-189.
- OcCC (Beratendes Organ für Fragen der Klimaänderung), 2002. Das Klima ändert sich – auch in der Schweiz. Die wichtigsten Ergebnisse des dritten Wissensstandsberichts des IPCC aus der Sicht der Schweiz. 48 Seiten.
- Schädler B., 2002. Auswirkungen der Klimaveränderung auf alpine Gewässersysteme. EAWAG news 55, 24-26.
- Schulla J., Jasper K., 2000. Modellbeschreibung WaSiM-ETH. Institut für Atmosphäre und Klima, ETH Zürich, 166 Seiten.

Résumé

Simulation de l'humidité des sols dans l'espace agricole suisse dans les conditions climatiques actuelles et futures

Dans le cadre du débat qui porte sur l'impact des changements climatiques dans l'agriculture, il est essentiel d'obtenir des données sur l'évolution future de l'humidité du sol. La présente étude a porté sur la variabilité temporelle et spatiale de la disponibilité en eau du sol dans la région très agricole de la Thur. Pour ce faire, on a utilisé un modèle détaillé de régime hydrique et différents scénarios climatiques régionaux. Les simulations ont été effectuées de manière différenciée selon les localisations, dans des conditions historiques (1981–2000), mais aussi climatiques (2081–2100) distinctes. Les résultats de l'analyse montrent que pendant la période de végétation, l'humidité du sol a de plus en plus tendance à baisser jusqu'à atteindre des taux critiques pour les plantes.



Die Extensivierung von Flächen angrenzend an Feuchtgebiete wird im Szenario «Plus» speziell gefördert.
Abbildung 1

Ökonomische Optimierung: Ein geeignetes Instrument zur Modellierung der ökologischen Effekte der Landnutzung?

Kurt Zraggen, Beatrice Schüpbach, Christian Flury und Erich Szerencsits

Ökonomische Optimierungsmodelle erlauben es, mittel- und langfristige Entwicklungen in der Landwirtschaft und damit auch bei der Landnutzung aufzuzeigen. Werden die Modelle um ökologische Effekte erweitert, wird deutlich, welche Umweltprobleme sich zuspitzen oder entschärfen. In diesem Beitrag wird gezeigt, wie der ökologische Leistungsnachweis die Entscheidung der Landwirte über die Art der Landnutzung beeinflusst und wie gross das Potenzial jener Direktzahlungen ist, die auf die Vernetzung von Lebensräumen ausgerichtet sind.

Im Zuge der Neuausrichtung der Agrarpolitik in den 1990er Jahren wurden mit Hilfe von Direktzahlungen und den daran geknüpften Auflagen ökologische Massnahmen eingeführt. Deren Wirkungen werden seit 1998 laufend evaluiert. Mittlerweile stellt sich die Frage nach der Weiterentwicklung der Ökomassnahmen. Aus diesem Grund wurde das integrierte Forschungsprojekt Greifensee¹ (Abb. 2) initiiert, auf dessen Untersuchungen dieser Beitrag basiert. Naturwissenschaftler des Teilprojekts «Landschaft und Biodiversität» und Agrarökonom des Kernprojekts modellieren die langfristige Entwicklung der Landnutzung unter verschiedenen Rahmenbedingungen für das Einzugsgebiet des Greifensees.

