

Verbundprojekt

Vernetzung, Synergien und Transfer im Gartenbau 4.0

HortiCo 4.0
ZUKUNFT GARTENBAU

Handlungsempfehlungen und Forschungsbedarf zur Digitalisierung im Gartenbau

**Sabine Ludwig-Ohm, Walter Dirksmeyer, Martin Geyer, Phillip Hildner,
Guido Rux, Jan Schattenberg**

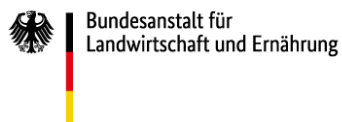
unter Mitarbeit von

**Christoph Hintze, Marike Isaak, Isabelle Lampe, Norbert Laun,
Mariska Schäffer, Stefanie Wendt**

Gefördert durch



Projektträger



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Projektkoordination:

Thünen-Institut für Betriebswirtschaft

Johann Heinrich von Thünen-Institut

Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei

Bundesallee 50

38116 Braunschweig

Projektkoordinator:

Dr. Walter Dirksmeyer

Tel.: 0531 596-5136

Fax: 0531 596-5199

E-Mail: walter.dirksmeyer@thuenen.de

Braunschweig, 14. Oktober 2024

Inhalt

| | | |
|----------|---|----------|
| 1 | Einleitung | 1 |
| 2 | Handlungsempfehlungen für Politik und Akteure der gartenbaulichen Wertschöpfungsketten | 1 |
| 2.1 | Das Forschungsumfeld gestalten | 2 |
| 2.2 | Bildung und Wissenstransfer zur Digitalisierung im Gartenbau stärken | 4 |
| 2.3 | Das Management von digitalen Daten erleichtern | 6 |
| 2.4 | Rechtliche und technische Rahmenbedingungen schaffen | 7 |
| 3 | Zukünftiger Forschungsbedarf zur Digitalisierung im Gartenbau | 8 |
| 3.1 | Monitoring, Sensoren & Datenerhebung | 9 |
| 3.2 | Datenanalyse & Informationsfusion | 10 |
| 3.3 | Smart Horticulture & Informationsmanagement | 11 |
| 3.4 | Automatisierung & Robotik | 11 |
| 3.5 | Übergreifende Begleitforschungsthemen | 12 |

1 Einleitung

Digitalisierung und Automatisierung bieten auch im Gartenbau große Chancen zur Optimierung von Produktions- und Arbeitsprozessen und zur Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit. Um die Integration von 4.0-Technologien im Gartenbau zu beschleunigen, etablierte das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) im Programm für Innovationsförderung eine Förderrichtlinie für einen Gartenbau 4.0 und förderte von 2019 bis 2024 zwölf FuE-Projekte und das Vernetzungs- und Transferprojekt HortiCo 4.0.

Die zwölf FuE-Projekte umfassten mehr als 60 Institute, Forschungseinrichtungen und Unternehmen und über 100 Projektverantwortliche und -bearbeitende. Die Projektthemen waren inhaltlich sehr breit aufgestellt und fokussierten auf den nachhaltigen Einsatz von Ressourcen, die Optimierung von Produktionsprozessen und die Entwicklung von intelligenten Datenmanagementsystemen.

HortiCo 4.0 vernetzte die Akteure der FuE-Projekte miteinander, um Synergien zwischen den Projekten zu fördern, und sorgte für den Wissenstransfer der Forschungsergebnisse in die interessierte Fachwelt und die breite Öffentlichkeit, um Adoption und Akzeptanz von 4.0-Technologien im Gartenbau zu erleichtern.

Eine Technikfolgenabschätzung zu den Auswirkungen der in den FuE-Projekten in Entwicklung stehenden 4.0-Technologien auf Betriebe, Sektor und Gesellschaft und eine SWOT-Analyse zu den Chancen und Risiken der Digitalisierung für den Gartenbau^{1,2,3} bildeten die Grundlage für die nachfolgenden Handlungsempfehlungen und den zukünftigen Forschungsbedarf zur Digitalisierung im Gartenbau.

2 Handlungsempfehlungen für Politik und Akteure der gartenbaulichen Wertschöpfungsketten

Aufbauend auf den Erkenntnissen aus Technikfolgenabschätzung und SWOT-Analyse wurden die Handlungsempfehlungen auf einem Workshop im März 2024 mit dem HortiCo 4.0-Team, das aus

¹ Thünen-Institut (2024) Schlussbericht zum Verbundprojekt: Vernetzung, Synergien und Transfer im Gartenbau 4.0 (HortiCo 4.0) – Teilprojekt 1

² ATB – Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie (2024) Schlussbericht zum Verbundprojekt: Vernetzung, Synergien und Transfer im Gartenbau 4.0 (HortiCo 4.0) – Teilprojekt 2

³ Technische Universität Braunschweig (2024) Schlussbericht zum Verbundprojekt: Vernetzung, Synergien und Transfer im Gartenbau 4.0 (HortiCo 4.0) – Teilprojekt 3

zwölf Fachleuten aus den fünf beteiligten Institutionen mit Expertise aus Produktion, Technik, Ökonomie, Ausbildung und Beratung im Gartenbau sowie aus dem Maschinenbau bestand, erarbeitet.

