

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/391233242>

# Innovation–Population–Fit: Anwendung eines qualitativ–quantitativen Adoptionsmodells auf mehrere digitale Technologien und europäischen Regionen

Conference Paper · February 2025

CITATIONS

0

READS

26

8 authors, including:



[Andreas Gabriel](#)

Weihenstephan-Triesdorf University of Applied Sciences

61 PUBLICATIONS 599 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



[Andreas Meyer-Aurich](#)

Leibniz Institute for Agricultural Engineering and Bioeconomy

94 PUBLICATIONS 2,018 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



[Friederike Schwierz](#)

Leibniz Institute for Agricultural Engineering and Bioeconomy

8 PUBLICATIONS 457 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



[Evangelos Anastasiou](#)

Aristotle University of Thessaloniki

36 PUBLICATIONS 751 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



# GI-Edition

## Lecture Notes in Informatics

J. Dörr, T. Steckel, H. Prankl,  
V. Kruder-Motsch, S. Bosse,  
P. Riegler-Nurscher, H. Floto (Hrsg.)

## Informatik in der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft

Fokus: Digitale Infrastrukturen für eine  
nachhaltige Land-, Forst- und  
Ernährungswirtschaft

Referate der 45. GIL-Jahrestagung  
25. - 26. Februar 2025

Wieselburg, Austria

J. Dörr et al. (Hrsg.):  
Digitale Infrastrukturen für eine nachhaltige Land-, Forst- und  
Ernährungswirtschaft

## Innovation-Population-Fit: Anwendung eines qualitativ-quantitativen Adoptionsmodells auf mehrere digitale Technologien und europäische Regionen

Andreas Gabriel<sup>1</sup>, Andreas Meyer-Aurich<sup>2</sup>, Friederike Schwierz<sup>2</sup>, Evangelos Anastasiou<sup>3</sup>, Elias Maritan<sup>4</sup>, Alma Moroder<sup>5</sup>, Søren Marcus Pedersen<sup>6</sup> und Liisa Pesonen<sup>7</sup>

**Abstract:** Angesichts wachsender Herausforderungen in der europäischen Landwirtschaft untersucht das EU-Projekt D4AgEcol das Potenzial digitaler Technologien für eine nachhaltigere Landwirtschaft. In Zusammenarbeit mit Partnern aus acht Ländern und mithilfe des ADOPT-Tools werden Adoptionsraten und -geschwindigkeiten von ausgewählten Technologien wie z. B. Virtual Fencing, Agrarrobotik und Drohnenapplikationen in Workshops mit Praktikern prognostiziert. Die Ergebnisse der Modellierung zeigen, dass bestimmte Technologien wie eine App für Naturschutzanwendungen oder ‚Green Fertilizer Mapping‘ vielversprechende Adoptionsraten aufweisen, während andere in Abhängigkeit von der untersuchten Zielpopulation geringeres Potenzial haben. Sensitivitätsanalysen identifizieren Schlüsselfaktoren wie „Gewinnerwartung“ und „Umwelteffekte“ bei mehreren Technologien als entscheidend für die Adoption. Die beiden Hauptoutputs des Modells, die maximale Adoptionsrate und der Zeitraum bis zum Erreichen dieses Maximums, sind als Orientierungshilfen zu verstehen. Zusätzliche Sensitivitätsanalysen liefern jedoch wertvolle Hinweise auf das Zusammenwirken von Innovation und Zielpopulation.

**Keywords:** Adoption, Agroecology, digitale Technologien

### 1 Einleitung und Zielsetzung

Angesichts wachsender Herausforderungen in der europäischen Landwirtschaft, wie dem Erhalt der biologischen Vielfalt, der Reduktion von Umweltverschmutzung und der Anpassung an den Klimawandel, sowie einem zunehmenden Arbeitskräftemangel, ist es entscheidend, das transformative Potenzial digitaler Werkzeuge und Technologien für eine nachhaltigere Landwirtschaft zu nutzen. Das EU-geförderte Projekt D4AgEcol vereint zwölf Partner aus acht Ländern, um die Chancen und Herausforderungen der Digitalisierung in der europäischen Landwirtschaft, insbesondere im Kontext des Konzeptes der

---

<sup>1</sup> Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Arbeitsgruppe Digital Farming, Kleeberg 14, 94099 Ruhstorf a. d. Rott, andreas.gabriel@lfl.bayern.de

