

**Stakeholder perspectives on the contribution of digital technologies to
improve the sustainability of fruit production – a case study on the Lake
Constance region in Germany**

Dissertation to obtain the doctoral degree of Agricultural Sciences (Dr. sc. agr.)

Faculty of Agricultural Sciences

University of Hohenheim

Institute of Social Sciences in Agriculture

Karlsruhe Institute of Technology

Institute for Technology Assessment and Systems Analysis

submitted by

Kirsten Gaber (Moore)

From Toronto, Canada

2024

Executive Summary

Fruit cultivation is facing numerous sustainability challenges including climate change, weather extremes, and societal pressures surrounding the use of agricultural inputs. The value of fruit cultivation extends beyond the production of food, as the places of production are regionally important for ecology, recreation, tourism, and socio-cultural values; thus, sustainability issues threaten not only the future production of fruit, but also the cultural landscape as such. Digitalization in agriculture is progressing at a rapid pace and is frequently heralded as a solution to the current pressures surrounding modern food production. Increased productivity, efficiency gains, and improved transparency along the food value chain, enabled through the implementation of digital technologies, may lead to environmental and socio-economic benefits. Meanwhile, a divide is growing between supporters of digitalization and skeptics who are concerned with the technologies and their short- and long-term impacts. Digital solutions are not always suitable across agricultural sectors and regions due to differences in crop management activities, land-use types (e.g. perennial crop area like orchards versus arable land area for temporary crops), and physical barriers and infrastructure.

At the face of these challenges and the rapid development of digitalization, stakeholder perceptions regarding the influence of digitalization on the sustainability of fruit cultivation must be understood in order to enable a sustainable further development of digital technologies. Particular to the case study region of this dissertation, the Lake Constance region in southern Germany, research on stakeholder perspectives at the interface of sustainability in fruit production and digitalization does not exist. There is a large knowledge gap regarding the attitudes and practical understandings of the stakeholders impacted by the digital transformation of fruit cultivation, as well as what measures are required to support a more user-oriented development. Technology development without the consideration of barriers, user abilities, and user expectations may lead to an imbalanced transformation that may favour certain agricultural sectors, farm sizes, or production systems over others, which may consequently create a regional, demographic, and/or sectoral digital divide.

To this end, this cumulative doctoral work sought to explore the knowledge and views of stakeholders regarding the contribution of digital technologies to improve the sustainability of fruit production by using an empirical and qualitative case-study approach within the setting of sustainability research. The case-study region was the Lake Constance region in Germany, characterized by organic and integrated production (IP) fruit production on small- to medium-sized family farms. This region is the second-largest fruit growing area in the country and plays a critical role in the regional, national, and international food supply. The research questions that have guided this doctoral thesis are as follows: (1) What is the state of the art on digital technologies in fruit production? (2) How do stakeholders perceive digitalized fruit production, adoption and barriers to adoption of the technologies, and do these perceptions differ based on production system or farm size? (3) Do farmers (and other stakeholders) believe that digital technologies can tackle the environmental and social/societal sustainability challenges of fruit production, in both conventional and organic production, and if yes, how? In order to answer these questions, the author comprehensively reviewed over 200 digital tools that can be used by farms in the context of fruit production and conducted a qualitative analysis of 34 interviews with stakeholders along the fruit value chain. The three research articles that form the basis of this cumulative dissertation synergistically answer these questions through the research findings and surrounding scientific literature-based discussions.

Overall, the development of digital tools for this case study region appears to be unsuitable and knowledge on digitalization is uneven. Based on the findings, opportunities for technological development to overcome reported barriers and therefore support a user-oriented transformation

include the development of tools that are cost-efficient, such as tools with multifunctionalities or that are hireable services, and that offer technical support in the local language. Marketing of technologies must be improved, as misguided marketing and inadequate information in the fruit sector may hinder implementation. Political frameworks should prioritize supporting the inclusion of small farms and equal efforts for development and implementation across production systems. The reduction of agricultural inputs and lack of societal acceptance of agriculture were the most frequently reported sustainability challenges for regional fruit production. Stakeholders believed both environmental and socio-economic challenges could be mitigated by digitalization in fruit production, particularly through increased efficiency and improved transparency. However, perceptions of digitalization's chances and challenges varied among individuals, fruit production systems, and farm sizes. Furthermore, the majority of stakeholders believed that digitalization could change the public opinion about fruit production, either through on-farm use of the technologies or through improved transparency along the value chain. Both pathways were reported to potentially create positive or negative impacts; for instance, more transparency can lead to improved trust between farmers and consumers, but could also de-romanticize expectations or contradict the idea of naturalness in agriculture, especially in the case of organic farming. The discourse surrounding the use of digital technologies in fruit farming may be more influential on public opinion than their actual implementation.