Die Handlungsempfehlungen fokussieren auf die Bereiche Forschungsumfeld, Bildung und Wissenstransfer, Datenmanagement sowie auf rechtliche und technische Rahmenbedingungen:

2.1 Das Forschungsumfeld gestalten

- Ein **3-stufiges Fördersystem** könnte dazu beitragen, mehr technologische Entwicklungen in die Praxis zu bringen, sodass das „Tal des Todes“ zwischen Forschungsergebnis und praxisreifer Anwendung⁴ leichter überwunden werden könnte.

Die 1. Stufe eines solchen Fördersystems sollte sich auf die Förderung von grundlegenden Forschungsarbeiten zu den Basistechnologien fokussieren, z. B. Orientierung von Drohnen im Gewächshaus, sicheres Manövrieren von autonomen Fahrsystemen in Raumkulturen oder akustische Analysen zu den unterschiedlichen Geräuschen von Insekten. Parallel zu den technologischen Entwicklungen könnten grundlegende Technikfolgenabschätzungen erarbeitet werden, um gesellschaftliche Normen und Werte in den Forschungsprozess einzubinden und damit die Akzeptanz von digitalen Technologien zu steigern.⁵

In der 2. Stufe des Fördersystems sollte die Entwicklung von Applikationen für den Gartenbau gefördert werden, die auf die Basistechnologien aufsetzen. Nachdem in der vorangegangenen Stufe die Funktionsfähigkeit der Basistechnologien sichergestellt wurde, geht es nun um die Anpassung dieser Technologien auf gartenbauliche Fragestellungen, z. B. zum Einsatz von Drohnen zum Pflanzenschutz im Gewächshaus oder von Schädlingskontrollen im Obstbau.

Nach einem Evaluierungsprozess zu den Erfolgsaussichten sollte sich die Förderung in der 3. Stufe auf die Weiterführung zur Praxisreife fokussieren.⁶ Nachdem in der zweiten Stufe die prinzipiellen Erkenntnisse zum Einsatz im Gartenbau erarbeitet wurden, liegt der Fokus in dieser Stufe – gemeinsam mit Partnern aus der Industrie – auf der Überführung zur Praxisreife.

⁴ Bokelmann W, Doernberg A, Schwerdtner W, Kuntosch A, Busse M, König B, Siebert R, Koschatzky K, Stahlecker T (2012) Sektorstudie zur Untersuchung des Innovationssystems der deutschen Landwirtschaft. Humboldt-Universität zu Berlin, <https://doi.org/10.18452/13522>

⁵ Jäger JFJ (2023) Verantwortungsvolle Forschung und Innovation: Eine sozioökonomische Analyse von Forschungsprojekten zur Digitalisierung im Gartenbau. Masterarbeit am Albrecht-Daniel-Thaer-Institut für Agrar- und Gartenbauwissenschaft der Humboldt-Universität zu Berlin, 82p. (unveröffentlicht)

⁶ HortiCo 4.0 (2023) Empfehlungen für die künftige Ausrichtung von Politik- und Forschungsförderung. Ergänzung zu den Sachstandsmitteilungen zum 30.06.2023 an die BLE (unveröffentlicht)

Dies erfordert vielfach Langzeitversuche von mindestens drei Jahren, um z. B. Erfahrungen in verschiedenen Kulturjahren mit unterschiedlichen Witterungsausprägungen etc. zu sammeln.

Die Stufen 2 und 3 sind vergleichbar mit der aktuellen BLE-Innovationsförderung und den Projekten der Deutschen Innovationspartnerschaft Agrar (DIP). Es wird empfohlen, die Förderung von Basistechnologien als eigenständigen Bereich zu etablieren und alle drei Stufen eng miteinander zu verzahnen, da sie aufeinander aufbauen. Damit sollten zukünftige Forschungsprojekte die prinzipielle Chance erhalten, alle drei Stufen nacheinander durchlaufen zu können, ohne auf thematisch passende neue Ausschreibungsverfahren hoffen zu müssen bzw. im „Tal des Todes“ zu verschwinden.

Zusätzlich könnte ein **modularer Aufbau von Forschungsprojekten** zu einer größeren Forschungseffizienz beitragen. Anstelle der gängigen Vorgehensweise, von der (technischen) Prüfung geeigneter Bauteile bis zur Entwicklung eines einsatzfähigen Produkts alle Analyseschritte in einem Gesamtpaket zu bearbeiten, könnten sich Projekte zunächst auf Schwerpunkte der Basistechnologien fokussieren, z. B. auf die Entwicklung einer universell einsetzbaren autonom fahrenden Plattform oder das Testen von Sensoren für den Einsatz im Gartenbau. Für das Zusammenfügen der separat entwickelten Module sind definierte Schnittstellen von besonderer Relevanz, um bereits entwickelte Bauteile ohne zeitraubende technische Anpassungen in nachfolgenden Projekten weiternutzen zu können. Eine solche Vorgehensweise würde dazu beitragen, Erkenntnisse für nachfolgende Projekte schneller verfügbar zu machen (vgl. Tabelle 1).

