

Life Cycle Assessment in the Development of Plant Protection Products: Methodological Improvements and Case Study

Methodological improvements and case study

Doctoral Thesis

Author(s):

Geisler, Georg

Publication date:

2003

Permanent link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-004681333>

Rights / license:

In Copyright - Non-Commercial Use Permitted

DISS. ETH NO. 15235

**Life Cycle Assessment in the Development of Plant Protection Products:
Methodological Improvements and Case Study**

A dissertation submitted to the
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY ZURICH
for the degree of
Doctor of Natural Sciences

presented by

Georg Geisler

Graduate Chemist (Dipl. Chem.), Friedrich-Schiller University, Jena, Germany

born 01 January 1973

citizen of Germany

accepted on the recommendation of

Prof. Konrad Hungerbühler

Prof. Michael Z. Hauschild

2003

Abstract

Producers of plant protection products strive to move towards environmental sustainability of their business. A methodology to assess the environmental efficiency of plant protection products is essential to reach this objective. It is the goal of this work to develop a method for a comprehensive evaluation of the environmental efficiency of plant protection products considering a life-cycle scope. This method should enable an assessment whether the current development of plant protection products leads to increased environmental efficiency. Further, the use of this method to support decision-making of pesticide producers should be evaluated.

To obtain such a method, several specific improvements of Life Cycle Assessment (LCA) are proposed. First, a procedure is developed for the systematic and comprehensive estimation of Life Cycle Inventories (LCIs) for the production of active substances and their precursors. Second, a method is put forward to consider in Life Cycle Impact Assessment (LCIA) spatial and temporal variability in exposure of groundwater to active substances. Third, a procedure is set up for an assessment of uncertainty in LCA results. A further procedure is established for the estimation of substance properties necessary to calculate new characterisation factors for active substances and emissions from chemical production processes. LCAs of plant protection products are calculated firstly with a functional unit allowing product comparisons. Secondly, a functional unit for system comparisons is set up, serving to decide whether the use of one particular plant protection product is environmentally preferable to not using it. This latter assessment takes into account effects of plant protection products on crop yield more specifically than the functional unit for product comparison.

These methodological improvements are applied to a case study comparing the use of two plant growth regulators, Moddus and Stuntan, in winter wheat. Moddus is a new product and resembles a progress compared to Stuntan from the point of view of agronomy and regulatory Risk Assessment. It is assessed in this work whether a progress is apparent also in the comparison of the environmental efficiency of Moddus and Stuntan considering a life-cycle scope.

In this product comparison by LCA, Moddus is found to be a progress compared to Stuntan in terms of activity, expressed as the applied dose, as well as environmental fate and effects of the active substance. This progress is at a trade-off with high production impacts due to the

complex molecular structure of the active substance of Moddus. In the system comparison assessment it is found that the development of Moddus for plant growth regulation in winter wheat was a progress from an LCA perspective. This is due to increases in crop yield attributable to the use of Moddus.

The uncertainty assessment of the case study shows large methodological uncertainties with regard to toxicity impact categories. These may generally lead to low significance of results in LCAs of plant protection products. Measures for uncertainty reduction are proposed. Uncertainty in the case study results is relatively low concerning other impact categories, such as the global warming potential.

The procedure to estimate LCIs for production processes of active substances and their precursors enables taking into account material and energy inputs to as well as emissions from such processes. This estimation procedure helps to overcome major data gaps in LCIs of plant protection products. It is therefore an important prerequisite for the LCA of these products.

Variability of groundwater exposure to active substances amounts to orders of magnitude and is most strongly dependent on substance properties and site factors. Relevant contributions to human toxicity impact scores are found. Knowledge on this variability is available at producers of plant protection products. Therefore, this variability should be depicted in LCIA of pesticides carried out at these companies.

Requirements and results of the LCA of plant protection products proposed in this work are compared to data availability and degrees of freedom in decision making during the development of pesticides. LCA is found to be applicable in decision support at most stages during the economic lifespan of plant protection products. Specific constraints of data availability and lack of knowledge are identified in the evaluation stage of product development, which may however be overcome with the methods presented in this work.

General rules are derived from the LCA of the case study for use in decision support without conducting full LCAs. It is found that several of these rules are in line with objectives already applied by producers of plant protection products. Additionally, environmental efficiency objectives should be integrated in the procurement of chemicals by these producers. A case-wise approach is necessary to assess potential trade-offs between environmental impacts from production and use of specific active substances.

Zusammenfassung

Produzenten von Pflanzenbehandlungsmitteln sind bestrebt, eine nachhaltige Entwicklung ihrer Produkte zu fördern. Um dieses Ziel zu erreichen, ist eine Methode zur umfassenden Bewertung der Umwelteffizienz von Pflanzenbehandlungsmitteln notwendig. Es ist das Ziel dieser Arbeit, eine solche Methode zu entwickeln. Diese soll den gesamten Lebenszyklus von Pestiziden erfassen und somit eine Beurteilung erlauben, ob die derzeit angewendeten Kriterien zur Entwicklung von Pflanzenbehandlungsmitteln auch zu erhöhter Umwelteffizienz dieser Mittel führen. Desweiteren soll die Methode zur Entscheidungsunterstützung bei Herstellern von Pestiziden geeignet sein.