According to stakeholders in the Lake Constance region, digitalized technologies can be used as tools to mitigate urgent sustainability challenges in fruit cultivation, but are not a cure-all solution. These technologies must be considered with caution, as they also risk worsening sustainability issues, particularly related to power inequalities and the growth paradigm of greater productivity and efficiency. Therefore, a reprioritization of digitalization focusing on mitigating urgent sustainability issues is required. This should include the supported development and implementation of user-driven technological design, hybrid (human-technological) intelligence for fruit cultivation tasks, and tools that prioritize building trust towards farmers and maintaining their autonomy. Future transdisciplinary research approaches are encouraged in order to meet many of the provided recommendations from this dissertation, such as enabling collaborative technology- and research design, improving foundational knowledge of involved groups through capacity-building measures like trainings, and building trust between actor groups. The results of this work will inform policy makers, researchers, and technology developers to support the fruit production sector to overcome current and future sustainability issues and enable fair, informed participation in the digital transformation of agriculture.

Zusammenfassung

Der Obstanbau steht vor zahlreichen Herausforderungen in Bezug auf die Nachhaltigkeit, darunter Klimawandel, Wetterextreme und gesellschaftlicher Druck im Zusammenhang mit dem Einsatz von Pestiziden und anderen landwirtschaftlichen Betriebsmitteln. Der Wert des Obstanbaus geht über die Produktion von Lebensmitteln hinaus, da die Produktionsorte für die Ökologie, die Erholung, den Tourismus und soziokulturelle Werte von regionaler Bedeutung sind; daher bedrohen die Herausforderungen der Nachhaltigkeit nicht nur die künftige Obstproduktion, sondern auch die Kulturlandschaft der Obstanbaugebiete als solche. Die Digitalisierung in der Landwirtschaft schreitet rasant voran und wird häufig als Lösung für die Nachhaltigkeitsherausforderungen der modernen Lebensmittelproduktion angepriesen. Produktivitätssteigerungen, Effizienzgewinne und eine verbesserte Transparenz entlang der Lebensmittelwertschöpfungskette, die durch den Einsatz digitaler Technologien ermöglicht werden, können zu ökologischen und sozioökonomischen Vorteilen führen. Gleichzeitig wächst die Kluft zwischen den Befürworter*innen der Digitalisierung und den Skeptiker*innen, die sich Sorgen über die Technologien und ihre kurz- und langfristigen Auswirkungen machen. Digitale Lösungen eignen sich nicht immer für alle landwirtschaftlichen Sektoren und Regionen, da es Unterschiede in der Bewirtschaftung, in der Art der Landnutzung (z. B. mehrjährige Anbauflächen wie Obstplantagen im Gegensatz zu Ackerflächen für Zwischenfrüchte) sowie in den physischen Barrieren und der Infrastruktur gibt.

Angesichts dieser Herausforderungen und der rasanten Entwicklung der Digitalisierung muss die Wahrnehmung der Stakeholder zum Einfluss der Digitalisierung auf die Nachhaltigkeit des Obstanbaus verstanden werden, um eine nachhaltige Weiterentwicklung der digitalen Technologien zu ermöglichen. Speziell für die Fallstudienregion dieser Dissertation, die Bodenseeregion in Süddeutschland, gibt es keine Forschung zu Stakeholder Perspektiven an der Schnittstelle von Nachhaltigkeit im Obstbau und Digitalisierung. Es besteht eine große Wissenslücke hinsichtlich der Einstellungen und des praktischen Verständnisses der von der digitalen Transformation des Obstbaus betroffenen Akteure sowie der Frage, welche Maßnahmen erforderlich sind, um eine nutzerorientierte Entwicklung zu ermöglichen. Eine Technologieentwicklung ohne Berücksichtigung von Hindernissen, Nutzerfähigkeiten und Nutzererwartungen kann zu einer unausgewogenen Transformation führen, die bestimmte landwirtschaftliche Sektoren, Betriebsgrößen oder Produktionssysteme gegenüber anderen begünstigt, was in der Folge zu einer regionalen, demografischen und/oder sektoralen digitalen Kluft führen kann.

Vor diesem Hintergrund wurden in dieser kumulativen Doktorarbeit das Wissen und die Ansichten von Akteuren in Bezug auf die Rolle digitaler Technologien für die Nachhaltigkeit der Obstproduktion erforscht, indem ein empirischer und qualitativer Fallstudienansatz im Rahmen der Nachhaltigkeitsforschung verwendet wurde. Die Fallstudienregion war die Bodenseeregion in Deutschland, die durch die ökologische und integrierte Produktion (IP) von Obst in kleinen bis mittelgroßen Familienbetrieben gekennzeichnet ist. Diese Region ist das zweitgrößte Obstanbaugebiet des Landes und spielt eine entscheidende Rolle für die regionale, nationale und internationale Lebensmittelversorgung. Die Forschungsfragen, von denen sich diese Doktorarbeit leiten ließ, lauten wie folgt: (1) Was ist der Stand der Technik bei digitalen Technologien in der Obstproduktion? (2) Wie nehmen die Beteiligten die digitalisierte Obstproduktion, die Akzeptanz und die Hindernisse für die Akzeptanz der Technologien wahr, und unterscheiden sich diese Wahrnehmungen je nach Produktionssystem oder Betriebsgröße? (3) Glauben die Landwirt*innen (und andere Beteiligte), dass digitale Technologien die ökologischen und sozialen/gesellschaftlichen Herausforderungen der Obstproduktion sowohl im konventionellen als auch im ökologischen Anbau bewältigen können, und

wenn ja, wie? Um diese Fragen zu beantworten, hat die Autorin über 200 digitale Tools, die von landwirtschaftlichen Betrieben im Rahmen der Obstproduktion eingesetzt werden können umfassend untersucht und eine qualitative Analyse von 34 Interviews mit Akteuren entlang der Wertschöpfungskette im Obstbau durchgeführt. Die drei Forschungsartikel, die die Grundlage dieser kumulativen Dissertation bilden, beantworten diese Fragen synergetisch durch die Forschungsergebnisse und die Diskussionen in der wissenschaftlichen Literatur.

