

Umweltschutz durch Präzisionslandwirtschaft – sind Rebound-Effekte möglich?

Paul Johann Weller von Ahlefeld¹

Abstract: Beim Einsatz von digitalen Informations- und Kommunikationstechnologien zum Ressourcenschutz besteht die Gefahr des Auftretens von Rebound-Effekten. Als Rebound-Effekt bezeichnet man eine Vielzahl von Mechanismen, die dazu führen, dass die Einsparung einer Ressource durch den Einsatz einer Technologie durch eine erhöhte Nachfrage kompensiert wird. In der Landwirtschaft finden solche Technologien im Rahmen der Präzisionslandwirtschaft z. B. durch Sensortechniken Anwendung. Jedoch sind Rebound-Effekte in diesem Zusammenhang bisher wenig diskutiert. Diese Forschungslücke wird geschlossen, indem potenzielle Rebound-Effekte auf Basis einer Literaturrecherche für die Ressourcen Ackerland, Wasser, Pflanzenschutzmittel und Nährstoffe in Form von Düngemitteln diskutiert werden.

Keywords: Rebound-Effekte, Precision Agriculture, Sensoren, Jevons-Paradox

1 Einleitung

Die Landwirtschaft steht vor der Herausforderung, eine wachsende Weltbevölkerung zu ernähren. Ebenfalls wird von der Landwirtschaft ein Beitrag zum Umwelt- und Klimaschutz in Form eines effizienteren Ressourceneinsatzes erwartet [EU12]. Informations- und Kommunikationstechnologien (engl. Information and communication technologies, (ICT)) gelten als Instrument zur umweltfreundlichen Effizienzsteigerung [HR07]. Studien zeigen jedoch auch, dass es anstatt zu einer Ressourceneinsparung zu einer gesteigerten Nachfrage nach der Ressource infolge des Einsatzes von ICT kommen kann, was als Rebound-Effekt oder Jevons-Paradox bezeichnet wird. Diese Effekte gehen dabei explizit auf das adaptive Verhalten von Konsumenten und Produzenten als Reaktion auf die Einführung der ressourcensparenden Technologie zurück [So09; BMV00]. Für die Landwirtschaft wird sich ebenfalls durch den Einsatz von ICT im Rahmen der Precision Agriculture eine umweltfreundliche Effizienzsteigerung versprochen [Li17]. So kann z. B. durch den Einsatz von Sensoren die Überwachung und Kontrolle in der landwirtschaftlichen Produktion verbessert werden. Die erhöhte Verfügbarkeit von Informationen sowie die Verbindung mit teilflächenspezifischen Applikationstechniken können sowohl die Profitabilität

¹ Georg-August Universität Göttingen, Fakultät für Agrarwissenschaften, Department für Agrarökonomie und Rurale Entwicklung, Arbeitsbereich Landwirtschaftliche Betriebslehre, paul.weller-von-ahlefeld@uni-goettingen.de. Ich danke Herrn Marius Michels und Herrn Prof. Dr. Oliver Mußhoff für wertvolle Hinweise bei der Realisierung des Beitrags.

der landwirtschaftlichen Produktion steigern als auch die negativen externen Effekte verringern. Jedoch sind mögliche Rebound-Effekte in der Landwirtschaft durch Techniken der Präzisionslandwirtschaft bisher wenig in der wissenschaftlichen Literatur diskutiert.

2 Material und Methoden

2.1 Begrifflichkeiten

Im Folgenden werden die für den Beitrag relevanten Begrifflichkeiten definiert. Der Begriff Rebound-Effekt zu Beurteilung der Energie-Effizienz geht unter anderem auf Greening et al. [GGD00] zurück, die ihn aus dem Jevons-Paradox vom namensgebenden Ökonom Jevons abgeleitet haben [A105]. Tabelle 1 gibt einen Überblick über die Begrifflichkeiten.

Begriff	Definition
Jevons-Paradox	Erhöhte Nachfrage einer Ressource infolge der Einführung einer Technologie zur effizienteren Nutzung dieser Ressource; Erhöhte Nachfrage übertrifft die Einsparungen
Rebound-Effekt	Erhöhte Nachfrage nach einer Ressource infolge der Einführung einer Technologie zur effizienteren Nutzung dieser Ressource; Erhöhte Nachfrage übertrifft nicht die Einsparungen
Direkter Rebound-Effekt	Erhöhte Nachfrage nach einer Ressource infolge der Einführung einer Technologie zur effizienteren Nutzung dieser Ressource
Indirekter Rebound-Effekt	Erhöhte Nachfrage nach anderen Ressourcen infolge der Einführung einer Technologie zur effizienteren Nutzung einer Ressource
Wirtschaftsweiter Rebound-Effekt	Summe aus direktem und indirektem Rebound-Effekt