¹<http://www.ito.umw.ethz.ch/SoilPhys/greifensee/>

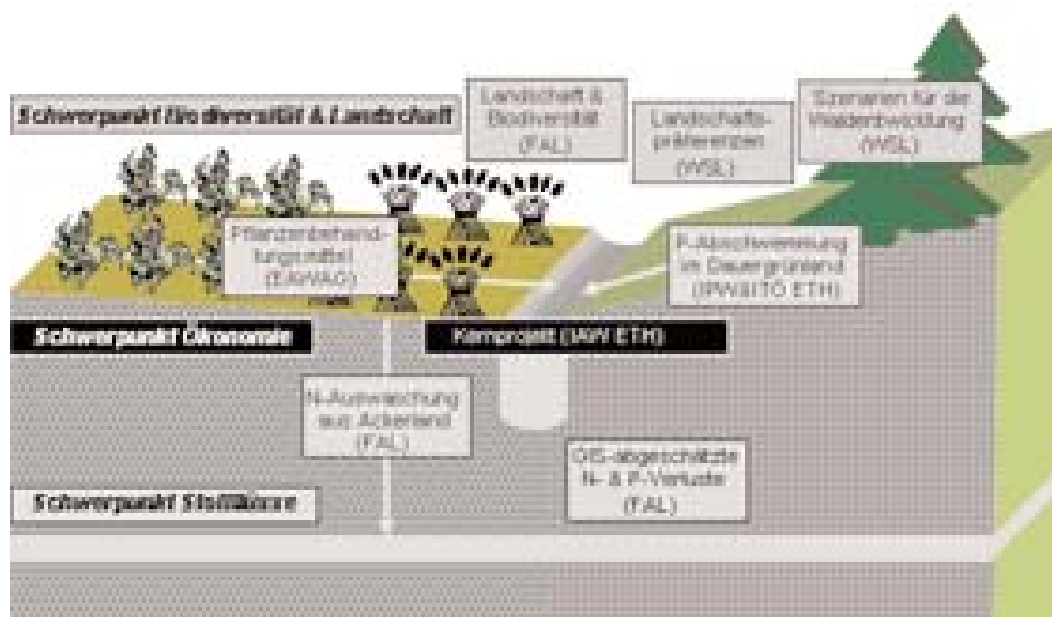
Ökonomische Optimierung in einem Landnutzungsmodell

Für die Prognose der in Zukunft zu erwartenden Landnutzung wurde ein landwirtschaftliches Sektormodell entwickelt. Der sektorale Ansatz hat den Vorteil, dass nicht nur die Auswirkungen bestimmter Massnahmen auf den Einzelbetrieb, sondern auch auf die gesamte Region abgeschätzt werden können.

Bei der ökonomischen Optimierung wird das Sektoreinkommen der Landwirtschaft maximiert. Die Faktoren «Landfläche» und «Arbeitskräfte» werden auf der Ebene der Betriebe bzw. der Region limitiert. Die Akteure auf der Betriebsebene berücksichtigen gegebene Produktionsstrukturen und -technologien, Preis- und Kostenverhältnisse sowie agrar- und umweltpolitische Massnahmen.

Kurt Zraggen,
Christian Flury
Institut für
Agrarwirtschaft,
Sonneggstrasse 33,
ETH Zentrum
SOL E 5,
8092 Zürich
Beatrice Schüpbach,
Erich Szerencsits
Eidgenössische
Forschungsanstalt
für Agrarökologie
und Landbau,
FAL Reckenholz,
CH-8046 Zürich

Struktur des integrierten Forschungsprojektes Greifensee.
Abbildung 2



Um ökologische Effekte zu modellieren, sind Modellerweiterungen nötig: Dazu gehört die räumliche Abgrenzung von Gebieten mit einem unterschiedlichen Risiko für Stoffverluste (z.B. Erosion) und von Gebieten mit einem Potenzial für eine ökologische Aufwertung. Dies erfordert Anpassungen beim Modellaufbau (Zraggen *et al.* 2003) sowie eine geeignete Datengrundlage.

Daten- und Bewertungsgrundlagen

Neben Betriebszählungsdaten und der digitalen Bodenkarte des Kantons Zürich ist eine Landnutzungskarte die wichtigste Datengrundlage. Diese wurde aus digitalen Infrarot-Ortholufbildern abgeleitet, die aus dem Jahr 2000 stammen. In einem 25 x 25 Meter Gitternetz wurde die dominante Nutzung und die Struktur der Landschaft abgebildet (Schüpbach *et al.* 2003). Eine Gitterzelle stellt die kleinste Modelleinheit dar.

Als weitere Datengrundlage dient die Erreichbarkeit der in der Greifenseeregion vorkommenden naturnahen Lebensräume (Moore, feuchte und trockene Extensivflächen, Fließgewässer, Gehölze/Wald). Dazu wurde für jede 25 x 25 Meter Gitterzelle die Distanz zum nächstgelegenen naturnahen Lebensraum berechnet. Im Modell wurde ein Schwellenwert von 200 Meter für die Distanz zu Feuchtgebieten gesetzt. Flächen innerhalb dieses Bereichs sollen prioritär extensiviert werden.