Insgesamt scheint die Entwicklung digitaler Werkzeuge für diese Fallstudienregion ungeeignet zu sein und das Wissen über Digitalisierung ist uneinheitlich. Basierend auf den Erkenntnissen sind Möglichkeiten für die technologische Entwicklung zur Überwindung der berichteten Barrieren und damit zur Unterstützung einer nutzerorientierten Transformation die Entwicklung von Tools, die kosteneffizient sind, wie z. B. multifunktionale Tools oder mietbare Dienstleistungen, und die technische Unterstützung in der Landessprache bieten. Die Vermarktung von Technologien muss verbessert werden, da fehlgeleitetes Marketing und unzureichende Informationen im Obstsektor die Umsetzung häufig behindern. Politische Rahmenbedingungen sollten vorrangig die Einbeziehung von Kleinbetrieben und gleiche Anstrengungen für die Entwicklung und Umsetzung in allen Produktionssystemen unterstützen. Die Reduzierung der landwirtschaftlichen Inputs und die mangelnde gesellschaftliche Akzeptanz der Landwirtschaft waren die am häufigsten genannten Herausforderungen für die Nachhaltigkeit der regionalen Obstproduktion. Die Stakeholder waren der Meinung, dass sowohl ökologische als auch sozioökonomische Herausforderungen durch die Digitalisierung in der Obstproduktion entschärft werden könnten, insbesondere durch höhere Effizienz und verbesserte Transparenz. Die Chancen und Herausforderungen der Digitalisierung wurden jedoch je nach Person, Obstproduktionssystem und Betriebsgröße unterschiedlich wahrgenommen. Darüber hinaus glaubte die Mehrheit der Stakeholder, dass die Digitalisierung die öffentliche Meinung über die Obstproduktion verändern könnte, entweder durch den Einsatz der Technologien auf dem landwirtschaftlichen Betrieb oder durch eine verbesserte Transparenz entlang der Wertschöpfungskette. Es wurde berichtet, dass beide Wege positive oder negative Auswirkungen haben können; so kann beispielsweise mehr Transparenz zu einem größeren Vertrauen zwischen Landwirt*innen und Verbraucher*innen führen, aber auch die Erwartungen entromantisieren oder der Vorstellung von Natürlichkeit in der Landwirtschaft widersprechen, insbesondere im Fall des ökologischen Landbaus. Der Diskurs über den Einsatz digitaler Technologien im Obstanbau kann die öffentliche Meinung stärker beeinflussen als ihre tatsächliche Umsetzung.

Nach Ansicht von Akteuren in der Bodenseeregion können digitalisierte Technologien als Instrumente zur Entschärfung dringender Nachhaltigkeitsprobleme im Obstanbau eingesetzt werden, sind aber kein Allheilmittel. Diese Technologien müssen mit Vorsicht betrachtet werden, da sie auch das Risiko bergen, Nachhaltigkeitsprobleme zu verstärken, insbesondere im Zusammenhang mit Machtungleichheiten und dem Wachstumsparadigma der höheren Produktivität und Effizienz. Daher ist eine Neupriorisierung der Digitalisierung erforderlich, die sich auf die Entschärfung dringender Nachhaltigkeitsprobleme konzentriert. So sollten die Entwicklung und Umsetzung von nutzergesteuertem Technologiedesign, hybrider (menschlich-technischer) Intelligenz für Obstanbauaufgaben und Werkzeugen unterstützt werden, die den Aufbau von Vertrauen gegenüber Landwirt*innen und die Wahrung ihrer Autonomie in den Vordergrund stellen. Zukünftige transdisziplinäre Forschungsansätze werden angeregt, um viele der in dieser Dissertation gegebenen Empfehlungen zu erfüllen, wie z. B. die Ermöglichung eines kollaborativen Technologie- und Forschungsdesigns, die Verbesserung des Grundlagenwissens der beteiligten Gruppen durch kapazitätsbildende Maßnahmen wie Schulungen und die Vertrauensbildung zwischen den Akteursgruppen. Die Ergebnisse dieser Arbeit bieten Informationen für politische Entscheidungsträger, Forscher und Technologieentwickler, um den Obstproduktionssektor bei der

Bewältigung aktueller und zukünftiger Nachhaltigkeitsprobleme zu unterstützen und eine faire, informierte Teilnahme an der digitalen Transformation der Landwirtschaft zu ermöglichen.