

Automatisierte Beikrautregulierung in der Obstbaumschule

Die Ergebnisse – kurzgefasst

Die Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau (LWG) hat im Rahmen des Projekts „Innovative Methoden zur ökologischen Beikrautregulierung im Gartenbau“ den Einsatz eines Hackroboters in einer Obstbaumschule erprobt. Der „Oz“ der Firma Naïo Technologies hackte in Apfel, Birne, Zwetschge und Kirsche. Aufgrund der kompakten Abmaße des „Oz“ konnte der Pflanzabstand von den betriebsüblichen 140 cm auf 90 cm reduziert werden. Daher sollte neben der Erprobung und Bewertung des Roboters auch die Auswirkung der Engpflanzung auf die Baumqualität untersucht werden.

Der „Oz“ war grundsätzlich zur Beikrautregulierung im Obstbaumschulbereich geeignet und erzielte zwischen den Reihen unter optimalen Bedingungen gute Hackergebnisse. In der Reihe wurde weiterhin von Hand gehackt. Beim Einsatz des Roboters war insbesondere der Hackzeitpunkt relevant. Es empfiehlt sich, die Beikräuter in möglichst frühen Stadien zu erfassen. Ein zuverlässiger Einsatz der Technik war in den beiden Versuchsjahren 2023 und 2024 leider nicht gegeben, da es gelegentlich zu störungsbedingten Ausfällen kam.

Die Baumqualitäten der Engpflanzung waren vergleichbar mit denen der betriebsüblichen Pflanzung. Es gab keine statistisch signifikanten Unterschiede. Somit bot der Einsatz des Hackroboters auch das Potential, den Flächenertrag durch die Engpflanzung zu steigern.

Versuchsfrage und Versuchshintergrund

Die Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau (LWG) hat den Einsatz eines kompakten Hackroboters in einer Obstbaumschule im Landkreis Forchheim erprobt. Die Versuchshintergründe waren zum einen die Herbizideinschränkungen, zum anderen der Mangel an Saisonarbeitskräften und die steigenden Löhne. Es sollte neben der Funktionalität des Roboters auch die Wirtschaftlichkeit geprüft werden. Dazu wurden Daten zu Arbeitszeiten und zur Hackgenauigkeit erhoben und mit der betriebsüblichen Hacktechnik verglichen. Aufgrund der kompakten Abmaße des Hackroboters konnte der Pflanzabstand von den betriebsüblichen 140 cm auf 90 cm reduziert werden. Gearbeitet wurde mit dem „Oz“ des französischen Herstellers Naïo Technologies (Bild 1).

Es sollte zudem bewertet werden, wie sich die Engpflanzung auf das Wachstum und die Qualität der Bäume auswirkt. Die Fläche wurde ökologisch bewirtschaftet.



Bild 1: „Oz“ des französischen Herstellers Naïo Technologies auf der Fläche der Obstbaumschule

Automatisierte Beikrautregulierung in der Obstbaumschule

Ergebnisse im Detail

1. Versuchsbeschreibung

Die Versuchsfläche wurde am 6. März 2023 aufgepflanzt und der Versuch im Oktober 2024 mit der Entnahme der ersten Bäume beendet. Die Fläche war in drei Varianten unterteilt: Eine intensive Variante wurde wöchentlich mit dem „Oz“ bearbeitet. In der extensiven Variante hackte der Roboter alle zwei Wochen. Zum Vergleich wurde eine betriebsübliche Variante mit dem Schmalspurschlepper nach Bedarf gehackt (Abbildung 1).

Die zwei Robotervarianten „intensiv“ und „extensiv“ wiesen einen Reihenabstand von 90 cm auf. In der betriebsüblichen Variante betrug der Reihenabstand 140 cm.

Der „Oz“ war sowohl im Jahr 2023 als auch im Jahr 2024 auf der Versuchsfläche der Obstbaumschule im Einsatz, um langfristige Untersuchungen machen zu können. Insbesondere die geplante Ertragssteigerung durch den reduzierten Reihenabstand sollte in Zusammenarbeit mit dem Kompetenzzentrum Ökogartenbau untersucht werden. Dazu wurden Daten zu Stammdurchmesser, Anzahl der Seitentriebe und Zuwachs der Terminale erhoben. Zudem sollte der Satellitenempfang des „Oz“ in der zweijährigen Bestandsdichte getestet werden.