Tabelle 1: Beispiel für ein 3-stufiges Fördersystem von Projekten mit modularem Aufbau

| Innovation „Digitales Entscheidungsunterstützungssystem für den Pflanzenschutz“ | | |
|---|--|---|
| Stufe 1 | Modul 1 | Entwicklung einer universell einsetzbaren autonom fahrenden Plattform |
| | Modul 2 | Testen von kostengünstigen Sensoren für den Einsatz im Gartenbau |
| | Modul 3 | Entwicklung von Verfahren zur optischen Erkennung von Schädlingen |
| Stufe 2 | Zusammenfügen der Module 1 bis 3 und Entwicklung eines (autonomen) Entscheidungsunterstützungssystems (autonomer Roboter) für den Pflanzenschutz unter Versuchsbedingungen | |
| Stufe 3 | Weiterführung des (autonomen) Systems zur Praxisreife | |

Quelle: eigene Darstellung.

- Für die Implementierung der Forschungsergebnisse aus der Gartenbau 4.0-Förderung in die Praxis sind im Anschluss an Stufe 3 **Modell- und Demonstrationsvorhaben** (MuD) denkbar⁷,

⁷ Vergleichbar zu den MuD zum Torfersatz TerZ und ToSBa.

z. B. ein „Experimentierfeld Gartenbau“ oder eine „Zukunftsinitiative Digitalisierung im Gartenbau“. Da der Gartenbau 4.0 aktuell zwischen Stufe 1 und 2 steht, die digitalen Technologien demzufolge noch (weiter-)entwickelt werden müssen, sind MuDs erst zu einem späteren Zeitpunkt erfolgversprechend.

- Bei Forschungsanträgen mit ähnlichen Fragestellungen könnten vom Projektträger initiierte **Forschungskooperationen** dazu beitragen, mit kollaborativer Zusammenarbeit verschiedener Forschungseinrichtungen/Institutionen die Erkenntnisgewinnung zu erhöhen.
- Mit Blick auf die Forschungseffizienz ist auch ein offener Umgang mit Forschungsdaten zweckdienlich. Deshalb sollte in allen geförderten Projekten ein entsprechendes Forschungsdatenmanagement (FDM) etabliert werden, wie es in HortiCo 4.0 bereits angestrebt wurde.⁸ Nachfolgende Projekte können auf diesen Daten aufbauen, ohne erneut eigene Daten generieren zu müssen. Dabei ist zu beachten, dass für das **Etablieren eines FDM** mit Dokumentation und Bereitstellung von Forschungsdaten zusätzliche zeitliche Ressourcen benötigt werden, die bei der Bewilligung von Projekten berücksichtigt werden müssen. Des Weiteren sollte bereits in der Antragsphase abgefragt werden, ob bereits existierende Daten genutzt werden können, um Daten nicht erneut erheben zu müssen.
- Die von der Deutschen Gartenbauwissenschaftlichen Gesellschaft (DGG) initiierten Diskussionen für einen **Neustart der universitären Gartenbauwissenschaften** zeigen, dass eine breite gartenbauliche Forschung in Deutschland essenziell ist.⁹ Mit einem ergänzenden „Lehrstuhl für Digitalisierung in der hochintensiven Pflanzenproduktion“ könnte ein wichtiger Beitrag für die Forschung zu 4.0-Technologien und für die Ausbildung von Führungskräften zur Digitalisierung im Gartenbau geleistet werden.

2.2 Bildung und Wissenstransfer zur Digitalisierung im Gartenbau stärken

Der Einsatz von 4.0-Technologien im Gartenbau erfordert von den Fach- und Führungskräften zusätzliche technologische Fähigkeiten und neue Qualifikationen. Daher ist es wichtig, die Kompetenzen bzgl. Digitalisierung und Künstlicher Intelligenz (KI) bei allen Akteuren im Gartenbau durch Aus- und Weiterbildung sowie Beratung aufzubauen bzw. zu stärken. Wenngleich Bildung im föderalen

⁸ ATB – Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie (2024) Schlussbericht zum Verbundprojekt: Vernetzung, Synergien und Transfer im Gartenbau 4.0 (HortiCo 4.0) – Teilprojekt 2

⁹ DGG – Deutsche Gartenbauwissenschaftliche Gesellschaft e. V. (2024) Konzept für einen Neustart der gartenbauwissenschaftlichen Forschung und Ausbildung an Universitäten in Deutschland. Online verfügbar: https://dgg-online.org/wp-content/uploads/2024/03/Konzept_Neustart_Gartenbauwissenschaften_08_03_24.pdf (letzter Abruf: 26.09.2024)

System der Bundesrepublik Ländersache ist, werden Handlungsempfehlungen für Bildung und Wissenstransfer wegen ihrer zentralen Rolle für die Implementierung von 4.0-Technologien in die Praxis benannt und eine enge Abstimmung zwischen dem Bund und den Ländern empfohlen.

