

AgriFood Hub

by   VENTURE
TUM LABS

INNOVATIONEN FÜR DEN HOPFEN

Unternehmerische Innovations-
potenziale für den modernen
Hopfenanbau

Werner, R.¹; Dillinger, L.¹; Hennig, C.²; Portner, J.³; König, W.⁴

1 TUM Venture Labs; 2 permarobotics; 3 Bayerische Landesanstalt
für Landwirtschaft (LfL); 4 Gesellschaft für Hopfenforschung



Hopfen

Die Sonderkultur Hopfen ist eine hochwertige Kulturpflanze mit vielfältigen agrarischen und ökologischen Funktionen.

Einsatzbereiche

Hopfen wird als Aromastoff, Konservierungsmittel und Heilpflanze genutzt.

PROLOG

Agri Food Hub Munich x Hopfen



Mit dieser Publikation möchten wir Entscheidungsträger im Hopfenanbau und -veredelung informieren und Einblicke in die Potenziale und Risiken der Zusammenarbeit verschiedener Unternehmen zu geben. Ein besonderer Fokus liegt dabei auf der Schnittstelle zwischen etablierten Unternehmen, Landwirten und Start-ups, um Chancen für innovative Partnerschaften und Synergien, aber auch mögliche Herausforderungen aufzuzeigen.

Dieses Green Paper erhebt nicht den Anspruch, eine umfassende wissenschaftliche Publikation zu sein, die alle Details des behandelten Themengebiets abdeckt. Es wurde nicht peer-reviewed, sondern dient als kompakte Zusammenfassung, ergänzt durch relevante Verweise, um ein fundiertes Verständnis des Themas zu ermöglichen.

Der Hopfenbereich steht vor großen Herausforderungen. Diese müssen durch neue Innovationskraft – vor allem auch unternehmerischer Natur – von allen beteiligten Akteuren angegangen werden.

Konkrete Ideen, Herausforderungen und Chancen wurden in einem Workshop im Mai 2025 in Weihenstephan ausgestaltet. In diesem haben 30 Vertreter aus Landwirtschaft, Industrie, Wissenschaft, Innovation, und Unternehmertum zusammengearbeitet. Der Workshop beinhaltete mehrere fachliche Impulse von Experten und einen interaktiven Teil zum Austausch zwischen den Teilnehmern, der Identifikation von Herausforderungen und der Entwicklung möglicher technischer Ansätze.

KI-Disclaimer: diese Publikation wurde in großen Teilen unter Zuhilfenahme von KI (Google Gemini, Napkin AI, ChatGPT) erstellt. Dies beinhaltet die Generierung von Text und das Zusammenfassen der Workshopergebnisse. Die Inhalte stammen jedoch vollständig von den Referenten und Teilnehmern des Workshops.

Dieses Green Paper wurde in Zusammenarbeit mit Permarobotics, der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft und der Gesellschaft für Hopfenforschung e.V. entwickelt:



Table of Contents

EINFÜHRUNG	01
HERAUSFORDERUNGEN	02
LÖSUNGSANSÄTZE	03
TECHNISCHE MÖGLICHKEITEN	04
RAHMENBEDINGUNGEN	05
FACHBEITRÄGE	06
START-UPS	10
MEHR ZUM AGRIFOOD HUB	14

WARUM BRAUCHT DER HOPFEN INNOVATIONEN?

Einführung



Der Hopfen, eine zentrale Zutat beim Bierbrauen, steht heute vor vielfältigen sowie großen Herausforderungen: Klimawandel und dessen Auswirkungen auf Ertrag und Qualität, neue Schaderreger mit fehlender Diagnostik, zunehmender Kostendruck - insbesondere bei der Arbeitserledigung - und steigende Anforderungen an Nachhaltigkeit setzen die traditionelle Hopfenproduktion unter Druck.

Innovationen sind daher essenziell – sei es in der Züchtung robuster Sorten, in der digitalen Feldüberwachung oder in der Weiterentwicklung bestehender Produktions- und Verarbeitungsverfahren. Nur mit neuen Ansätzen lässt sich die Qualität sichern und der Ressourceneinsatz optimieren.

Diese Aspekte sind für die wirtschaftliche und ökologische Zukunft des Hopfenanbaus essentiell. Innovation ist kein Luxus, sondern für die Zukunft des Hopfenanbaus in Deutschland eine absolute Notwendigkeit.

Im Folgenden werden die zentralen Innovationsfelder im Hopfenanbau vorgestellt. Einschätzungen von Fachexperten geben dabei wichtige Einblicke und ordnen die Entwicklungen ein. Ergänzend zeigen Beispiele ausgewählter Start-ups, welche technologischen Wege in die Zukunft weisen.



