



Doctoral Thesis

Improving eco-efficiency of low-input cropping systems by the use of life cycle assessment and integrative approach

Author(s):

Kulak, Michal Adam

Publication Date:

2014

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-010192606> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

DISS ETH NO 21872

**IMPROVING ECO-EFFICIENCY OF LOW-INPUT CROPPING SYSTEMS BY THE USE OF LIFE
CYCLE ASSESSMENT AND INTEGRATIVE APPROACH**

A thesis submitted to attain the degree of

DOCTOR OF SCIENCES OF ETH ZURICH

(Dr Sc. ETH Zurich)

Presented by

MICHAL ADAM KULAK

Master of Science (MSc) in Innovation and Design for Sustainability, Cranfield University

Born on 30.12.1985

Citizen of Poland

Accepted on the recommendation of:

Prof. Emmanuel Frossard, ETH Zurich

Dr Thomas Nemecek, Agroscope

Prof. Steve Evans, University of Cambridge

2014

ABSTRACT

Low-input cropping systems (LICS) in Europe are characterised by mostly lower environmental impacts per unit of land compared to high-input agriculture, but their benefits remain unclear when productivity is taken into account. The research described in this thesis was conducted with two goals: i.) to assess the eco-efficiency of European low-input cereal-based cropping systems, where eco-efficiency is understood as the ratio of environmental impacts to production quantity and ii.) to identify factors limiting eco-efficiency and assess the potential for improvements.

The first part of the thesis provides a review of the current literature on the relationship between the application of agricultural inputs to cropping systems and environmental impacts quantified with the use of product Life Cycle Assessment (LCA). Various interventions are also reviewed that can improve this ratio. The empirical evidence shows that eco-efficient cropping systems require application of optimum instead of minimum quantities of external inputs. These optimum rates can be lowered by utilising positive synergies between crops to minimise waste of nutrients and water and by utilising locally produced organic waste; both from within the farm as well as from the surrounding sociotechnical environment. Strategies such as switching cultivars, mixing cultivars, no-tillage, intercropping or anaerobic digestion can improve eco-efficiency at the same level of agricultural inputs, but they will not be effective under all conditions. Choices of inputs and their levels need to be considered under the specific agro-climatic and socio-economic regimes.

In the second part of the study, environmental impacts of several cases of bread from LICS were compared to standard references with the use of LCA. The selection of cases covered two different European climatic zones: Temperate oceanic and Mediterranean and two different scales of production: farms below 10 ha and over 70 ha. Primary data were collected directly from producers. Standard references were assumed to be breads made of cereals cultivated with standard methods, processed in industrial mill and bakery and distributed through the supermarket. The study produced highly variable results depending on farm management, year, location and organisation of the distribution chain. Neither LICS nor on-farm processing was observed to guarantee reductions in environmental impacts, although numerous opportunities for system improvements were identified over the course of this analysis.

In the third part of the study, a structured, multi-stakeholder procedure was followed to identify opportunities for improvements in two cases from France. Results of LCA with highlights of processes responsible for the largest share of environmental impacts were disclosed to stakeholders during the collaborative design workshop. Teams of participants consisting of plant breeders,

agronomists and representatives of farmer's associations were asked to map out opportunities for system improvements. Improvement scenarios were consulted with producers and only approved solutions were considered in further LCA simulations. Conservative models revealed potential reduction of 47% in the Global Warming Potential per kg of bread at one farm and 40% reduction for aquatic eutrophication at the other one. Results suggest that in addition to biophysical limitations, farms may suffer from the lack of innovation, suboptimal management and the lack of access to reliable environmental information.

The research described in this thesis has shown that the level of farm-external inputs cannot be used as a proxy of environmental performance. Although there are visible trends between the application of inputs to cropping systems and environmental impacts of their products, final results are highly dependent on a number of other factors. LICS are not per se more eco-efficient than high-input agriculture. However, they can potentially have similar or better performance with their proper organisation. Although some of the limiting factors are external and independent of the farmer-such as the electricity mix of the country in which the production is located, eco-efficiency can be highly influenced by management decisions made by farmers. There is a scope for large improvements of eco-efficiency within LICS, but the supply of environmental information may be necessary to support making the right design decisions.

ZUSAMMENFASSUNG

Low-Input-Anbausysteme in Europa haben meistens geringere Umweltwirkungen pro Flächeneinheit als die High-Input-Landwirtschaft, ihre Vorteile sind jedoch nicht eindeutig, wenn die Produktivität berücksichtigt wird. Die in dieser Dissertation beschriebene Forschung befasste sich mit zwei Hauptzielen: i.) Die Beurteilung der Ökoeffizienz europäischer Low-Input-Systeme für den Getreideanbau, wobei unter Ökoeffizienz das Verhältnis von Umweltwirkungen zum Produktion zu verstehen ist. ii.) Die Identifizierung limitierender Faktoren und des Verbesserungspotenzials.