Handlungsempfehlungen für die Bundesländer

- Für eine adäquate digitale Ausbildung von Fach- und Führungskräften im Gartenbau ist die **Weiterbildung von Lehr- und Beratungskräften** von zentraler Bedeutung.
- Neben den „klassischen“ Weiterbildungsangeboten in Präsenz sollten **virtuelle Weiterbildungsangebote** entwickelt werden, damit sich Fach- und Führungskräfte aller Altersgruppen über Online-Plattformen flexibel und ortsunabhängig digitale Kompetenzen aneignen können.

Handlungsempfehlungen für länderübergreifende Aktivitäten (Bund-Länder-Zusammenarbeit)

- Neben einer entsprechenden technischen Ausstattung und IT-Infrastruktur der Bildungseinrichtungen muss auch auf die Bereitstellung von digitalen Technologien in der Aus- und Weiterbildung fokussiert werden, um digitale Systeme in der Praxis erfolgreich anwenden zu können – insbesondere bei zunehmender Bedeutung von KI und sozialen Netzwerken. In Analogie zu den von Matthes et al. (2019)¹⁰ postulierten Technologiezentren für die Wissensvermittlung könnten „**Digitale Innovationshöfe**“ länderübergreifend etabliert werden, um Fach- und Führungskräfte mit digitalen Anwendungen vertraut zu machen. An wenigen Standorten in Deutschland könnten sich beispielsweise DEULA-Bildungszentren auf 4.0-Technologien im Gartenbau spezialisieren und diese demonstrieren, sodass Fach- und Führungskräfte den Umgang damit erlernen können.¹¹
- Für eine erfolgreiche Implementierung von 4.0-Technologien in die Gartenbaupraxis könnten **Kompetenznetzwerke zur Digitalisierung** die Betriebsleitungen bei der digitalen Transformation mit entsprechenden Beratungsangeboten unterstützen.

¹⁰ Matthes B, Dauth W, Dengler K, Gartner H, Zika G (2019) Digitalisierung der Arbeitswelt: Bisherige Veränderungen und Folgen für Arbeitsmarkt, Ausbildung und Qualifizierung. IAB-Stellungnahme 11/2019

¹¹ Vergleichbar dem Elektro Technologie Zentrum, einem bundesweit anerkannten Kompetenzzentrum für die Aus- und Weiterbildung in der Elektro- und Informationstechnik, mit Standort in Stuttgart und Aalen (<https://www.etz-stuttgart.de/>).

2.3 Das Management von digitalen Daten erleichtern

Mit der Digitalisierung von betrieblichen Prozessen wird eine Vielzahl an Daten erhoben, verarbeitet und gespeichert, sodass Regelungen zu Datenhoheit und Datensicherheit erforderlich sind. Der Schutz persönlicher Daten, z. B. von Mitarbeitenden, ist auch in diesen Fällen durch die Datenschutzgrundverordnung (DSGVO) geregelt. Der EU Data Act, der ab September 2025 EU-weit anzuwenden ist, gibt Richtlinien für die Nutzung und den Austausch von betrieblichen Daten vor und regelt Fragen von Datenhoheit und Interoperabilität. Dabei sollen insbesondere kleine und mittlere Unternehmen (KMU) vor unfairen Vertragsklauseln großer Unternehmen geschützt werden.

- Es sollten Verfahren für eine **digitalisierte Erhebung und Bereitstellung von entscheidungsrelevanten Daten** entwickelt werden. Dies sollte sowohl die Digitalisierung vorhandener Daten, z. B. historische Wetterdaten, als auch eine digitalisierte Datenerfassung von künftigen Daten umfassen. Dazu sollte auch eine **digitale Verfügbarkeit von öffentlichen Daten**, z. B. GIS-Daten oder Informationen zur Pflanzenschutzmittelzulassung, gehören. Um eine breite Nutzbarkeit solcher Daten zu gewährleisten, sollte die Verwaltung und Strukturierung der Datenmengen unter Anwendung der FAIR-Prinzipien erfolgen.^{12,13} In Analogie zum FDM könnte ein **Betriebsdatenmanagementsystem** für eine effiziente Erhebung, Bereitstellung und Archivierung derartiger Daten sorgen.
- In den Forschungsprojekten entstehen vielfach Insellösungen, die nach Projektende selten verfügbar sind. Um Forschungsressourcen sparsam einzusetzen und eine schnellere Implementierung der Ergebnisse in die Praxis zu gewährleisten, sollten Open-Source-Ansätze bzw. die Vergabe von Lizenzrechten für die **Nachnutzung von Forschungsdaten** angestrebt werden. Darüber hinaus könnte ein **Datenpool mit Standarddatensätzen** aufgebaut und diese zu Trainingsdaten ausgebaut werden, um zukünftige Forschungsergebnisse zu validieren.¹⁴ Daten aus Hyperspektralkameras könnten beispielsweise für eine KI-basierte Bildanalyse zum Monitoring weiterer Schad-/Nutzinsekten genutzt werden.