Herausforderungen im Hopfenanbau

Der Hopfenanbau sieht sich derzeit mit einer Reihe bedeutender Herausforderungen konfrontiert. Leider ist die Digitalisierung noch in einer zu frühen Entwicklungsphase. Hier besteht großes Potenzial, doch gleichzeitig stellt sich immer die Frage der Finanzierung.

01

Arbeitskräftemangel

Arbeitskräftemangel: Saisonarbeitskräfte, arbeitsintensive Frühjahrsarbeiten (Draht aufhängen, Kreiseln/Ausputzen, Anleiten, Einhängen bei der Ernte).

02

Wirtschaftlichkeit

Neue Technologien müssen Kostenfaktoren positiv beeinflussen und eine ausreichende Flächenleistung bei geringer Fehlererkennung ermöglichen.

03

Hoher manueller Aufwand

Regelmäßige Pflegearbeiten, Pflanzenschutz, Düngung, Ernte und Bonitur erfordern ganzjährig hohe Arbeitszeiten.

04

Krankheitsdruck

Notwendigkeit der Diagnose, Prognose und umweltverträglichen Bekämpfung von Schaderregern.

05

Anpassung der Anbausysteme

Bestehende Systeme müssen gegebenenfalls an neue mechanisierte oder automatisierte Verfahren angepasst werden.

Mögliche Lösungs- und Innovationsansätze für den Hopfen

Die Welt ist zugleich voller Lösungsmöglichkeiten und innovativer Ansätze. Technologien und neue Verfahren stehen bereit – entscheidend ist, dass wir den Mut haben, diese auch zu nutzen und in der Praxis auszuprobieren. Dies ist mit viel Aufwand verbunden, aber nur so kann die gezielte sowie erfolgreiche Einführung neuer Technologien erfolgen.

Digitaler Zwilling des Hopfengartens (DigiFeldpass)

- Offene, vernetzte Systeme
- Standardisierung
- Anbieterunabhängigkeit
- Fundament für Drohnen, Roboter und Sensorik.

KI-gestützte Beratung

- Analytik großer Datenmengen
- Entscheidungsgrundlagen für praxisnahe Empfehlungen
- Optimierung Pflanzenschutz
- Steigerung der Erträge

Datenbanken und Cloud-Lösungen

- Gemeinsame Datenbanken
- Training von KI-Systemen
- Institutionelle Einbindung: Umsetzung z. B. LfL oder vergleichbare Einrichtungen

Bildgebende Technik

- Ständiges Monitoring möglich
- Kontinuierliche Bonitur
- Krankheitsdiagnostik
- Kameras und Drohnen für präzise Datenerhebung

Fernerkundung & zugehörige Systeme

- Satelliten- und Drohnendaten
- Ertragsprognosen
- Unterstützung von Start-ups
- Nutzung der Daten für Betriebsentscheidungen

Mechanisierung & Robotik

- Automatisierung von Frühjahrsarbeiten
- Feldroboter
- Einzelpflanzenbehandlung
- Kreiseln, Ausputzen, Anleiten

Optimierung von Prozessen

- Sensorik (Bewässerung, Pflanzenschutz)
- Krankheitsdiagnostik & Warndienste
- Effizienterer sowie punktueller Pflanzenschutz

Steigerung Wirtschaftlichkeit

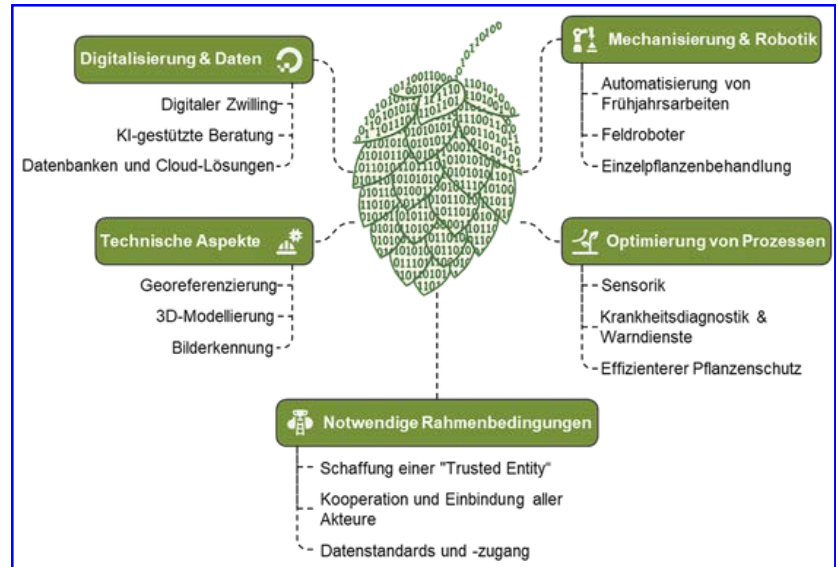
- Einsparungen bei Betriebsmitteln
- Zeit- und Arbeitsersparnis
- Ertragssteigerungen

Technische Möglichkeiten

“

Technik eröffnet dem Hopfenanbau heute spannende neue Perspektiven: Drohnen, Sensoren und Künstliche Intelligenz ermöglichen präzisere Beobachtung, frühere Diagnose und effizientere Abläufe. Klug-vernetzte Daten bilden dabei das Fundament für innovative Lösungen mit echtem Mehrwert. Die Chancen sind groß!