<sup>2</sup> Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie e. V. (ATB)

<sup>3</sup> Agricultural University of Athens (AUA)

<sup>4</sup> Harper Adams University (HAU)

<sup>5</sup> Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung e. V. (ZALF)

<sup>6</sup> University of Copenhagen (UCPH)

<sup>7</sup> Natural Resources Institute Finland (LUKE)

Agroecology zu untersuchen [FAO18]. Im Rahmen des Projekts werden in den Regionen der Partnerländer Workshops mit Teilnehmenden aus der landwirtschaftlichen Praxis und Beratung durchgeführt, um diese in die Bewertung von ausgewählten digitalen Technologien wie u. a. Virtual Fencing, Feldrobotik und automatisches Maschinenequipment, Drohnen zur Unkrauterkennerung und Mittelapplikation, Apps für Naturschutzanwendungen und Tiergesundheitssensoren einzubeziehen. Die in den Workshops untersuchten digitalen und autonomen Technologien weisen unterschiedliche „Technology Readiness Level“ (TRL) von 5 („Validierung der Technologie im relevanten Umfeld“) bis 9 („Marktreife“) auf. Keine der untersuchten Technologien lag unter einem TRL von 5, was lediglich einer konzeptionellen Funktionsbeschreibung oder einer Versuchsanwendung im Labor gleichkommen würde. Mithilfe des Prognosemodells ADOPT werden sowohl die Potenziale identifiziert als auch mögliche Hemmnisse sowie Einflussfaktoren für die Adoption dieser Technologien bei landwirtschaftlichen Zielgruppen („Populationen“) bewertet. Insbesondere Kenntnisse über Zusammenhänge und die Einflussstärken der insgesamt 22 Modellparameter auf die Adoptionsrate und -geschwindigkeit in einer bestimmten Region unterstützen Technologiehersteller, das landwirtschaftliche Beratungswesen sowie politische Entscheidungsträger dabei, die Faktoren zu verstehen, die die Adoption und Diffusion von Technologien und innovativen Praktiken in der Landwirtschaft fördern.

## 2 Material und Methode

Das verwendete ADOPT-Tool („Adoption and Diffusion Outcome Prediction Tool“) ist ein qualitativ-quantitatives Prognosemodell, das zur Bewertung der Adoption von Innovationen in landwirtschaftlichen Systemen entwickelt wurde [Ku17]. Es ermöglicht auch die Analyse von Technologien oder Praktiken, die sich in einem früheren Technology Readiness Level befinden [Ma24]. Das Tool berechnet anhand von 22 Modellparametern die maximale Adoptionsrate („Peak adoption level“, PAL) sowie den Zeitraum bis zu diesem Maximum („Time to peak adoption“, TPA) innerhalb einer bestimmten regionalen Nutzergruppe (Zielpopulation). Die 22 Modellparameter teilen sich auf vier thematische Bereiche auf, die entweder die Technologie selbst oder den Nutzer betreffen: i.) populationspezifische Einflüsse auf die Erlernbarkeit des Technologieeinsatzes (z. B. beratende Unterstützung, relevante Fähigkeiten und Vorkenntnisse); ii.) der relative Vorteil durch die Zielpopulation, was Faktoren im Zusammenhang mit den potenziellen Anwendern umfasst (z. B. Risikoorientierung, Betriebsgröße und -ausrichtung); iii.) der relative Vorteil der Technologie selbst (z. B. Investitionskosten, Reversibilität, Gewinnerwartung); und iv.), die Lernbarkeit der Technologie (z. B. einfache Erprobung, Beobachtbarkeit in der Praxis). Die Modellparameter werden anhand von 22 Fragen mit vorgegebenen Antwortkategorien bestimmt und nehmen in unterschiedlichen Gewichtungen Einfluss auf die beiden primären Outputs PAL und TPA (siehe dazu [Ku17], supplementary data). Die Bewertung des relativen Nutzens einer Technologie im Gegensatz zur herkömmlichen Praxis, wie etwa der Vergleich des Einsatzes eines Feldroboters gegenüber der üblichen

Feldbearbeitung, hängt somit von den Eigenschaften der Technologie und der potenziellen Nutzergruppe ab. In insgesamt acht Workshops nahmen Fokusgruppen von fünf bis acht Landwirten, Beratern sowie Agrarwissenschaftlern teil. Die individuellen Einschätzungen der Teilnehmenden zu den 22 Fragen wurden dokumentiert und nach der gemeinsamen Diskussionen als Konsenswerte in die Modellsoftware integriert und ausgewertet. Das Modell vereinigt die Modellparameter in zwei Indexwerte; eine quantitative Validierung der Modellgüte ist nicht möglich. Sensitivitätsanalysen helfen jedoch dabei, kritische Einflussfaktoren für eine Technologie zu identifizieren, und ermöglichen regionale Vergleiche.