¹² BMEL – Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (2022) Positionspapier „Datenmanagement in der Landwirtschaft“ des Kompetenznetzwerks Digitalisierung in der Landwirtschaft. Online verfügbar: https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/_Digitalisierung/positionspapier-datenmanagement.html (letzter Abruf: 26.09.2024)

¹³ INRIA und INRAE White Book (2022) Agricultural and Digital Technology: Getting the most out of digital technology to contribute to the transition to sustainable agriculture and food systems. Online verfügbar: https://www.inria.fr/sites/default/files/2022-02/white-paper-agriculture-digital-technology-2022_INRIA_BD.pdf (letzter Abruf: 26.09.2024)

¹⁴ HortiCo 4.0 (2022) Protokoll der Gartenbau 4.0-Netzwerktage 2022 vom 21. bis 23. Juni 2022 im Priesterhaus in Kevelaer (unveröffentlicht)

- Mit dem Zusammenführen vieler digitaler Daten könnte ein deutlicher Mehrwert für die Gartenbaubetriebe generiert werden, wenn ein **vertrauenswürdiges Datensystem** mit gemeinsamer Nutzung von dezentralen Daten durch Datenaustauschdienste aufgebaut werden könnte. Mit dem EU Data Act, der explizit regelt, dass Datennutzer berechtigt sind, ihre Daten zu erhalten und diese Daten an Dritte zu kommerziellen/nicht-kommerziellen Zwecken weiterzugeben, sind Projekte zu Big Data-Analysen oder zum maschinellen Lernen denkbar.
- Beim Einsatz von digitalen Systemen in der gärtnerischen Praxis besteht die grundsätzliche Gefahr von Infrastrukturausfällen, z. B. längerfristige Internetstörungen, gravierende Systemabstürze oder Cyberangriffe, in dessen Folge der Betrieb nur eingeschränkt fortgesetzt werden kann. Deshalb kommt der Resilienz, also der **Ausfall- und Cybersicherheit von digitalen Systemen**, eine große Bedeutung zu, die beispielsweise durch eine hybride Nutzung mit Online- und Offline-Anwendungen gewährleistet werden könnte.¹⁵

2.4 Rechtliche und technische Rahmenbedingungen schaffen

Aktuelle rechtliche und technische Rahmenbedingungen erschweren den Einsatz von digitalen Technologien im Gartenbau, z. B. fehlende Mobilfunknetzabdeckung auf den Produktionsflächen, hohe Sicherheitsanforderungen beim Einsatz von autonomen Systemen und Datenhoheitsfragen bei der Nutzung von betriebsspezifischen Daten. Darüber hinaus stellt die Vielfalt an Datenschnittstellen, ein Fehlen von Datenstandards und ein Fehlen von elektrischen und mechanischen Schnittstellen, ein großes Manko dar, sodass digitale Einzelsysteme nicht effizient miteinander vernetzt werden können. Bislang gibt es lediglich die genormte Schnittstelle für die Landwirtschaft, den ISOBUS, der einen einfachen Datenaustausch zwischen Traktor und Anbaugeräten ermöglicht.

- Für die Implementierung von 4.0-Technologien sind Fragen nach der **Haftung für Sach- und Personenschäden** bedeutsam, die vor einer Markteinführung geklärt sein sollten. Daher kann es hilfreich sein, diesbezügliche Aspekte bereits im Forschungsprozess zu adressieren und Berufsgenossenschaften und Versicherungen einzubinden, um die Systementwicklung darauf abzustimmen. Zudem sollten bisherige Regelungen zum Arbeitsschutz überprüft und fortgeschrieben werden, um einerseits die **Arbeitssicherheit im Gartenbaubetrieb** zu gewährleisten und andererseits ein effizientes Arbeiten mit den neuen Technologien zu ermöglichen, z. B. beim Einsatz von Drohnen, autonomen Plattformen oder Lasern.

¹⁵ BMEL – Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (2022) Positionspapier „Datenmanagement in der Landwirtschaft“ des Kompetenznetzwerks Digitalisierung in der Landwirtschaft. Online verfügbar: https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/_Digitalisierung/positionspapier-datenmanagement.html (letzter Abruf: 26.09.2024)

- Der **flächendeckende Ausbau der digitalen Infrastruktur**, d. h. 5G-Netzabdeckung und Glasfaserausbau auch in ländlichen Regionen, ist eine wesentliche Voraussetzung für den Einsatz von 4.0-Technologien im Gartenbau.
- In Analogie zum ISOBUS-Standard, der für eine herstellerübergreifende Kommunikation von Trecker und Anbaugerät steht, sollten **standardisierte IT-Systemschnittstellen** definiert und **standardisierte physische Schnittstellen** entwickelt werden, um die Konnektivität verschiedener digitaler Systeme zu ermöglichen. Von derartigen Standards kann auch die Forschung profitieren, weil zeitaufwendige Anpassungen von Schnittstellen entfielen.