”



Georeferenzierung

Exakte Verortung der Hopfenstöcke mittels Drohnen und GPS-gestützter Bepflanzung als Basis für den digitalen Zwilling.

3D-Modellierung

Erstellung von detaillierten 3D-Modellen des Hopfengartens und einzelner Pflanzen (bis zu 7m Höhe).

Bilderkennung

Einsatz von KI-Algorithmen zur Analyse von Bilddaten für Bonitur, Krankheitsdiagnose, Reifegradbestimmung etc.

Robotik-Systeme

Entwicklung autonomer oder teilautonom, modular aufgebauter Roboter, die spezifische Aufgaben im Hopfengarten durchführen (inkl. Navigation, Manipulation an der Pflanze, z.B. Anheben von Blättern, Anleiten, Nachleiten, Hopfenputzen).

Sensornetzwerke

Implementierung verschiedener Sensoren zur Erfassung von Umweltdaten, Pflanzengesundheit und Maschinenparametern.

Diese Ansätze verdeutlichen, wie digitale Technologien und Robotik den Hopfenanbau präziser, effizienter und nachhaltiger gestalten können. Durch die Kombination dieser entsteht ein leistungsstarker Digitaler Zwilling eines Hopfengartens, der sowohl das Monitoring als auch die Steuerung aller Prozesse ermöglicht. So werden neue Standards für Qualität, Ressourcenschonung und Automatisierung gesetzt.



Notwendige technische Rahmenbedingungen

Damit technische Innovationen im Hopfenanbau erfolgreich umgesetzt werden können, braucht es klare Strukturen und starke Kooperationen. Zentral ist die Einrichtung einer Trusted Entity, die als unabhängige Instanz Standards setzt und eine gemeinsame digitale Infrastruktur betreibt. Entscheidend ist auch die enge Zusammenarbeit aller Akteure – von Landtechnik-Unternehmen und Handel über Forschungseinrichtungen bis hin zu Start-ups, die mit ihrer Expertise in Automatisierung und Künstlicher Intelligenz wichtige Impulse geben. Ebenso wichtig sind offene Datenstandards und klare Regeln zur Nutzung und Hoheit von Daten, damit Innovationen wie KI-Anwendungen auf einer verlässlichen Basis aufbauen können.

Landwirte spielen dabei eine Schlüsselrolle: Sie müssen bereit sein, neue Technologien in der Praxis zu erproben. Damit Investitionen aber nachvollziehbar bleiben, sind transparente Kosten-Nutzen-Rechnungen unverzichtbar.

Unterstützung durch Fördermittelgeber sowie ein klarer, mehrphasiger Umsetzungsplan – von der digitalen Basis über Geschäftsmodelle bis hin zur Anwendung – schaffen den Rahmen für nachhaltige Entwicklungen. Ergänzend sorgt ein branchenübergreifender Wissenstransfer dafür, dass Erfahrungen aus anderen Bereichen nutzbar gemacht werden.

KI und Robotik in der Landwirtschaft?

Status und Ausblick?

Dr. Christian Hennig
[permarobotics GmbH](#)

Dr. Christian Hennig ist Unternehmer, Erfinder, Arzt und Wissenschaftler. Seine Arbeit ist inspiriert von der Idee der Verknüpfung von Informatik und Lebenswissenschaften. Dr. Hennig denkt interdisziplinär und verbindet IT (Big Data, Ontologien, KI), Robotik und Biotechnologie, um Lösungen zu entwickeln, die sowohl die menschliche Gesundheit verbessern als auch den menschengemachten Klimawandel bekämpfen.