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Überblick Gesamtergebnisse

Zwischen September 2023 und April 2024 wurden acht Workshops zu unterschiedlichen Technologien und Anwendungen in fünf Ländern durchgeführt. Insgesamt nahmen mehr als 50 Personen unterschiedlicher Perspektive aktiv teil (Tab. 1).

Projekt-partner	Land	Datum Workshop	Behandelte Technologie	TRL	Landwirte/ Berater/ Aka- demiker
UCPH	DEN	29/09/2023	„UAV Thistle tool“	7/8	1/3/3
HAU (1)	UK	13/10/2023	Virtual Fencing (NoFence) a. Intensive Weidehaltung b. Extensiv / Hochland	9	4/3/-
LfL	GER	28/11/2023	Feldroboter (FarmDroid FD20) a. Bioanbau b. Konventioneller Anbau	9	5/2/-
ATB	GER	18/01/2024	Tiersensoren (Bolus)	9	4/2/-
LUKE	FIN	16/02/2024	„Green fertilizer mapping“	5	7/1/-
ZALF	GER	21/02/2024	Naturschutzanwendung (NatApp)	6	5/3/-
AUA	GRE	04/04/2024	Sprühdrohnen im Weinbau (DJI AGRAS T16)	7	3/-/2
HAU (2)	UK	19/04/2024	Nachgerüstete Maschinen für den autonomen Feldeinsatz	7	3/2/-

Tab. 1: Übersicht Workshops und Technologien (TRL= Technology Readiness Level)

An zwei Standorten (LfL in Bayern und Harper Adams University (HAU) in UK) wurden jeweils zwei Modelle für unterschiedliche Zielpopulationen erstellt. In Bayern wurde differenziert, ob der Feldroboter FD20 im konventionellen Zuckerrübenanbau eingesetzt wird (z. B. zur Reduktion des Einsatzes chemisch-synthetischer Pflanzenschutz) sowie bei

Öko-Betrieben (zur Substitution von manuellem Unkrautmanagement). In UK wurde Virtual Fencing von den Teilnehmenden als digitale Technologie bewertet, wenn sie sowohl generell in der intensiven Rinderweidehaltung als auch in der extensiven Weidehaltung in englischen Hochlandgebieten eingesetzt wird. Über alle Workshops hinweg ergab sich eine größere Varianz an Ergebnissen zu den beiden Modelloutputs PAL und TPA. So zeigen die Ergebnisse sehr unterschiedliche Adoptionspotenziale der Technologien, auch in Abhängigkeit vom aktuellen TRL (Abb. 1). Technologien, deren relativer Nutzen und Funktionsweisen gut auf die Bedürfnisse der Nutzer abgestimmt sind („Technology-Population-Fit“), wie die noch nicht marktreife NatApp (durchgeführt vom ZALF) oder das Green-Fertilizer-Mapping (LUKE, Finnland), weisen vielversprechende zukünftige Adoptionsraten und kürzere Zeiträume bis zum Erreichen dieser Maxima auf. Im Gegensatz dazu zeigen Technologien wie der Einsatz von Feldrobotern im konventionellen Zuckerrübenanbau in Bayern (Adoptionsraten  $<1\%$ ) oder Virtual Fencing in der intensiven Weidehaltung in UK ( $3\%$ ) nur sehr geringes Potenzial. Für den Einsatz eines Sä- und Hackroboters im ökologischen Zuckerrübenanbau in Bayern weist das Modell ein PAL von bis zu  $28\%$  auf. Der betrachtete FD20 ist in Bayern auch aufgrund des bestehenden Investitionsförderprogramms (BaySL digital) bereits stark vertreten [Sp23], sodass die prognostizierte Peak-Adoption und ein TPA von 16 Jahren nach Markteinführung in realistischen Bereichen liegen. Der Einsatz von Sprühdrohnen im Weinanbau in Griechenland (AUA) zeigt einen PAL von  $42\%$ , der nach etwa 19 Jahren nach Markteinführung erreicht sein wird.