3 Zukünftiger Forschungsbedarf zur Digitalisierung im Gartenbau

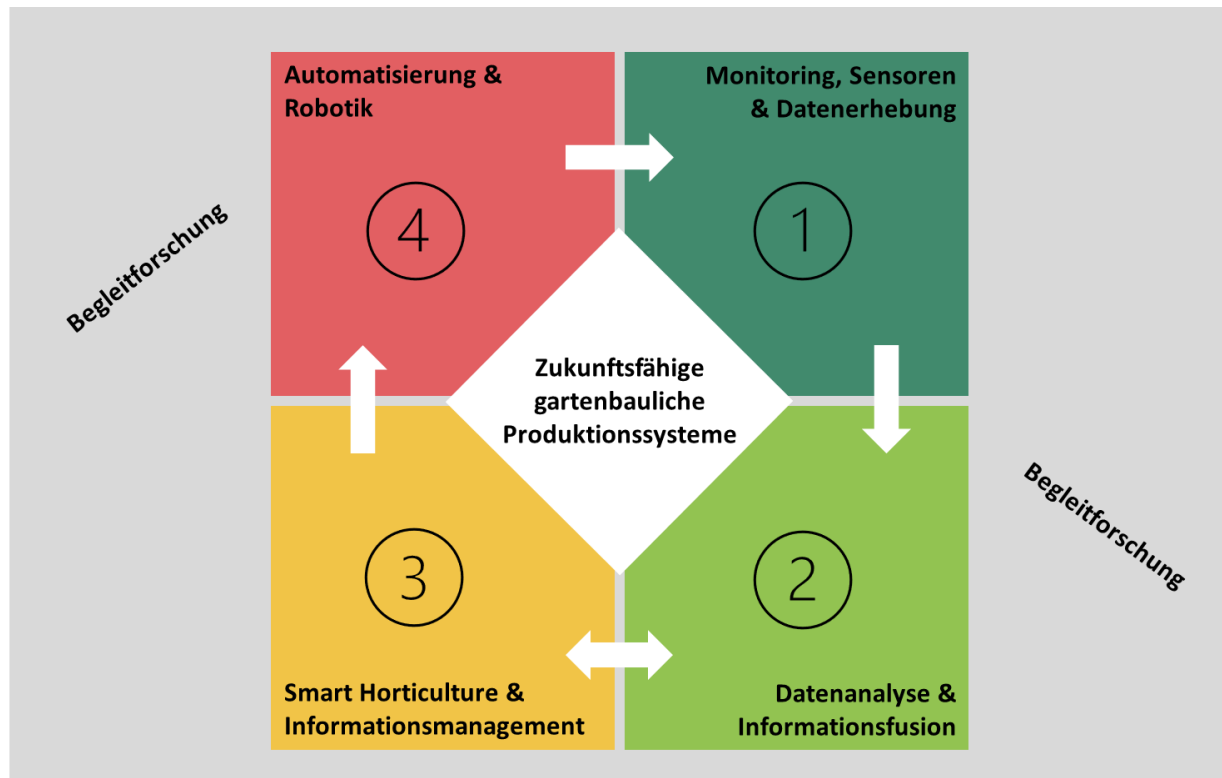
Forschungsarbeiten zur Digitalisierung im Gartenbau sollen zukunftsfähige gartenbauliche Produktionssysteme entwickeln – mit dem Fokus auf an die Klimaänderungen angepassten Produktionsverfahren, alternativen Produktionssystemen (z. B. ZINEG 2.0, Indoor Farming, Agri-Photovoltaik) und die Übertragung von bereits entwickelten Konzepten auf (andere) gartenbauliche Kulturen.

Grundlage für die Arbeiten an den Empfehlungen für zukünftige Forschungsthemen waren die für das BMEL erstellten vorläufigen Empfehlungen zum weiteren Forschungsbedarf¹⁶ und die finalen Diskussionen hierzu mit dem HortiCo 4.0-Projektbeirat im November 2023.

Die für die vorläufigen Empfehlungen identifizierten Forschungsbereiche „Betriebsmanagementsysteme“, „Monitoring und Sensoren für ressourceneffizientes Wirtschaften“, „Sozio-ökonomische Analysen“ und „Zukunftsfähige gartenbauliche Produktionssysteme“ wurden zu vier miteinander vernetzten Forschungsschwerpunkten und verschiedenen Begleitforschungsaufgaben weiterentwickelt, die aufeinander aufbauen (Abbildung 1). Parallel zu den Technikentwicklungen sollte eine schwerpunktübergreifende Begleitforschung durchgeführt werden. Eine Priorisierung des Forschungsbedarfs wird als schwierig erachtet.

Darüber hinaus sollten auch grundlegende Forschungsprojekte zu den Basistechnologien gefördert werden, um mit einem entsprechenden FDM Daten für weiterführende anwendungsorientierte Forschung verfügbar zu machen.