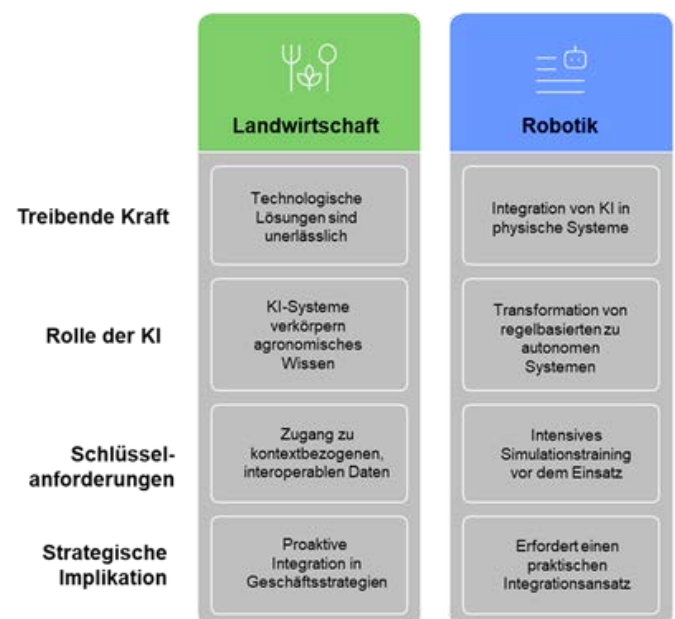
Die dynamische Entwicklung von Künstlicher Intelligenz (KI) und Robotik stellt eine starke wachsende Bedeutung für die Landwirtschaft dar. Für ihn muss es das übergeordnete Ziel sein, die Lücke zwischen europäischer Spitzenforschung und deren kommerzieller Umsetzung ("Europäisches Paradoxon") durch Vernetzung von Industrie, Start-ups und Forschung zu schließen.

Seine wichtigsten Kernaussagen sind:

- Digitalisierung & Automatisierung sind alternativlos: Der zunehmende Arbeitskräftemangel, strengere Regulierungen und der Klimawandel machen technologische Lösungen in der Landwirtschaft zwingend erforderlich
- Rolle von KI-Agenten in der Software-entwicklung: Die Entwicklungskosten für Software sinken drastisch dank KI. Innerhalb weniger Tage lassen sich komplexe Anwendungen umsetzen – ein enormer Produktivitätsschub.
- Zukunft ohne manuelle Programmierung: die klassische Softwareentwicklung wird durch KI-gesteuerte Automatisierung abgelöst – Menschen werden orchestrieren als selbst Code schreiben.
- Exponentieller Fortschritt: KI entwickelt sich rasant und übertrifft bereits in einzelnen Aufgaben menschliche Fähigkeiten – mit wöchentlichen Leistungssteigerungen.
- KI mit agronomischem Fachwissen: KI-Systeme können fundiertes agronomisches Wissen abbilden und anwenden.



- Basis - Rechenleistung & Datenzugang: KI erfordert enorme Rechenkapazitäten und Zugang zu kontextbezogenen, interoperablen Daten über offene Schnittstellen (APIs) und Standards wie Model Context Protocols (MCPs).
- "Physical AI" verändert die Robotik: Roboter, die ihre Umwelt verstehen und mit ihr interagieren, sind ein Ergebnis der Integration von KI in physische Systeme.
- Entwicklungsetappen der Agrarrobotik: Die Robotik durchläuft einen Wandel von regelbasierten Systemen über hybride KI-Lösungen bis hin zu vollautonomen Robotern.
- Simulation & Sicherheit: Zukünftige Roboter werden vor ihrem Einsatz intensiv simulativ trainiert, unter Berücksichtigung strenger Sicherheitsvorgaben.
- Strategische Bedeutung für Unternehmen: eine vorausschauende Integration in Unternehmensstrategien ist gefordert – v.a. auf den sich wandelnden Arbeitsmarkt.
- Herausforderung Praxisintegration: Viele technologische Ideen scheitern nicht an der Technik, sondern am fehlenden Zugang zur landwirtschaftlichen Praxis.



Hopfenanbau und seine Herausforderungen?

Ein Überblick

Johann Portner
[Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft \(LfL\)](#)

Johann Portner ist an der LfL in Hüll in der staatlichen Beratung im Verbund mit dem Hopfenring tätig. Ein Schwerpunkt seiner Arbeit liegt im Peronospora-Warndienst, über den er Hinweise zur Krankheitsvorbeugung und zum Pflanzenschutz bereitstellt.

Darüber hinaus engagiert er sich in der Bildung und im Wissenstransfer – etwa durch das „Grüne Heft“, Fachschulunterricht, BiLa-Angebote, Seminare, Workshops und Arbeitskreise.

Sein Tätigkeitsfeld umfasst zudem die angewandte Forschung, insbesondere in nachhaltigen Bereichen der Produktionstechnik, um Praxis und Innovation für Hopfenanbauer eng zu verzahnen.