Tab.1: Übersicht der grundlegenden Begrifflichkeiten zum Rebound-Effekt und Jevons-Paradox

Rebound-Effekt ist ein Oberbegriff für mehrere Mechanismen, die dazu führen, dass potenzielle Einsparungen einer Ressource zum Teil durch eine höhere Nachfrage nach der Ressource infolge der Einführung einer potenziell ressourceneinsparenden Technologie kompensiert werden. Rebound-Effekte gehen dabei explizit auf das adaptive Verhalten von Konsumenten und Produzenten zurück [So09; BMV00]. Als Jevons-Paradox wird die Situation bezeichnet, wenn die erhöhte Nachfrage die Einsparungen übertrifft und somit der Konsum der Ressource insgesamt nicht verringert, sondern sogar erhöht wird [A105]. Somit lässt sich zur Unterscheidung feststellen, dass beim Rebound-Effekt lediglich ein

Teil der Einsparungen bzw. die gesamten Einsparungen durch eine erhöhte Nachfrage ausgeglichen werden, während beim Jevons-Paradox die Einsparungen durch die erhöhte Nachfrage übertroffen werden. In der Landwirtschaft finden ICT insbesondere in Form der Präzisionslandwirtschaft Anwendung. Als Präzisionslandwirtschaft bezeichnet man dabei Managementstrategien, die Gebrauch von ICT machen, um Informationen und Daten aus einer Vielzahl von Quellen für die Entscheidungsfindung in der landwirtschaftlichen Produktion zu nutzen [Li17]. In der Präzisionslandwirtschaft wird dabei u.a. Gebrauch von Sensoren gemacht, um Informationen über Umwelt-, Boden- und Pflanzenzustände zu sammeln [AIS14]. Im Speziellen können über Sensoren Informationen über den Befall mit Unkräutern, Krankheiten sowie Schädlingen, die Wasser- sowie Nährstoffversorgung des Bodens und der Pflanzen, die organische Masse sowie den pH-Wert des Bodens, die Biomasse- und Ertragsentwicklung gesammelt werden. Ebenfalls können Trocken-, Hagel- oder Flutschäden erfasst werden [Mu13]. Diese Informationen ermöglichen es dem Landwirt unter Verwendung teilflächenspezifischer Techniken die Inputs präziser an den Bedarf anzupassen, um damit die Effizienz sowie Profitabilität zu steigern bzw. Kosten sowie externe negative Umwelteffekte zu verringern [ANM05].

2.2 Literaturrecherche

Folgende Suchwörter bzw. Kombinationen von Suchwörtern wurden in englischer Sprache für die Literaturrecherche mittels Google Scholar[©] und Web of Science[©] verwendet: *rebound effect, Jevons, Jevons paradox, agriculture, precision agriculture, remote sensing, wireless sensor networks, sensor, resource efficiency, efficiency, nutrients, fertilizer, crop protection, water* und *water management*. Nach dem Screening der Abstracts wurden passfähige Artikel für diesen Beitrag ausgewählt. Weitere Artikel, die nicht explizit durch die Suchwörter gefunden wurden, wurden mittels Kreuzverweise in den ausgewählten Artikeln identifiziert.

3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 Nährstoffe

Der Schwerpunkt in der sensorunterstützten Applikation von Nährstoffen in der Literatur liegt auf der effizienten Ausbringung von Stickstoff (N). Kommerzielle optische N-Sensoren wie z. B. das SPAD-Meter als Handheld-Gerät oder der Yara-N-Sensor als Anbau für die Zugmaschine [Mu13] sind für Landwirte bereits seit längerer Zeit verfügbar. Diese Kopplung der sensorbasierten Messung des N-Bedarfs und einer teilflächenspezifischen Ausbringung ermöglicht eine sehr genaue Anpassung der applizierten Nährstoffmenge an den tatsächlichen Bedarf und kann damit die N-Effizienz steigern. Schieffer und Dillon [SD15] konnten zeigen, dass die Nutzung von Technologien der Präzisionslandwirtschaft wie automatische Lenksysteme und teilflächenspezifische Applikation die Ausbringungsmenge an Düngemitteln steigern kann und es somit zu einem Rebound-Effekt kommt.