¹⁶ HortiCo 4.0 (2023) Empfehlungen für die künftige Ausrichtung von Politik- und Forschungsförderung. Ergänzung zu den Sachstandsmitteilungen zum 30.06.2023 an die BLE (unveröffentlicht)

Abbildung 1: Vernetzte Forschungsschwerpunkte zur Digitalisierung im Gartenbau

Quelle: eigene Darstellung.

Die Forschungsschwerpunkte werden mit einer Leitfrage, Beispielen für in diesem Schwerpunkt relevanten Forschungsthemen und den für eine Bearbeitung einzubindenden Forschungsdisziplinen beschrieben:

3.1 Monitoring, Sensoren & Datenerhebung

Dieser Forschungsschwerpunkt fokussiert auf die Erhebung und digitale Bereitstellung von Daten mittels Monitoring, zerstörungsfreiem Messsystemen, Sensoren etc. als Grundlage der Technisierung des Gartenbaus.

Leitfrage: *Wie bekomme ich Daten?*

- Monitoring von pflanzenphysiologischen Zuständen, des Dünge- und Bewässerungsbedarfs als Grundlage für alle wichtigen (teilflächenspezifischen) Kulturmaßnahmen
- Erweiterung des Monitorings von Schädlingen und Schadsymptomen auf das generelle Monitoring von Insekten zum Erfassen von Biodiversität in gärtnerischen Kulturen
- Nachhaltigkeitsmonitoring

- Forschungsarbeiten zur Umwandlung von implizitem gartenbaulichem Wissen in explizites Wissen für eine automatisierte Datenverarbeitung, z. B. durch KI
- Entwicklung und Verbesserung von zerstörungsfreien Messsystemen und Sensoren zur Vernetzung von Arbeitsschritten und für kostengünstige Sensoren
- Erweiterung des Einsatzes von Sensortechnik, z. B. bei Verpackungen zur Vermeidung von Lebensmittelverlusten
- Verfügbarmachen vorhandener analoger Daten und digitaler Datensätze für die Forschung

Forschungsdisziplinen: **Sensortechnik, Gartenbau, Informatik**

3.2 Datenanalyse & Informationsfusion

Im zweiten Schwerpunkt wird die Aufbereitung von Daten und deren Zusammenführung zu Informationen, z. B. durch Mustererkennung, Modelle oder der Verknüpfung von Datenbanken, adressiert.

Leitfrage: Wie können aus Daten neue Informationen und Handlungsempfehlungen generiert werden?

- Interpretation der Sensorinformationen und deren Aufbereitung für (automatisierbare) Handlungsempfehlungen
- Objekterkennung zur Umsetzung automatisierter Kulturmaßnahmen, z. B. für Unkrautbekämpfung, Pflanzenbonitur und Erntemaßnahmen
- Entwicklung von Technologien zur präzisen Positionsbestimmung im Freiland und Gewächshaus
- Entwicklung von digitalen Zwillingen in der Produktion und für virtuelle Warenwirtschaftsmodelle
- Entwicklung von integrierten Entscheidungsunterstützungssystemen (DSS) zur Bündelung, Analyse und Bereitstellung von Daten aus Kulturführung, Betriebsmanagement und Absatz mit
 - kohärenter Datengrundlage für die Betriebsführung
 - Datenbereitstellung für Dokumentationszwecke/automatisierte Dokumentation der gesetzlichen Anforderungen mit standardisierten Schnittstellen, z. B. für Gesetzgeber und Zertifizierungsstellen
 - Visualisierung als Daten-Dashboard
 - Integration bestehender Systeme, z. B. Betriebsvergleich 4.0
- Analysen zur Identifikation von Mehrfachnutzungsmöglichkeiten bereits vorhandener Sensorensysteme an Geräten (incl. entsprechender Daten) zur Kostensenkung, z. B. Lidar-Sensoren zur Navigation des Traktors oder zur Bestandkontrolle bei Äpfeln

Forschungsdisziplinen: **Gartenbau, Ökonomie, Technik, Informatik**

3.3 Smart Horticulture & Informationsmanagement

Dieser Forschungsschwerpunkt fokussiert auf das intelligente Ableiten von Handlungsempfehlungen aus verfügbaren Informationen und ist eng verbunden mit dem vorangegangenen Schwerpunkt „Datenanalyse und Informationsfusion“:

Leitfrage: Wie kommen Informationen und Handlungsempfehlungen zu den Anwendenden?