Seine wichtigsten Kernaussagen sind:

- Hopfenanbau ist regional stark konzentriert: Die Hauptanbaugebiete liegen weltweit zwischen dem 35. und 55. Breitengrad – in der EU ist Deutschland das führende Land, gemeinsam mit den USA global dominierend.
- Bedeutende wirtschaftliche Rolle: In Deutschland werden je nach Witterung jährlich über 40.000 Tonnen Hopfen oder ca. 5.000 Tonnen Alphasäure geerntet, mit einer schwankenden Wertschöpfung von 250–300 Mio. Euro für die ca. 1.000 Hopfenbaubetriebe.
- Technischer Fortschritt verläuft langsam: Im Vergleich zu anderen Branchen entwickelt sich die Hopfentechnik wegen der geringen Auslastung und niedrigen Stückzahlen deutlich langsamer. Bestehende Maschinen sind teils über 40 Jahre alt, haben sich aber bewährt.
- Hoher Arbeitskräftebedarf: Der Hopfenanbau ist traditionell sehr arbeitsintensiv. Trotz Mechanisierung benötigt ein Betrieb etwa 220 Arbeitsstunden pro Hektar. Hauptarbeitsspitzen zum Anleiten im Frühjahr und zur Ernte im September werden mit meist ausländischen Saisonarbeitskräften bewältigt.



- Erntezeitfenster limitiert Effizienz: Die Hopfenernte erfolgt in nur etwa drei Wochen im Jahr. Dadurch stehen viele Maschinen den Großteil des Jahres still – eine Herausforderung für Investitionen und Auslastung.
- Arbeitskräftemangel verschärft sich: Arbeitskräfte werden nicht nur teurer, sondern auch schwerer zu rekrutieren – viele Menschen möchten diese körperlich anspruchsvolle Arbeit nicht mehr machen.
- Teilautomatisierung ist möglich, aber begrenzt: Einige Schritte wie das Anbringen der Aufleithilfen, das Aufleiten der Triebe, die Hopfenpflege oder Pflanzenschutzmaßnahmen die Diagnostik von Krankheitserregern sind noch nicht automatisiert. Vieles läuft weiterhin manuell oder mit Traktor und Fahrer.
- Exakte Ressourcennutzung gefordert: Der Einsatz von Produktionsmitteln (z.B. Wasser, Düngung, Pflanzenschutz und Energie) muss immer präziser und zielgerichteter erfolgen, z.B. durch teilflächenspezifische Applikation und Beschränkung auf das notwendige Maß.
- Potenzial durch KI und Standardisierung: Zukünftig könnten KI-gestützte Systeme helfen, manuelle Arbeiten zu ersetzen oder standardisierbar zu machen. Erste Forschungsansätze gibt es bereits am Hopfenforschungsinstitut der LfL.

Technologien in KI und Robotik

Ein Technikbericht

Josef Schmidt
[digital workbench GmbH](#)

Josef Schmidt ist Geschäftsführer bei der digital workbench GmbH. Das Unternehmen mit Sitz in Wettstetten (Bayern) entwickelt innovative Lösungen an der Schnittstelle von Robotik, Digitalisierung und Agrartechnik. Seit 2014 bietet das Unternehmen einen vollständigen Entwicklungsservice von der Idee über Hard- und Softwareentwicklung bis hin zur Fertigung im eigenen Haus.

Ein besonderer Schwerpunkt liegt auf Agrarrobotik: Mit autonomen Trägersystemen und smarten Technologien treibt digital workbench die nachhaltige Automatisierung landwirtschaftlicher Prozesse voran.

Josef Schmidt thematisiert zentrale Unterschiede zwischen klassischen Traktoren und neuen Agrarrobotik-Lösungen. Er postuliert, dass automatisierte Agrartechnik eine andere Denkweise erfordert als konventionelle Traktorarbeit – mit anderen Vorteilen, Herausforderungen und einem eigenen Potenzial. Die Agrarrobotik steht an einem Wendepunkt – mit KI-gestützter Navigation, flexibler Softwareentwicklung und besserer Interoperabilität entstehen neue Möglichkeiten für Automatisierung und Effizienz in der Landwirtschaft.

Seine wichtigsten Kernaussagen sind:

- Prinzipieller Paradigmenwechsel im Maschinenbau: Traktoren haben den Fahrer im Zentrum, neue Agrarrobotikplattformen folgen einer anderen Philosophie – sie sind als autonome, KI-basierte Systeme konzipiert, nicht als Traktor-Ersatz.
- Navigation durch Satellitentechnologie: Satellitenpositionierung ist derzeit die kostengünstigste, präziseste und einfachste Methode für die Navigation im Feld – sie bildet die Grundlage moderner Agrarrobotik.
- Grenzen der Technologie: Trotz technischer Fortschritte gibt es Probleme, z.B. bei Signalverlust oder unebenem Gelände, wodurch Spurhaltung und Nivellierung der Maschinen beeinträchtigt werden.