Laut den Autoren gab es für die Landwirte einen Anreiz zum höheren Einsatz durch die verringerten Kosten [SD15]. Dies könnte ebenfalls beim Einsatz von Sensoren zur Verbesserung der teilflächenspezifischen Düngung auftreten. Weiterhin kann es zu Rebound-Effekten kommen, wenn auf sehr heterogenen Schlägen die Düngeintensität bisher eher gering war. Die Heterogenität kann in Form der unterschiedlichen Nährstoffbedürfnisse der Pflanzen auf Basis der Informationen der Sensoren besser berücksichtigt werden. Der Rebound-Effekt besteht dann darin, dass die Düngemittelintensität insgesamt steigt.

3.2 Pflanzenschutzmittel

Zur Unterstützung im Pflanzenschutz können ebenfalls Sensoren eingesetzt werden. Zum Beispiel können TIR-Sensoren pilzbedingten Stress identifizieren, bevor es auf der Pflanze zu sichtbaren Symptomen kommt. Auch Veränderungen im Spektrum des reflektierten Licht infolge des Befalls mit Krankheiten oder Schädlingen können mittels Sensoren identifiziert werden [WWP16]. Auf Basis von optischen Sensoren und Bilderkennung können Unkräuter von Kulturpflanzen unterschieden werden bzw. Unkräuter und Krankheiten genau erkannt werden. Schieffer und Dillon [SD15] vermuteten das Auftreten von Rebound-Effekten bei der Ausbringung von Pflanzenschutzmitteln, lieferten allerdings keinen empirischen Nachweis. Rebound-Effekte wären möglich, wenn von wendender auf konservierende Bodenbearbeitung umgestellt wird und somit aufgrund des höheren Unkrautdrucks ein Teil der Einsparungen an Pflanzenschutzmitteln kompensiert wird.

3.3 Wasser

Wasser ist eine der wichtigsten natürlichen Ressourcen der Welt. Insbesondere das Grundwasser, welches zumeist zur Bewässerung eingesetzt wird, nimmt eine bedeutende Position für die landwirtschaftliche Produktion ein [Se18]. Bewässerungstechnologien im Rahmen der Präzisionslandwirtschaft zielen darauf ab, eine bedarfsgerechte Menge zum richtigen Zeitpunkt und am richtigen Ort für die Pflanzen bereitzustellen [Ha15]. Durch eine effizientere Bewässerung ergibt sich das Paradox, dass die applizierte Wassermenge sinkt, aber gleichzeitig das von den Pflanzen konsumierte Wasser steigt, wodurch insgesamt die nachgefragte Wassermenge steigt [Se18]. Gemäß Sears [Se18] kann auch die Nährstoffverfügbarkeit bzw. der Nährstoffverbrauch durch eine bessere Bewässerung ansteigen, wodurch auch die Nachfrage nach Nährstoffen steigen könnte. Empirische Nachweise für das Auftreten von Rebound-Effekten bzw. Jevons-Paradox im Rahmen einer Effizienzsteigerung in der Bewässerung lassen sich dabei z. B. bei Li und Zhao [LZ18] sowie Pfeiffer und Lin [PL14] finden. Die Autoren begründen ihre Befunde damit, dass Landwirte durch die effizientere Bewässerungseffizienz einen Anreiz haben, weiteres Ackerland unter Bewässerung zu stellen oder wasserintensivere Kulturen anzubauen.

3.4 Ackerland

Für die Ressource Ackerland im Speziellen lässt sich keine explizite Sensortechnik benennen, die die Effizienz bei der Nutzung steigern kann. Vielmehr ist es das Zusammenspiel von Sensoren z. B. zur Unterstützung in der Düngemittel- oder Pflanzenschutzmittelapplikation, welches die Effizienz in der Nutzung von Ackerland durch eine erhöhte Produktivität und Profitabilität, steigern kann. Intuitiv ist folgerichtig, dass eine erhöhte Produktivität und Profitabilität pro Hektar Ackerland dazu führen müsste, dass weniger Land zur Herstellung von Nahrungsmitteln bzw. zur Erreichung der monetären Ziele des Landwirts gebraucht wird. Gemäß Rudel [Ru09] führt allerdings die elastische Nachfrage nach Agrargütern dazu, dass Landwirte aufgrund gesteigener Profitabilität einen Anreiz haben, ihre Produktion auszuweiten. Pfeiffer und Lin [PF18] konnten für die globale Pflanzenproduktion feststellen, dass es trotz der gesteigerten Effizienz in der Ressourcennutzung zu einem Rebound-Effekt durch erhöhte Nachfrage nach Ackerland gekommen ist.