Der erste Teil der Dissertation besteht in einer systematischen Prüfung der aktuellen Literatur zum Verhältnis zwischen dem landwirtschaftlichen Input von Anbausystemen und den Umweltwirkungen, die mit Hilfe der Produkt-Ökobilanz (Life Cycle Assessment) quantifiziert werden. Es wurden auch zahlreiche Massnahmen untersucht, welche die Leistungsfähigkeit der Systeme verbessern können. Die empirischen Daten zeigen, dass eine gute Ökoeffizienz von Anbausystemen nicht mit einer minimalen, sondern mit einer optimalen Menge von Inputs erreicht wird. Diese optimale Inputmenge kann reduziert werden durch die Nutzung von Synergien zwischen verschiedenen Kulturen, welche die Nährstoff- und Wasserverluste verringern, sowie durch die Nutzung lokaler organischer Abfälle, die entweder im Landwirtschaftsbetrieb selber oder im nahen soziotechnischen Umfeld anfallen. Strategien wie Züchtung, Sortenmischungen, Direktsaat, Mischkulturen oder Biogasanlagen können die Ökoeffizienz bei gleichem Input verbessern, sind aber nicht unter allen Bedingungen wirksam. Welche Inputs in welcher Menge eingesetzt werden, hängt von den spezifischen agroklimatischen und sozioökonomischen Gegebenheiten ab.

Im zweiten Teil der Studie wurden die Umweltwirkungen der Herstellung von Brot aus verschiedenen Low-Input-Betrieben mit Referenzstandards verglichen. Die Betriebe wurden so gewählt, dass zwei Klimazonen Europas (gemäßigtes ozeanisches und mediterranes Klima) und zwei Betriebsgrößen (unter 10 ha und über 70 ha) vertreten waren. Die Basisdaten wurden direkt bei den Produzenten erhoben. Als Referenz galten Brote aus dem Supermarkt, wobei das Getreide mit Standard-Methoden produziert wurde. Die Studie ergab je nach Betriebsführung, Jahr, Standort und Organisation der Vertriebskette sehr unterschiedliche Resultate. Weder die Low-Input-Bewirtschaftung noch die Verarbeitung auf dem Landwirtschaftsbetrieb führte zu einer zuverlässigen Reduktion der Umweltwirkungen. Im Laufe der Analyse konnten jedoch zahlreiche Möglichkeiten identifiziert werden, mit denen sich Verbesserungen des Systems erzielen liessen.

Im dritten Teil der Studie wurden verschiedene Akteure einbezogen, um Verbesserungsmöglichkeiten für zwei Fallbeispiele in Frankreich zu finden. Dazu wurden den Akteuren im Rahmen eines partizipativen Design-Workshops die Ökobilanzen vorgelegt, bei denen

die Prozesse mit den grössten Umweltwirkungen aufgeführt waren. Die Teilnehmerteams, bestehend aus Pflanzenzüchtern, Agronomen und Vertretern der Bauernverbände, erarbeiteten dann Möglichkeiten für Systemverbesserungen. Die Verbesserungsszenarien wurden Produzenten vorgelegt und nur für weitere Simulationen berücksichtigt, wenn sie deren Zustimmung fanden. Konservative Modelle ergaben eine potenzielle Reduktion des Treibhauspotentials pro Kilogramm Brot um mindestens 47% beim einen Betrieb und eine Reduktion der aquatischen Eutrophierung um 40% beim anderen Betrieb. Die Ergebnisse lassen vermuten, dass die Landwirtschaftsbetriebe nicht nur aufgrund von biophysikalischen Aspekten an Grenzen stossen, sondern auch durch fehlende Innovation, eine suboptimale Betriebsführung und ein Mangel an zuverlässigen Umweltinformationen.

Die in dieser Dissertation beschriebene Forschung zeigt, dass zwischen den Inputs von Anbausystemen und den Umweltwirkungen der erzeugten Produkte Zusammenhänge bestehen, die sich mit Ökobilanzen beschreiben lassen. Wenn die Inputs extrem reduziert werden, ist das Ergebnis aus Sicht der Ökoeffizienz nicht optimal. Die Ökoeffizienz hängt auch wesentlich von anderen Komponenten des Anbausystems sowie von der Verarbeitung, vom Vertrieb und vom soziotechnischen Umfeld ab. Low-Input-Anbausysteme sind nicht per se ökoeffizienter als High-Input-Systeme. Sie können aber bei einer geeigneten Organisation bessere Ergebnisse erzielen. Zwar lassen sich nicht alle begrenzenden Faktoren mit der Betriebsführung beeinflussen, die Ökoeffizienz hängt aber doch stark von betriebsspezifischen Entscheidungen ab. Es besteht innerhalb der Low-Input-Landwirtschaft Spielraum für wesentliche Verbesserungen der Ökoeffizienz. Damit die richtigen Entscheidungen getroffen werden können, müssen jedoch ausreichende Umweltinformationen zur Verfügung stehen.