- Interoperabilität als Schlüssel: Der Austausch und die Nutzung von Kontextdaten über verschiedene Systeme hinweg („Interoperabilität“) ist entscheidend, um Daten mehrfach nutzbar zu machen – z.B. für Dokumentation oder Prozesssteuerung.
- Physical AI wird Realität: KI-basierte Systeme verstehen zunehmend ihre physische Umgebung und interagieren damit. Dies ist zentral für die Entwicklung von Agrarrobotern, etwa für Aufgaben wie Row-Following (visuelle Reihenverfolgung).
- Kombination von Mechanik, Software & Anwendung: Erfolgreiche Agrarrobotik entsteht dort, wo Mechanik, KI-Software und Praxiswissen intelligent zusammengeführt werden – etwa im „Hopstar Trainer“-Projekt.
- Skalierung und Effizienz als Leitprinzip: Lösungen müssen nicht nur technologisch funktionieren, sondern auch bezahlbar, bedarfsorientiert und skalierbar sein – nur so gelangen gute Ideen wirklich „aufs Feld“.

Robotik im Feld und Betrieb

Praxiserfahrungen

*Sarah Bongardt
Landwirtin*



Sarah Bongardt, Landwirtin aus Mecklenburg-Vorpommern, bewirtschaftet seit 2019 mit ihrem Mann einen 400 Hektar großen ökologischen Betrieb. Ihre Erfahrungen mit Agrarrobotik basieren auf dem praktischen Einsatz mehrerer Robotersysteme – insbesondere dem Farmdroid – im ökologischen Zuckerrübenanbau. In diesem Zusammenhang teilt sie regelmäßig ihre Erkenntnisse, Hürden und Empfehlungen aus mehreren Jahren Pionierarbeit.

Ihre wichtigsten Kernaussagen sind:

- Robotik entlastet gezielt: Automatisierte Systeme übernehmen repetitive und körperlich belastende Aufgaben – das schafft Freiräume für strategische Betriebsführung.
- Praxistauglichkeit zählt: Systeme müssen unter realen Bedingungen zuverlässig funktionieren – einfache Bedienung und robuste Technik sind entscheidend.
- Digitale Daten bringen Mehrwert: Sensorik und vernetzte Systeme liefern wertvolle Informationen für bessere Entscheidungen im Anbau.
- Wirtschaftlichkeit im Blick behalten: Hohe Investitionen lohnen sich nur, wenn Technik zur Betriebsgröße und zum Einsatzprofil passt.
- Der Mensch bleibt zentral: Robotik ersetzt nicht die Erfahrung – sie ergänzt sie. Erfolgreiche Integration braucht Schulung, Akzeptanz und Mitgestaltung durch die Praktiker.

Smart Fields

KI in der Praxisanwendung

*Malte von Bloh
[TUM Lehrstuhl für Digital Agriculture](#)*



Das Forschungsprojekt „Smart Fields“ befasst sich mit dem Einsatz von Künstlicher Intelligenz (KI) im Pflanzenbau, insbesondere bei Winterweizen. Ziel ist es, eine vollständige digitale Anbau-Pipeline zu entwickeln, die agronomische Entscheidungen automatisiert und optimiert. Ausgangspunkt war die Grundlagenforschung zu Ertragsprognosen mithilfe neuronaler Netze, die nun in die praktische Anwendung überführt wird.

Seine wichtigsten Kernaussagen sind:

- KI-Modelle wurden aus der Forschung in die Praxis überführt
- Fokus zunächst auf Ertragsmaximierung und Qualitätssicherung bei B-Weizen
- Abbildung der gesamten Anbaukette (Aussaat bis Pflanzenschutz)
- Vergleich: 3 junge Landwirte vs. KI-gestützte Anbauempfehlung
- Erste Tests zeigten hohe Erträge und hohe Qualitäten durch KI (bis zu 10 t/ha)
- Wirtschaftlichkeit nicht trainiert, aber teilweise automatisch erreicht
- Plattform soll beliebige Felder anschließen können
- Kooperationen mit Hochschulen, Kammern und Industrie
- Weitere Schritte: Nachhaltigkeit, Fungizide, Fördermittel, Rollout

KI-gestützte Modellierung von Hopfeneigenschaften

Genotyp-Umwelt-Interaktionen verstehen und nutzen

Die Leistungsfähigkeit neuer Hopfensorten hängt von der Kombination aus genetischer Ausstattung (G) und ihrer Umgebung (E) – definiert als Feld $\times$ Jahr – ab. Diese sogenannte Genotype- $\times$ -Environment-Interaktion (G $\times$ E) beschreibt das Wechselspiel, bei dem die Leistung eines Genotyps je nach Umweltbedingungen variiert. Um diese Wechselwirkungen präzise abzubilden, verknüpft unsere Pipeline drei Modellebenen.