- Entwicklung von intelligenten Systemen zur Produktions- und Absatzplanung (Abstimmung von Angebot und Nachfrage), z. B. zur Stärkung regionaler WSK
- Entwicklung von digitalen Informationssystemen entlang der gärtnerischen WSK (Beschaffung, Produktion, Absatz), z. B. zur Verringerung von Produktions-/Lebensmittelverlusten
- Einsatz von KI, digitalen Zwillingen etc. zur Verringerung von Verlusten in der gesamten Nacherntekette (Lagerung, Aufbereitung, Transport etc.)
- Aufbau von betriebsindividuellen Wissensmanagementsystemen mit zielgruppenspezifischer Datenaufbereitung (Fachkräfte, Ungelernte), z. B. zum innerbetrieblichen Wissenstransfer
- Entwicklung von digitalen Systemen zum Ressourcenmanagement, z. B. zur Senkung von Produktionskosten oder Erhöhung der Nachhaltigkeit
- Entwicklung von Systemen zur automatisierten Dokumentation von Informationen, z. B. für Gesetzgeber und Zertifizierungsstellen, mit standardisierten Schnittstellen
- Ansätze zur Standardisierung von Bürokratie-/Verwaltungsaufgaben

Forschungsdisziplinen: **Informatik, Gartenbau, Ökonomie**

3.4 Automatisierung & Robotik

Der letzte Forschungsschwerpunkt zielt auf die Automatisierung von Systemen und eine automatisierte Umsetzung von Handlungsempfehlungen:

Leitfrage: Wie können Handlungsempfehlungen automatisiert werden?

- Entwicklung weiterer Automatisierungslösungen für den Gartenbau, z. B. autonome Roboter, innovative Sensorapplikationen, punktgenaue Kulturmaßnahmen unter Freilandbedingungen mit Einzelpflanzenerkennung von Saat bis Ernte
- Entwicklung von Greifsystemen zur automatisierten Ernte
- Entwicklung von steuerbaren Applikationstools, z. B. automatisiert steuerbare Düsen für Bewässerung, Düngung und Pflanzenschutz
- Entwicklung und Bereitstellung von standardisierten Hard- und Softwarekonzepten zur Vereinfachung der Kombinierbarkeit und dadurch zur breiteren Nutzbarkeit verschiedener digitaler Systeme, analog zur Traktor-Anbaugeräte-Kompatibilität in der Landtechnik

- Entwicklung von intelligenten Vorhersagemodellen und von Maßnahmen/Verfahren für einen verbesserten Frostschutz in Freilandkulturen
- Entwicklung innovativer und klimaverträglicher Verpackungsformen für leicht verderbliches Gemüse und Obst mit Hilfe digitaler Zwillinge
- Weiterentwicklung von automatisierten, klimaneutralen und kostengünstigen Kulturverfahren für den geschützten Anbau zur Senkung des Energieverbrauchs etc., z. B. ZINEG 2.0
- Weiterentwicklung von Meliorationsverfahren im Gartenbau vor dem Hintergrund eines fortschreitenden Klimawandels

Forschungsdisziplinen: **Maschinenbau, Gartenbau**, Steuerungstechnik, Informatik

Grundlage der Forschungsarbeiten für die Automatisierungslösungen sollten mobile modulare Basesysteme (UAV/UGV) mit standardisierten Schnittstellen sein, beispielsweise autonom fahrende Plattformen unterschiedlicher Größe, auf der Sensoren und Aktoren angebracht werden können. Damit entfielen die anfängliche Aufgabe, technische Rahmenbedingungen schaffen zu müssen und die Forschenden könnten sich sofort auf die eigentlichen Forschungsaufgaben fokussieren. Darüber hinaus bieten modulare Systeme die Chance, dass später in den Betrieben Systeme von unterschiedlichen Firmen miteinander kombiniert werden könnten (Beispiel PKW: Gaspedal ist immer rechts und Kupplung links positioniert).

Unabhängig vom Forschungsschwerpunkt sollten für zukünftige Forschungsarbeiten die in den Handlungsempfehlungen (Kapitel 2) beschriebenen Aspekte Wissenstransfer, rechtlicher Rahmen, Standardisierung und Datenmanagement bei der zukünftigen Konzeption neuer Technologien gegeben sein. Beispielsweise ist für eine auf modularen Systemen basierende Forschung Voraussetzung, dass (1) Forschungsdaten aus öffentlich geförderten Projekten für nachfolgende Projekte verfügbar sind und (2) rechtliche Fragen bzgl. Haftung etc. („*Wer ist bei Problemen in der Verantwortung?*“) geklärt werden.

3.5 Übergreifende Begleitforschungsthemen

Parallel zur Prototypenentwicklung sollte eine schwerpunktübergreifende Begleitforschung zu ökonomischen, ökologischen und gesellschaftlichen Aspekten der Technologien durchgeführt werden, um die Implementierung zu unterstützen.

- Wirtschaftlichkeitsanalysen
- Analysen zur Wirkung der Technologien unter Praxisbedingungen

- Monitoring der Auswirkungen von Digitalisierung auf den Gartenbau,
z. B. zur Erfassung von Veränderungen und zur Anpassung von Produktionssystemen
- Entwicklung von Kooperationsmodellen/Nutzungsmodellen für kleinere Betriebe,
z. B. Abo-Service für 4.0-Technologien für kleinere Betriebe
- Analyse von Folgewirkungen und Rebound-Effekten
z. B. zur Einschätzung von Umweltentlastungseffekten
- Analysen zur Akzeptanz und zum Einfluss von Digitalisierung/Automatisierung auf die Gesellschaft

Forschungsdisziplinen: **(Sozio-)Ökonomie, Technik**, Gartenbau