RÉSUMÉ

En Europe, les systèmes culturaux à faible niveau d'intrants se caractérisent par des impacts environnementaux généralement plus faibles par unité de surface par rapport à l'agriculture intensive, mais leurs performances environnementales restent inconnues. Les recherches décrites dans la présente thèse avaient deux objectifs principaux: i.) évaluer l'éco-efficience des systèmes de cultures de céréales européens à faibles intrants exprimée par le rapport entre production et impacts sur l'environnement et ii.) identifier les facteurs handicapants afin d'évaluer le potentiel d'amélioration.

La première partie de la thèse conduit une revue systématique de la littérature sur le rapport entre l'application des intrants agricoles dans les systèmes culturaux et l'impact environnemental quantifié grâce aux analyses de cycle de vie (Life Cycle Assessment, LCA). Différentes interventions sont également présentées, comme étant susceptibles d'améliorer les rendements. L'expérience montre que l'éco-efficience des systèmes culturaux implique l'application de quantités optimales et non minimales d'intrants externes. Ces quantités optimales peuvent être réduites en exploitant les synergies entre les cultures afin de minimiser les pertes d'éléments nutritifs et d'eau ainsi qu'en utilisant les déchets organiques locaux; à l'échelle de la ferme comme à l'échelle de l'environnement socio-technique proche. Les stratégies telles que la sélection, le mélange des variétés, le semis direct, les cultures intercalaires ou la digestion anaérobie peuvent accroître l'éco-efficience avec le même niveau d'intrants agricoles, mais elles ne fonctionnent pas dans toutes les conditions. Le choix des intrants et de leurs quantités doit tenir compte des régimes agroclimatiques et socio-économiques spécifiques.

La deuxième partie de l'étude consistait à comparer les impacts environnementaux de différents types de pains issus de l'agriculture à faibles intrants à des pains de référence. Les cas étudiés ont été sélectionnés dans deux zones climatiques européennes: la zone tempérée océanique et la zone méditerranéenne, pour deux niveaux de production différents: exploitations de moins de 10 ha et de plus de 70 ha. Les données de base ont été recueillies directement chez les producteurs. Les pains de référence étaient supposés être des pains faits à partir de céréales cultivées selon les méthodes modernes, fabriqués par des moulins et des boulangeries industriels et distribués en supermarchés. L'étude a donné des résultats extrêmement variables suivant la gestion de la ferme, l'année, la situation géographique de l'exploitation et l'organisation de la chaîne de distribution. On a constaté que ni l'agriculture à faible niveau d'intrants, ni la transformation sur le site ne garantissaient la réduction des impacts environnementaux, bien que de nombreuses possibilités pour améliorer les systèmes aient pu être identifiées durant l'analyse.

La troisième partie de l'étude a suivi une procédure structurée, associant l'ensemble des parties intéressées afin d'identifier les possibilités d'amélioration dans deux cas en France. Les résultats d'analyses de cycles de vie joints aux processus-phares responsables de la majeure partie des impacts environnementaux ont été communiqués aux parties intéressées durant l'atelier de conception interdisciplinaire. On a demandé à des équipes de participants composées de sélectionneurs, d'agronomes et de représentants des associations d'agriculteurs d'esquisser les possibilités d'amélioration des systèmes. Les scénarios d'amélioration ont fait l'objet de concertations avec les producteurs et seules les solutions approuvées ont été retenues pour les simulations. Les modèles conservateurs ont indiqué des possibilités de réduction d'au moins 47% du potentiel de réchauffement climatique global par kilo de pain dans une exploitation et de 40% de réduction de l'eutrophisation aquatique dans une autre. Les résultats suggèrent qu'outre les limites biophysiques, les exploitations souffrent du manque d'innovation, d'un management insuffisant et du manque d'informations environnementales fiables.

Les recherches décrites dans la présente thèse ont montré qu'il existe des liens visibles entre l'application d'intrants dans les systèmes culturaux et les impacts environnementaux de leurs produits, liens qui peuvent être mis en évidence grâce aux analyses de cycle de vie. Du point de vue de l'éco-efficience, il ne serait pas idéal de réduire la quantité des intrants à un niveau extrêmement bas. Le résultat final de l'éco-efficience dépend également largement d'une autre composante du système cultural, celle qui réunit fabrication, distribution et contexte socio-technique. Les systèmes culturaux à faible niveau d'intrants ne sont pas plus éco-efficients en soi que l'agriculture intensive. Cependant, avec une bonne organisation, ils peuvent avoir des performances similaires ou supérieures. Bien que certains facteurs limitants soient indépendants de l'agriculteur, une grande part de l'éco-efficience peut être influencée par les décisions de management spécifiques au site. Il est donc possible d'améliorer encore l'éco-efficience dans l'agriculture à faible niveau d'intrants, mais il est indispensable de réunir des informations sur l'environnement afin d'aider à prendre les bonnes décisions en termes de conception.