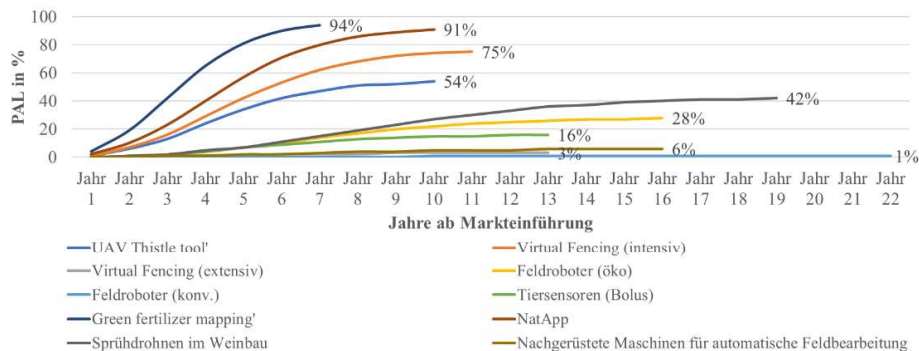


Abb. 1: S-förmiger Adoptionsprozess bis zum Erreichen des PAL nach Jahren der Einführung

Das ADOPT-Tool erlaubt Sensitivitätsanalysen, die einen umfassenden Überblick über die wichtigsten Faktoren geben, die die Marktdurchdringung beeinflussen. Hierzu kann im Modell simuliert werden, wie sich PAL und TPA ändern, wenn einzelne der 22 Parameter um eine Stufe höher oder niedriger bewertet werden. Die Software stellt die Änderungspotenziale für jeden Modellparameter grafisch dar. Parameter wie eine erkennbare „erwartete Rentabilität in den ersten Nutzungsjahren“ (z. B. NatApp bei ZALF; Virtual Fencing in der konservierenden Weidehaltung bei HAU) und „Umwelteffekte“ (z. B.

Green-Fertilizer-Tool bei LUKE) spielen eine wichtige Rolle für das Erreichen höherer PAL. Modellparameter zur leichteren Erlernbarkeit der Technologie, wie ein „Einfaches Ausprobieren vor der Investition“ (z. B. Tiersensoren beim ATB), die „(technische) Komplexität der Technologie“ (z. B. „UAV Thistle Tool“ bei der UCPH) oder die „Relevanz vorhandener Fähigkeiten und Kenntnisse des Anwenders“ (z. B. Virtual Fencing in der HAU) sind entscheidend für die TPA bei mehreren der in den Workshops behandelten Technologien.

### 3.2 Detailergebnisse zum Einsatz des FD20 im Öko-Zuckerrübenanbau in Bayern

Der PAL von ökologischen Betrieben im Zuckerrübenanbau wird auf 28 % in der Zielpopulation geschätzt. Diese maximale Adoptionsrate wird in dieser Zielpopulation in knapp 16 Jahren nach Markteinführung erreicht. Die Hälfte des geschätzten Maximalwertes (14 %) wird entsprechend der s-förmigen Adoptionskurve in etwa sieben Jahren vorliegen (Abb. 1). Für ökologische Betriebe würde eine „Vereinfachung der Arbeitsorganisation“ durch den Einsatz der Feldroboter die Adoptionsrate erheblich erhöhen (45 %). Ein leichter Zugang zum Testen und Ausprobieren von Feldrobotik würde die Adoption beschleunigen. Neben diesen Faktoren erwiesen sich auch eine Verbesserung der „Gewinnerwartung in den ersten Einsatzjahren“, eine geminderte „Risikoexposition“ und sichtbare positive „Umwelteffekte“ als weitere sensitive Einflussfaktoren zur Erhöhung des PAL bei dieser Zielpopulation. Faktoren wie „Unternehmensgröße“ und „Zeitraum bis zur Erzielung von positiven Umwelteffekten“ haben moderate Effekte auf das PAL. Im Fall des ökologischen Zuckerrübenanbaus in Bayern wird die Zeit bis zur maximalen Adoption (TPA) auch durch „relevante vorhandene Fähigkeiten und Kenntnisse“, eine „Unterstützung durch Beratung“, den „Grad der (technischen) Komplexität der Technologie“ und der „Beteiligung am landwirtschaftlichen Erfahrungsaustausch“ der Nutzer bestimmt.