Die ökologischen Effekte können hier nicht in ihrer gesamten Komplexität bewertet werden. Biodiversität ist ein möglicher Indikator. Untersuchungen zeigen, dass mit zunehmender Nutzungsintensität die Artenvielfalt abnimmt (Zechmeister *et al.* 2003, Birrer *et al.* 2001). Die Hemerobie, welche den Grad des menschlichen Einflusses auf ein Ökosystem angibt, kann daher als integraler Indikator für die Biodiversität herangezogen werden. Bei der Bewertung der Hemerobie wurde den einzelnen Nutzungstypen je nach Intensität der Nutzung und des menschlichen Einflusses ein Wert zugeordnet (Konold *et al.* 1999). Dieser ist um so höher, je intensiver die Nutzung und der Einfluss des Menschen ist (Tab. 1).

Mit dem ökonomischen Landnutzungsmodell wurden die erwartete Landnutzung und ihre ökologischen Effekte in zwei Landschaftstypen für drei Szenarien berechnet. Bei den beiden Landschaftstypen handelt es sich um ein ackerbaulich geeignetes Teilgebiet der Greifenseeregion zwischen Greifensee und Pfäffikon sowie um ein futterbaulich geeignetes Teilgebiet, die Drumlin-Landschaft in der Umgebung von Gossau. Mit den Szenarien wurden einerseits die Wirkung des ökologischen Leistungsnachweises und ander-

Tabelle 1 /
nach Kowarik 1988

Hemerobiewerte der verschiedenen Landnutzungen	
Landnutzung	Hemerobiewert
Offene Ackerfläche	8
Kunstwiese	6
Intensives Dauergrasland / Brachen	5
Mittelintensives Dauergrasland	4
Extensives Dauergrasland	3

seits das Potenzial einer spezifischen Direktzahlung für die Vernetzung untersucht:

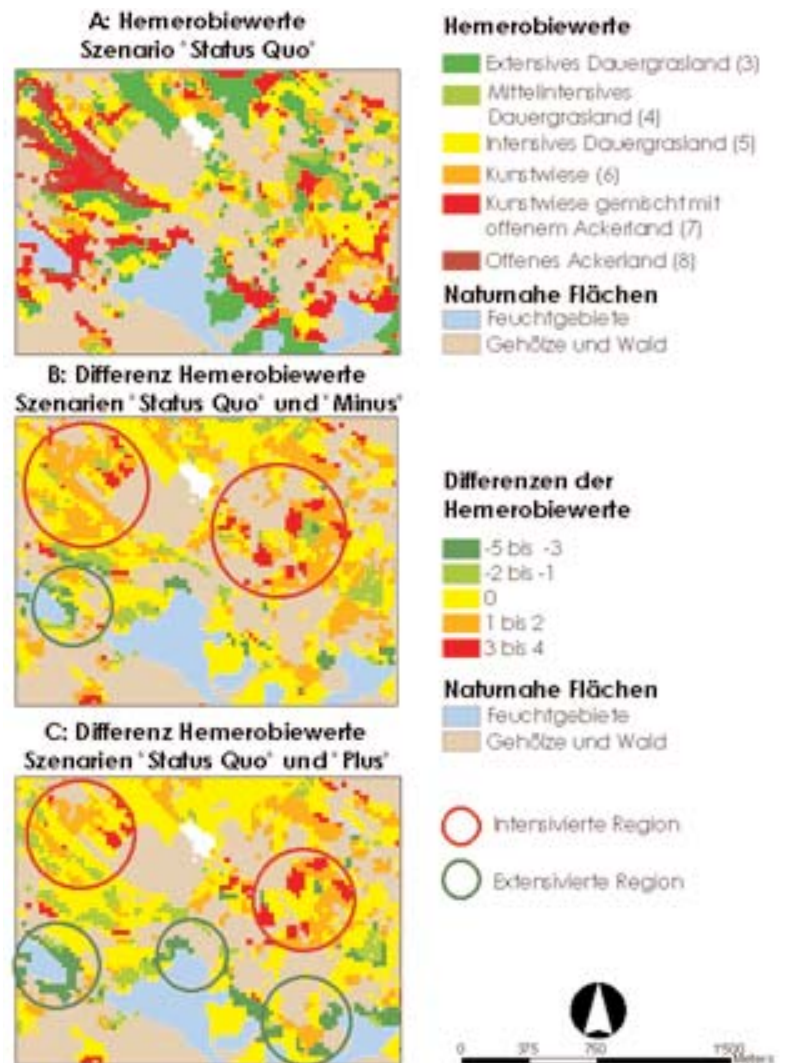
- **Szenario «Status Quo»:** Die Optimierung der Landnutzung erfolgt unter Einbezug des ökologischen Leistungsnachweises und der im Jahr 2000 herrschenden Rahmenbedingungen.
- **Szenario «Minus»:** Im Vergleich zu «Status Quo» wird der ökologische Leistungsnachweis (ÖLN) als Bedingung («cross compliance») für die Ausschüttung von Direktzahlungen weggelassen.
- **Szenario «Plus»:** Für die Extensivierung von Flächen, die höchstens 200 Meter von einem Feuchtgebiet entfernt liegen, werden im Vergleich zum Szenario «Status Quo» zusätzlich CHF 1000.– pro Hektare ausbezahlt.