NoMaze GmbH

1

Umweltmodell (E)

Historische Wetterdaten, Bodenprofile und Management Parameter werden in einem neuronalen Netzwerk zusammengefasst, um das Ertragspotenzial für jede Umgebung zu schätzen.

2

Genotypmodell (G)

Die DNA der Elternlinien wird zu genetischen Embeddings verarbeitet.

3

G $\times$ E Modell

Ein gemeinsames Modell führt Umwelt- und Genotyp-Embeddings zusammen und lernt nichtlineare Beziehungen zwischen genetischen Mustern und Wetterbedingungen.

Diese KI-gestützte G $\times$ E-Analyse verknüpft Züchtung, Agronomie und Datenwissenschaft zu einem integrierten Werkzeug, das Züchter dabei unterstützen kann, Sorten gezielt für herausfordernde Umweltbedingungen auszuwählen und potenziell geeignete neue Anbauggebiete zu identifizieren.

Nutzen & Anwendungen:

- Präzise Vorhersagen von u.a. Ertrag und Alphasäure auf Standorte- und Jahresebene.
- Enviro-Zonen: Clustering ähnlicher Environments ermöglicht Scouting neuer Anbauggebiete außerhalb der traditionellen Hopfen Gürtel.
- Sorten-Ranking für Extrembedingungen unterstützt klimaresiliente Zuchtziele.
- Beschleunigte Züchtung: Virtuelle Vorauswahl konzentriert Ressourcen auf die vielversprechendsten Kreuzungen und reduziert den Bedarf an großflächigen Feldversuchen.

Cultivatum – Paul Weber-Hohengrund, Freya Sieber, Anton Steinberger

Für eine sinnvolle Integration in den Hopfenanbau ist nun ein erster Boniturversuch mit dem Bonista-System geplant. Dieser soll Klarheit darüber bringen, ob sich die Technologie nicht nur technisch umsetzen lässt, sondern auch wirtschaftlich und arbeitspraktisch sinnvoll ist – sowohl für Landwirte als auch für Züchter und Berater.

KIREAP Technologies

Vernetzte und intelligente Systeme als Unterstützer des Hopfenanbaus

KIREAPs Technologie umfasst eine cloudbasierte Plattform zur Datenerfassung und KI-gestützten Analyse. Sie integriert Wetter-, Satelliten- und Drohnendaten, um Frühdiagnosen und Prognosen zum Pflanzenwachstum und zur Gesundheit zu erstellen sowie Ressourcenplanung und -nutzung zu optimieren. Zudem ist eine automatische Steuerung von Robotern möglich.

Im Hopfenanbau können folgende Ansätze unterstützt werden:

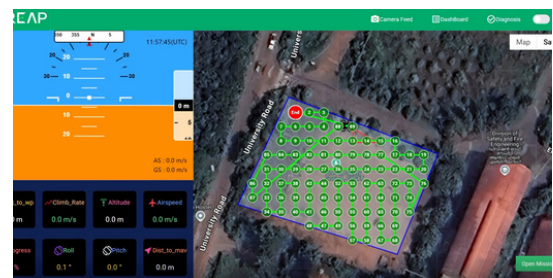
- Digitalisierung & Datenmanagement (Digitaler Zwilling)
- KI-gestützte Analyse, Prognose und Optimierungsempfehlungen
- Robotik und autonome Intervention (Tasking)

Der Digitale Zwilling wird über die KIREAP-Plattform mit Satelliten- und UAV-Daten gespeist und ermöglicht Echtzeitüberwachung, Simulation und Kontrolle. So lassen sich Entscheidungen verbessern, Probleme früh erkennen und Anbaupraktiken optimieren. Zusätzliche Sensorik an Traktoren oder Robotern verfeinert das Modell und unterstützt die Optimierung von Bewässerung, Pflanzenschutz, Trocknung und Ernte.



Die KI-gestützte Analyse ermöglicht effizientere Ressourcennutzung und bessere Qualitätskontrolle. Über die KIREAP-App werden Satelliten- (Sentinel-2) und UAV-Daten mit Vegetationsindizes (z. B. GNDVI, REDNDVI) integriert, um Ertrag und Qualität präzise vorherzusagen. Drohnen- und Sensordaten unterstützen die Früherkennung von Krankheiten und Schädlingen und reduzieren Ertragsverluste. Vegetationsindizes erzeugen Stress- und Aufgabenkarten, die gezielte und energieeffiziente Eingriffe steuern.