## 4 Diskussion und Schlussfolgerungen

Das verwendete ADOPT-Tool zeichnet sich durch seine einfache und benutzerfreundliche Anwendung aus. Es wurde von australischen Forschenden und landwirtschaftlichen Beratern als Prognoseinstrument entwickelt, basierend auf aktueller Forschungsliteratur zur Adoption landwirtschaftlicher Innovationen. Das Software-Tool ist vielseitig einsetzbar und ermöglicht den Vergleich von Technologien in unterschiedlichen Regionen. Die Sensitivitätsanalyse liefert wertvolle Hinweise auf die wesentlichen Treiber und Hemmnisse für die Adoption von Technologien sowie auf das Zusammenwirken von Innovation und Zielpopulation („Technology-Population-Fit“). Der Wert des Einsatzes des ADOPT-Tools liegt vornehmlich in der Identifizierung der wichtigsten Einflussfaktoren im Zusammenspiel zwischen den Nutzermerkmalen und -bedarfen und der technologieeitigen Ei-

genschaften in Bezug auf deren relativen Vorteil und Erlernbarkeit. Dennoch ist es wichtig, die methodischen Grenzen der Modellierung zu berücksichtigen und finale Prognosen durch qualitative Einsichten aus den Diskussionen sowie empirisch vorliegenden Daten zu ergänzen und zu bewerten. Die beiden Hauptoutputs des Modells (PAL, TPA) sind als Orientierungshilfen zu verstehen und liefern theoretisch zu erwartende Adoptionsraten anhand der Bewertung der Situation beim Einsatz der Technologie in einer spezifischen Region (z. B. Ostbayern) und einer bestimmten Produktionsausrichtung (z. B. Öko-Zuckerrübenanbau). Die Ergebnisse der ADOPT-Modellierung bieten die Möglichkeit, potenzielle Defizite von marktreifen oder noch zu entwickelnden Technologien (z. B. mangelnde Benutzerfreundlichkeit oder fehlende technische Unterstützung durch die Hersteller) aus der Perspektive der Landwirte festzustellen. Bei mehreren untersuchten Technologien in den Workshops waren die „Gewinnerwartung in den ersten Jahren der Nutzung“ und die sichtbaren „Umwelteffekte“ diejenigen Parameter mit dem stärksten Einfluss auf das PAL. Defizite bei sensitiven Einflussfaktoren manifestieren sich in niedrigeren Adoptionsraten oder -geschwindigkeiten, mit denen eine Innovation den Markt durchdringt. Schlussendlich bietet auch der Prozess der Modellandwendung selbst in den Diskussionsrunden mit potenziellen Nutzern und anderen landwirtschaftlichen Stakeholdergruppen die Möglichkeit eines intensiven Erfahrungs- und Meinungsaustausches und fördert das Bewusstsein der Teilnehmenden für die entscheidenden Faktoren für die Marktdurchdringung von Technologien in der Landwirtschaft.

## Danksagung

Die Datenerhebung fand im Rahmen des Coordination & Support Action Projektes „Digitalisation as Enabler for Agroecology“ (D4AgEcol) statt (HE-01060759).

## Literaturverzeichnis

- [FAO18] The 10 elements of agroecology: Guiding the transition to sustainable food and agriculture systems. FAO, Rome. <https://www.fao.org/3/i9037en/i9037en.pdf>.
- [Ku17] Kuehne, G. et al.: Predicting farmer uptake of new agricultural practices: A tool for research, extension and policy. In: *Agricultural systems*. 156, 2017.
- [Ma24] Marmont, B. et al.: Predicting future adoption of early-stage innovations for smart farming. In: *Smart Agricultural Technology*. 9 (100549), 2024.
- [Sp23] Spykman, O. et al.: Erste Praxiserfahrung mit einem Feldroboter – Ergebnisse einer Fokusgruppendifkussion mit early adopters. In (Hoffmann, C. Hrsg.): 43. GIL-Jahrestagung, S. 243-254, 2023.