Der Vergleich zwischen den Szenarien «Status Quo» und «Minus» zeigt, dass sich die offene Ackerfläche ohne die Restriktionen des ökologischen Leistungsnachweises um 8% vergrößert. Diese Zunahme ist vor allem deshalb möglich, weil die Fruchtfolgerestriktionen im Ackerbau wegfallen. Ausserdem zeigt sich, dass der Ackerbau vor allem im eher ungeeigneten Teilgebiet «Drumlin-Landschaft» zunimmt. Der Hemerobiewert steigt aufgrund der Ausdehnung des Ackerbaus leicht an, wie in Abbildung 3b aus dem Vorherrschen der Rottöne ersichtlich ist. Wenn die Direktzahlungen trotz Nichteinhaltung des ökologischen Leistungsnachweises ausbezahlt werden, steigt das Gesamteinkommen der Landwirtschaft, welches im Modell optimiert wird, um 4%. Da aber vermehrt arbeitsintensive Ackerkulturen gewählt werden, sinkt das durchschnittliche Arbeitseinkommen pro Arbeitskraft.

Aufgrund des im Szenario «Plus» gewählten Schwellenwertes, müssten 25% der landwirtschaftlich genutzten Fläche wegen ihrer Nähe zu Feuchtgebieten extensiviert werden. Von dieser Fläche werden im Szenario «Status Quo» allerdings nur 8% extensiv genutzt. Bei einer gezielten Förderung (Szenario «Plus») steigt dieser Wert auf 25%. Die Abnahme der Hemerobiewerte in Abbildung 3c erfolgt vorwiegend im Bereich von Feuchtgebieten. Der aggregierte Hemerobiewert steigt aber minim an. Das Gesamteinkommen der Landwirtschaft liegt im Vergleich zu Szenario «Status Quo» um 1% höher, weil der Rückgang des Produktionswertes durch die neu ausgeschütteten Direktzahlungen überkompensiert wird. In Kombination mit einem leichten Rückgang des geleisteten Arbeitseinsatzes steigt das durchschnittliche Einkommen pro Arbeitskraft geringfügig an.

Diskussion

Grundwasserverschmutzung, Eutrophierung der Gewässer und Artenschwund zeigen, dass die Landnutzung den ökologischen Wert der Landschaft beeinträchtigen kann. Es ist deshalb wichtig, die Reaktionen der Landwirte unter veränderten Rahmenbedingungen abschätzen zu



Hemerobiewertbewertung der modellierten Landnutzung in einem Ausschnitt der «Drumlin-Landschaft».
Abbildung 3

Hoher Hemerobie-
wert und geringe
Biodiversität sind die
Folge intensiver Land-
wirtschaft.
Abbildung 3



können. Dazu eignen sich ökonomische Optimierungsmodelle, insbesondere wenn sie ökologische Aspekte berücksichtigen.

Die Resultate beider Szenarien («Minus» und «Plus») zeigen im Vergleich zum Modell «Status Quo» eine Segregation der Nutzungsintensität. Während die Nutzung bestimmter Gebiete intensiviert wird, werden die an bestehende Feuchtgebiete angrenzenden Flächen extensiviert. Dies zeigt sich besonders ausgeprägt im Szenario «Plus». Für die bestehenden Feuchtgebiete wäre dies positiv zu bewerten. Es stellt sich aber die Frage, ob die gleichzeitige Intensivierung grosser Flächen in Kauf genommen werden soll.