KIREAP hat ein „Tasking“-System entwickelt, das analytische Ergebnisse direkt in Aufgaben für Drohnen und Bodenroboter übersetzt. Algorithmen orchestrieren UAVs, Roboter und Sensoren, um Frühjahrsarbeiten zu automatisieren, Arbeitskräftemangel abzufedern und die Effizienz zu steigern.



Bodenintelligenz im Hopfenbau

Potential für KI-gestützte Standortberatung

Kurzversion des Arbeitspapiers Boden von AGAI zum HOPSathon im Juni 2025

Boden ist kein passives Trägermedium, sondern ein entscheidender Steuerfaktor für Ertrag, Qualität, Krankheitsrisiko und Resilienz im Hopfenbau. Im Rahmen des Praxistags in Hüll am 24. Juni 2025 wurde mehrfach betont: Bodenproben liefern zwar Laborwerte, aber kaum kontextualisierte Ableitungen für die betriebliche Praxis. Hier liegt großes, ungehobenes Potential für KI-gestützte Standortberatung.

Was ist die Problemstellung? Bodenanalysen – ob minimal alle 6 Jahre oder intensiv mehrmals pro Saison – liefern wichtige Einzelwerte (z. B. pH, Nährstoffe, Humus, C/N), aber keine fundierten Empfehlungen zu Maßnahmen, Fruchtfolgen oder Sortenwahl für den beprobten Schlag. Die Interpretation erfolgt oft aus Erfahrung oder Bauchgefühl. Gleichzeitig fehlen standardisierte Schnittstellen, um das Wissen aus LfL, Hopfenforschungszentrum Hüll, Beratungsdiensten oder internationalen Studien in systematisch nutzbare Logiken zu überführen.

Ein KI-basiertes Bodenverständnis als Beratungsdienstleistung? Ziel ist die Entwicklung eines modularen KI-Systems, das historische Bodenproben, aktuelle Messwerte und externe Quellen (Wetter, Topografie, Dürrestatus, Al_2O_3 -Gehalt, Feldkapazität etc.) mit domänenpezifischem Wissen (z. B. aus Hüll, LfL, TUM, USDA) verschränkt. Ziel ist eine nachvollziehbare, automatisiert generierte Interpretation, die dem Landwirt oder der Beratung sofort hilft:

- Standortbezogene Empfehlungen (Sortenwahl, Erntestrategie, Fruchtfolge)
- Krankheitsrisikoabschätzung (z. B. Verticillium-Welke, CBCVd)
- Stickstoffbedarf, Risikoüberschreitung, Sickerverlust
- Empfehlungen zur Bodenpflege (z. B. Zwischenfrüchte, Kalkung, Belüftung)

Wie kann die Umsetzung erfolgen? AGAI ist bereit, den technischen Lead für die Entwicklung zu übernehmen. Denkbare Anwendungsformen sind: Ein browserbasiertes, KI-gestütztes Beratungstool für landwirtschaftliche Betriebe. Eine interne Bodenintelligenz-Plattform für Beratungsorganisationen (LfL, Hopfenring). Schnittstellenfähige Boden-API zur Integration in bestehende Tools.

Fazit – Boden ist kein Beiwerk. Wer Hopfenanbau zukunftssicher gestalten will, braucht fundiertes, datengestütztes Bodenverständnis. AGAI bringt das Know-how mit, um aus Labordaten echte Handlungsempfehlungen zu machen – individuell, nachvollziehbar und automatisiert.

AgriFood Hub

by **UNTERNEHMERTUM**



**VENTURE
LABS**



Lasst uns gemeinsam die Zukunft
unseres Ernährungssystems gestalten.

CONTACT

UNTERNEHMERTUM
MUNICH URBAN COLAB
FREDDIE-MERCURY-STRASSE 5
80797 MÜNCHEN

TUM VENTURE LAB
FOOD / AGRO / BIOTECH
MAXIMUS-VON-IMHOF-FORUM 2
85354 FREISING

NIKOLA BAUMSCHLAGER

*Venture Consultant Food &
AgriTech & EIT Food
Accelerator Hub Lead*

[nikola.baumschlager@
unternehmertum.de](mailto:nikola.baumschlager@unternehmertum.de)

DR. ROMAN BOSL WERNER

*Managing Director TUM Venture
Lab Food-Agro-Bio Tech*

[roman.werner@
tum-venture-labs.de](mailto:roman.werner@tum-venture-labs.de)

LUKAS DILLINGER

*Innovation Director TUM Venture Lab
Food-Agro-Bio Tech*

[lukas.dillinger@
extern.unternehmertum.de](mailto:lukas.dillinger@extern.unternehmertum.de)

Grafische Gestaltung **INES ANITA KLÖSS**

AGRI FOOD HUB GREEN PAPER #2 SEPTEMBER 2025