4 Fazit und Ausblick

Der Beitrag konnte in Hinblick auf seinen Titel zeigen, dass Potenzial besteht, die vier betrachteten Ressourcen Ackerland, Nährstoffe in Form von Düngemitteln, Pflanzenschutzmittel und Wasser durch Einsatz von Sensortechniken zu schonen. Gleichzeitig konnten mögliche Rebound-Effekte sowie Tendenzen zum Jevons-Paradox aufgezeigt werden, wodurch das Einsparpotenzial gemindert bzw. ausgesetzt wird. Politikmaßnahmen zur Steigerung der Nachhaltigkeit und des Ressourcenschutzes sowie der Digitalisierung in der Landwirtschaft sollten mögliche Rebound-Effekte bei der Entwicklung der entsprechenden Politiken berücksichtigen. Allerdings fehlt es meinem besten Wissen nach an weiteren empirischen Nachweisen für das Auftreten von Rebound-Effekten im Rahmen der Digitalisierung in der Landwirtschaft.

Literaturverzeichnis

- [AIS14] Abbasi, A. Z.; Islam, N.; Shaikh, Z. A.: A review of wireless sensors and networks' applications in agriculture. *Computer Standards & Interfaces*, 36/2, S. 263-270, 2014.
- [AI05] Alcott, B.: Jevons' paradox. *Ecological Economics*, 54/1, S. 9-21, 2005.
- [ANM05] Adrian, A. M.; Norwood, S. H.; Mask, P. L.: Producers' perceptions and attitudes toward precision agriculture technologies. *Computers and electronics in agriculture*, 48/3, S. 256-271, 2005.
- [BH01] Berkhout, F.; Hertin, J.: Impacts of information and communication technologies on environmental sustainability. Speculations and evidence. Report to the OECD, University of Sussex, Brighton, Volume 21. 2001.
- [BMV00] Berkhout, P. H. G.; Muskens, J. C.; Velthuisen, J. W.: Defining the rebound effect. *Energy policy*, 28/6-7, S. 425-432, 2000.

- [EU12] EU SCAR (2012): Agricultural knowledge and innovation systems in transition. Brüssel, Belgien: EU.
- [GGD00] Greening, L. A.; Greene, D. L.; Difiglio, C.: Energy efficiency and consumption – the rebound effect – a survey. *Energy policy*, 28/6-7, S. 389-401, 2000.
- [Ha15] Harun, A.N. et al.: Precision irrigation using wireless sensor network. In: Proceedings of the 2015 International Conference on Smart Sensors and Application (ICSSA) held 26-28 Mai 2015, Kuala Lumpur, Malaysia. 2015.
- [HR16] Herring, H.; Roy, R.: Technological innovation, energy efficient design and the rebound effect. *Technovation* 27/4, S. 194-203, 2007.
- [KFS17] Khanal, S.; Fulton, J.; Shearer, S.: An overview of current and potential applications of thermal remote sensing in precision agriculture. *Computers and electronics in agriculture*, 139, S. 22-32, 2017.
- [Li17] Lindblom, J. et al.: Promoting sustainable intensification in precision agriculture. Review of decision support systems development and strategies. *Precision agriculture*, 18/3, S. 309-331, 2017.
- [LZ18] Li, H.; Zhao, J.: Rebound effects of new irrigation technologies. The role of water rights. *American Journal of Agricultural Economics* 100/3, S. 786-808, 2018.
- [Mu13] Mulla, D. J.: Twenty five years of remote sensing in precision agriculture. Key advances and remaining knowledge gaps. *Biosystems engineering*, 114/4, S. 358-371, 2013.
- [PF18] Pellegrini, P.; Fernández, R. J.: Crop intensification, land use, and on-farm energy-use efficiency during the worldwide spread of the green revolution. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115/10, S. 2335-2340, 2018.
- [PL14] Pfeiffer, L.; Lin, C-Y. C.: Does efficient irrigation technology lead to reduced groundwater extraction? Empirical evidence. *Journal of Environmental Economics and Management*, 67/2, S. 189-208, 2014.
- [Ru09] Rudel, T. K. et al.: Agricultural intensification and changes in cultivated areas, 1970–2005. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 106/49, S. 20675-20680, 2009.
- [SD15] Schieffer, J.; Dillon, C.: The economic and environmental impacts of precision agriculture and interactions with agro-environmental policy. *Precision agriculture*, 16/1, S. 46-61, 2015.
- [Se18] Sears, L. et al.: Jevons' paradox and efficient irrigation technology. *Sustainability* 10/5, 1590, 2018.
- [So09] Sorrell, S.: Jevons' Paradox revisited. The evidence for backfire from improved energy efficiency. *Energy policy*, 37/4, S. 1456-1469, 2009.
- [WWP16] Wójtowicz, M.; Wójtowicz, A.; Piekarczyk, J.: Application of remote sensing methods in agriculture. *Communications in Biometry and Crop Science* 11/1, S. 31-50, 2016.