Die Simulationen zeigen, dass ohne den ökologischen Leistungsnachweis der Ackerbau im ackerbaulich schlecht geeigneten Landschaftstyp «Drumlin-Landschaft» zunimmt. Dies gilt vor allem für arbeitsintensive Kulturen wie beispielsweise dem Kartoffelanbau. Im Gegensatz zu dieser kurzfristigen Entwicklung ist langfristig aber nicht mit einer Ausdehnung dieser Kulturen zu rechnen, weil die Betriebsleiter höhere Arbeitskosten berücksichtigen müssen. In einer langfristigen Betrachtung verlieren arbeitsintensive Produktionsverfahren in Ackerbau und Tierhaltung an Konkurrenzkraft und werden zunehmend durch arbeitsexensive Verfahren wie Getreide und Weidemastsysteme ersetzt. Der Anstieg der Ackerflächen reduziert die Naturnähe als Indikator für die Biodiversität. Als sehr bedeutend sind auch die zu erwartenden höheren Stoffverluste an Phosphor und Stickstoff einzuschätzen. Diese Auswirkungen sind mit weiteren Modellrechnungen zu bestimmen.

Die Simulationen zeigen ausserdem, dass die Direktzahlungen für Flächen mit hohem Vernetzungspotenzial nur bedingt wirksam sind. Bei einem zusätzlichen Beitrag von CHF 1000.– pro Hektare extensivierter Fläche, werden lediglich 25% der in Frage kommenden Flächen extensiviert. Bei 75% dieser Flächen reicht die Beitragshöhe nicht, um den Einkommensrückgang einer Extensivierung auszugleichen. Deshalb müsste dieser finanzielle Anreiz bei den heutigen Preis- und Kostenrelationen erhöht werden. Da aber aufgrund der politischen Rahmenbedingungen die interne Produktstützung und damit die Preise für Agrarprodukte in Zukunft sinken werden, verringern sich die Opportunitätskosten einer Extensivierung. Damit erhöht sich der Anreiz, Flächen zu extensivieren.

Literatur

- Birrer S., Bollmann K., Garf R., Weggler M., Weibel U., 2001. Welche Wiesen nutzen Vögel? In: Artenreiche Wiesen, Schriftenreihe der FAL 39, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, Zürich-Reckenholz. pp 45–52.
- Konold W., Böcker R., Hampicke U., 1999. Handbuch Naturschutz und Landschaftspflege. Ecomed, Landsberg, pp 1–18
- Kowarik I., 1988. Zum Einfluss des Menschen auf Flora und Vegetation. Theoretische Konzepte und ein Quantifizierungsansatz am Beispiel von Berlin (West). Landschaftsentwicklung und Umweltforschung 56.
- Schüpbach B., Szerencsits E., Walter T., 2003. Integration von Infrarot-Ortholufbildaten zur Modellierung einer nachhaltigen Landwirtschaft. In: Strobl J., Blaschke T. und Griesebner G. (Ed.). Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XV – Beiträge zum AGIT-Symposium. Salzburg, pp 481–490.
- Zechmeister H.G., Schmitzberger I., Steurer B., Peterseil J., Wrška T., 2003. The influence of land-use practices and economics on plant species richness in meadows. Biological Conservation 114, pp 167–177.
- Zraggen K., Szerencsits E., Flury C., Schüpbach B., Gotsch N., Walter T., Rieder P., 2003. Modellierung optimaler Agrarstrukturen zur Erfüllung von Landschaftsfunktionen. Agrarwirtschaft und Agrarsoziologie 2/03, pp 147–166.

Résumé

Optimisation économique: un instrument approprié pour simuler les impacts écologiques de l'exploitation des sols?

Des modèles d'optimisation économiques permettent de présenter les évolutions dans l'agriculture à moyen et à long terme, en fonction notamment du mode d'exploitation. Si l'on élargit ces modèles aux effets écologiques, on constate parfaitement quels problèmes écologiques sont en train de s'aggraver ou de se résoudre. La présente contribution montre comment les prestations écologiques requises influencent les décisions des agriculteurs en ce qui concerne le mode d'exploitation des terres et quel est le potentiel des paiements directs axés sur la promotion de la mise en réseau des habitats.