Mehrere Verbesserungen der Ökobilanz (Life Cycle Assessment, LCA) werden vorgeschlagen, um eine solche Methode zu erstellen. Zunächst wird eine Routine zur systematischen und umfassenden Abschätzung von Sachbilanzen (Life Cycle Inventories, LCIs) für Produktionsprozesse von Wirksubstanzen und ihren Vorläufersubstanzen entwickelt. Desweiteren wird eine Methode erstellt, welche es ermöglicht, in der Wirkungsabschätzung (Life Cycle Impact Assessment, LCIA) die örtliche und zeitliche Variabilität der Exposition von Grundwasser gegenüber Wirksubstanzen zu erfassen. Weiterhin wird ein Weg zur Abschätzung der Unsicherheit in LCA-Ergebnissen vorgeschlagen. Schliesslich wird eine Vorgehensweise zur Abschätzung von Substanzeigenschaften eingeführt. Substanzeigenschaften werden benötigt, um Charakterisierungsfaktoren für Wirksubstanzen und Emissionen aus Chemikalien-Produktionsprozessen zu berechnen. Zunächst werden Ökobilanzen mit einer funktionellen Einheit berechnet, die Produktvergleiche erlaubt. Danach wird eine weitere funktionelle Einheit zum Systemvergleich eingeführt. Diese ermöglicht eine Entscheidung, ob es ökologisch vorteilhafter ist, ein Pestizid anzuwenden oder es nicht anzuwenden. Diese Analyse erlaubt auch eine spezifischere Berücksichtigung der Effekte von Pflanzenbehandlungsmitteln auf den Ertrag als der einfache Produktvergleich.

Die methodischen Verbesserungen der Ökobilanz werden im Weiteren zum Vergleich zweier Wachstumsregulatoren, Moddus und Stuntan, hinsichtlich ihrer Anwendung in Winterweizen eingesetzt. Moddus ist ein neues Produkt, welches aus Sicht der Agronomie und der Umwelt-Risikoanalyse einen Fortschritt gegenüber Stuntan darstellt. In dieser Arbeit wird

beurteilt, ob Moddus auch im Hinblick auf die Umwelteffizienz unter Berücksichtigung der gesamten Produktlebenszyklen einen Fortschritt gegenüber Stuntan darstellt.

Moddus stellt in diesem Produktvergleich hinsichtlich der Aktivität, ausgedrückt als die Ausbringungsmenge, sowie des Umweltverhaltens und der Umwelteffekte der Wirksubstanz einen Fortschritt gegenüber Stuntan dar. Dieser Fortschritt muss allerdings abgewogen werden gegen erhöhte Umweltwirkungen aus der Produktion von Moddus gegenüber der Herstellung von Stuntan, welche massgeblich auf die komplexere Molekülstruktur der in Moddus enthaltenen Wirksubstanz zurückzuführen sind. In dem Systemvergleich ergibt sich wiederum, dass die Einführung von Moddus für Wachstumsregulation in Winterweizen aus Sicht der Ökobilanz einen Fortschritt darstellt, und zwar aufgrund eines erhöhten Ertrages durch den Einsatz von Moddus.

Die Unsicherheitsanalyse zeigt grosse methodische Unsicherheiten hinsichtlich der Toxizitäts-Wirkungskategorien. Diese Unsicherheiten könnten generell zu Ergebnissen niedriger Signifikanz in der Ökobilanz von Pflanzenbehandlungsmitteln führen. Es werden Massnahmen zur Verringerung der Unsicherheiten vorgeschlagen. Die Ergebnisse in den weiteren Wirkungskategorien, wie zum Beispiel dem Treibhausgas-Potenzial, zeigen relativ geringe Unsicherheiten.

Die Routine zur Abschätzung von Sachbilanzen für Produktionsprozesse von Wirksubstanzen und ihrer Vorläufersubstanzen ermöglicht es, Material- und Energiebedarfe sowie Emissionen solcher Prozesse zu erfassen. Diese Abschätzroutine leistet einen wichtigen Beitrag zur Schliessung von Datenlücken in Sachbilanzen von Pflanzenbehandlungsmitteln und ist daher eine wichtige Voraussetzung für die Ökobilanzierung solcher Produkte.

Die Variabilität der Exposition von Grundwasser gegenüber Wirksubstanzen erstreckt sich über Grössenordnungen und ist am stärksten abhängig von Substanzeigenschaften und ortsabhängigen Faktoren. Die Beiträge zu aggregierten Indikatorergebnissen bezüglich der Toxizität von Wirksubstanzen im Grundwasser für Menschen sind bedeutend. Bei Herstellern von Pflanzenbehandlungsmitteln ist umfangreiches Wissen über die Einflussgrössen auf die Variabilität der Grundwasser-Exposition vorhanden. Daher sollte diese Variabilität in Ökobilanzen, die an Pestizid-Hersteller gerichtet sind, berücksichtigt werden.

Anforderungen und Ergebnisse der Ökobilanz von Pestiziden werden weiterhin verglichen mit der Datenverfügbarkeit und den Freiheitsgraden in Entscheidungssituationen während der Entwicklung neuer Pflanzenbehandlungsmittel. Nach diesem Vergleich ist die Ökobilanz zur

Entscheidungsunterstützung in den meisten Phasen des ökonomischen Lebensweges eines Pestizides anwendbar. In der Evaluierungsphase der Produktentwicklung existieren spezifische Einschränkungen hinsichtlich Datenverfügbarkeit und Unsicherheit, die jedoch mit den in dieser Arbeit entwickelten Methoden bewältigt werden können.

Aus der Ökobilanz für Moddus und Stuntan werden allgemeingültige Regeln zur Entscheidungsunterstützung abgeleitet. Etliche dieser Regeln stimmen mit Zielen überein, welche die Hersteller von Pflanzenbehandlungsmitteln bereits verfolgen. Darüber hinaus sollte Umwelteffizienz als Zielgröße im Einkauf von Chemikalien bei diesen Herstellern eingeführt werden. Um Zielkonflikte zwischen der Verringerung von Umweltwirkungen aus Produktion und Anwendung bestimmter Wirksubstanzen zu analysieren, ist eine fallweise Bewertung notwendig.