Adressliste der Autorinnen und Autoren

Debra Bailey

Agroscope FAL Reckenholz, Eidg. Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau,
Reckenholzstr. 191, 8046 Zürich, debra.bailey@fal.admin.ch,
Telefon +41 1-377 71 71, Telefax +41 1-377 72 01

Jacques Baudry

INRA, 65, rue de St. Briec, F-35042 Rennes cedex, jbaudry@roazhon.inra.fr,
Telefon +33 223 485621

Christian Flury

Institut für Agrarwirtschaft, Sonneggstrasse 33, ETH Zentrum SOL E 5,
8092 Zürich, christian.flury@iaw.agrl.ethz.ch, Telefon +41 1-632 53 10

Felix Herzog

Agroscope FAL Reckenholz, Eidg. Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau,
Reckenholzstr. 191, 8046 Zürich, felix.herzog@fal.admin.ch,
Telefon +41 1-377 74 45, Telefax +41 1-377 72 01

Karsten Jasper

Agroscope FAL Reckenholz, Eidg. Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau,
Reckenholzstr. 191, 8046 Zürich, karsten.jasper@fal.admin.ch,
Telefon +41 1-377 75 13, Telefax +41 1-377 72 01

Rudolf Krönert

Umweltforschungszentrum (UFZ), Permoserstrasse 15, D-04318 Leipzig,
kroenert@alok.ufz.de, Telefon +49-341 235 2166, Telefax +49-341 235 2511

Volker Prasuhn

Agroscope FAL Reckenholz, Eidg. Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau,
Reckenholzstr. 191, 8046 Zürich, volker.prasuhn@fal.admin.ch,
Telefon +41 1-377 71 45, Telefax +41 1-377 72 01

Yvonne Reisner

Agroscope FAL Reckenholz, Eidg. Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau,
Reckenholzstr. 191, 8046 Zürich, yvonne.reisner@fal.admin.ch,
Telefon +41 1-377 71 26, Telefax +41 1-377 72 01

Beatrice Schüpbach

Agroscope FAL Reckenholz, Eidg. Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau,
Reckenholzstr. 191, 8046 Zürich, beatrice.schuepbach@fal.admin.ch,
Telefon +41 1-377 73 28, Telefax +41 1-377 72 01

Erich Szerencsits

Agroscope FAL Reckenholz, Eidg. Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau,
Reckenholzstr. 191, 8046 Zürich, erich.szerencsits@fal.admin.ch,
Telefon +41 1-377 721 29, Telefax +41 1-377 72 01

Karl Martin Tanner

Natur- und Landschaftsschutz, Ewald, Departement UMNW, ETH Zentrum HG FO 21.2,
8092 Zürich, Karl.tanner@nls.umnw.ethz.ch,
Telefon +41 1-632 76 23, Telefax +41 1-632 13 80

Kurt Zgraggen

Institut für Agrarwirtschaft, Sonneggstrasse 33, ETH Zentrum SOL E 5,
8092 Zürich, kurt.zgraggen@iaw.agrl.ethz.ch, Telefon +41 1-632 53 10

Schriftenreihe der FAL Les cahiers de la FAL

22 – 30	siehe im Internet unter www.reckenholz.ch >Publikationen >Schriftenreihe der FAL voir à l'internet sous www.reckenholz.ch >Publications >Les cahiers de la FAL		
31	Landschaftsökologie und Artenvielfalt in der Landwirtschaft 2000 FAL-Tagung vom 28. Januar 2000	D	sFr. 20.–
32	Arsen in Böden der Schweiz L'arsenic dans les sols en Suisse 2000 <i>Kajsa Knecht, Thomas Keller und André Desaulles</i>	D	sFr. 20.–
33	Lachgasemissionen aus der Schweizer Landwirtschaft Emissions de protoxyde d'azote de l'agriculture suisse 2000 <i>Martin Schmid, Albrecht Neftel und Jürg Fuhrer</i>	D	sFr. 30.–
34	Ökologische Ausgleichsflächen in der Landwirtschaft: Ergebnisse mehrjähriger Versuche zur Anlage und Pflege blütenreicher Buntbrachen Surfaces de compensation écologique dans l'agriculture: résultats de plusieurs années d'essais relatifs à la mise en place et à l'entretien des jachères florales 2000 <i>Daniel Schaffner, Markus Günter, Fritz Häni und Michael Keller</i>	D	sFr. 30.–
35	GIS-gestützte Abschätzung der Phosphor- und Stickstoffeinträge aus diffusen Quellen in die Gewässer des Kantons Zürich Estimation basée sur le SIG des apports en phosphore et en azote dans les eaux du canton de Zurich en provenance de sources diffuses 2001 <i>Cornelia Schmid und Volker Prasuhn</i>	D	sFr. 30.–
36	Ertrags- und Umweltleistungen integrierter und biologischer Anbausysteme des Ackerbaus Rendements et prestations environnementales des systèmes de production intégré et biologique en grandes cultures 2001 FAL-Tagung vom 26. Januar 2001 / Journée FAL du 26 janvier 2001	D	vergriffen
37	Evaluation der Ökomassnahmen – Phosphorbelastung der Oberflächengewässer durch Bodenerosion Evaluation des mesures écologiques – La charge des eaux de surface en phosphore liée à l'érosion des sols 2001 <i>Volker Prasuhn und Kaspar Grünig</i>	F	sFr. 20.–
38	Evaluation der Ökomassnahmen – Phosphorbelastung der Oberflächengewässer durch Bodenerosion Evaluation des mesures écologiques – La charge des eaux de surface en phosphore liée à l'érosion des sols 2001 <i>Volker Prasuhn und Kaspar Grünig</i>	D	sFr. 30.–
38	Ökobilanzen – Beitrag zu einer nachhaltigen Landwirtschaft Bilans écologiques: Contribution à une agriculture durable 2002 FAL-Tagung vom 18. Januar 2002 / Journée FAL du 18 janvier 2002	D F	sFr. 30.–
39	Artenreiche Wiesen Prairies à haute diversité biologique 2002 <i>Thomas Walter et al.</i>	D	sFr. 30.–
40	Ausmass und mögliche Auswirkungen der Abdrift von Pflanzenschutzmitteln auf ökologische Ausgleichsflächen Dimension et possible effets de la dérive des produits phytosanitaires sur des surfaces de compensation écologiques 2002 <i>Rudolf Büchi und Franz Bigler</i>	D	sFr. 20.–
41	Bodengefüge – Ansprechen und Beurteilen mit visuellen Mitteln Structure du sol – classification et évaluation visuelle 2002 <i>Jakob Nievergelt, Milan Petrasek und Peter Weisskopf</i>	D	sFr. 40.–
42	Biogene VOC und Aerosole – Bedeutung der biogenen flüchtigen organischen Verbindungen für die Aerosolbildung COV biogènes et aérosols – Les composés organiques volatils biogènes et leur contribution aux aérosols 2002 <i>Christoph Spirig und Albrecht Neftel</i>	D	sFr. 20.–
43	Stickstoff in Landwirtschaft und Umwelt – Probleme, Lösungswege und Perspektiven im internationalen, nationalen und lokalen Umfeld L'azote dans l'agriculture et l'environnement – Problèmes, voies de solution et perspectives à l'échelon international, national et local 2003 FAL-Tagung vom 24. Januar 2003 / Journée FAL du 24 janvier 2003	D	sFr. 30.–
44	Carbon stocks and carbon sequestration potentials in agricultural soils in Switzerland 2003 <i>Jens Leifeld, Seraina Bassin und Jürg Fuhrer</i>	E	sFr. 30.–
45	Forschung für den biologischen Landbau Recherche en agriculture biologique 2003 <i>Beat Boller et al.</i>	D F	sFr. 30.–
46	Von der Kontrollstation zum Nationalen Zentrum für Agrarökologie Zur Geschichte der landwirtschaftlichen Forschungsanstalt Zürich-Reckenholz 1878–2003 2003 <i>Josef Lehmann</i>	D	sFr. 30.–
47	Agrar-Umweltindikatoren – Machbarkeitsstudie für die Umsetzung in der Schweiz Indicateurs agro-environnementaux – Etude de faisabilité pour la réalisation en Suisse 2003 <i>Gérard Gaillard et al.</i>	D	sFr. 30.–