2. Technik

Der „Oz“ wurde vollständig elektrisch angetrieben und war netzgebunden. Im Versuch erreichte er eine autonome Arbeitszeit von bis zu 8 Stunden, welche je nach Arbeitseinsatz zwischen 3 und 8 Stunden variieren konnte. Die Arbeitsleistung wurde von Naïo Technologies unter optimalen Bedingungen mit bis zu 1000 m²/h angegeben. Im Versuch wurden durchschnittlich 2 bis 2,5 Stunden inklusive Rüstzeiten für 10 Reihen zu je 185 m benötigt, was einer Stundenleistung von ca. 800 m²/h entsprach. Neben Hackwerkzeugen konnten auch weitere Anbaugeräte an den „Oz“ angehängt werden, sodass eine vielfältige Einsetzbarkeit des Roboters gewährleistet sein konnte. Für die Versuchsfrage wurde der Roboter mit drei Gänsefußscharen und zwei Fingerhacken ausgestattet. Versuchsweise wurde auch mit einer Torsionshacke gearbeitet.

Die GPS-Karte wurde auf Grundlage der Positionsdaten der Antenne erstellt. Hierzu konnte die Antenne beispielsweise vom Roboter abmontiert und auf dem Pflanzgerät mitgenommen werden. Anschließend konnte die Karte am Computer bearbeitet und auf den „Oz“ geladen werden. Neben dieser Option waren auch andere Wege zur Erstellung einer GPS-Karte möglich. Auf der Versuchsfläche

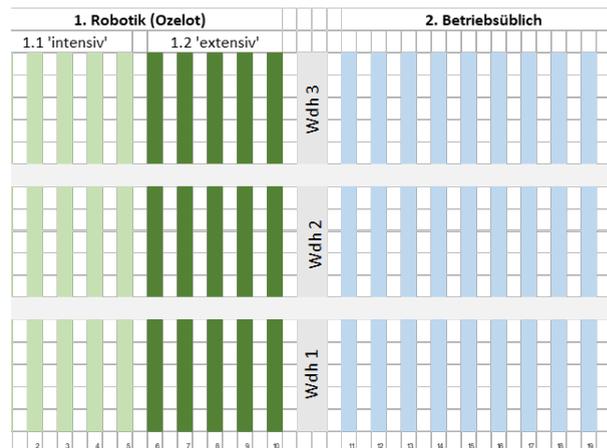


Abbildung 1: Anordnung der Versuchsfläche. Die intensive Variante wurde wöchentlich gehackt, die extensive Variante wurde alle zwei Wochen gehackt, in der betriebsüblichen Variante ist der Schmalspurschlepper nach Bedarf gefahren.

Automatisierte Beikrautregulierung in der Obstbaumschule

wurden die GPS-Koordinaten nachträglich bei einem Durchgang mit der Antenne aufgenommen und die Spuren mithilfe der Naïo-Software „Easy Mapping“ erstellt.

Die Hackwerkzeuge wurden entsprechend der Fläche ausgewählt, angebaut und eingestellt. Die Arbeitsweise mit dem Roboter gestaltete sich einfach. Via Smartphone-Applikation konnten verschiedene Einstellungen vorgenommen werden: Karte auswählen, Spurbweichungen oder Geschwindigkeit einstellen. Zu Beginn der Spur wurde der Roboter mit den entsprechenden Einstellungen gestartet und die Höhe der Hackwerkzeuge eingestellt. Diese konnte außerdem während der Fahrt manuell per App angepasst werden. Der Roboter fuhr selbstständig die voreingestellte Fahrtroute ab und bearbeitete den Boden. Am Ende jeder Reihe regulierte der Roboter autonom das Anheben und Absenken des Hackwerks und wendete in drei Zügen, um die nächste Spur anzufahren. Über öffentliche Straßen oder längere Strecken musste der Roboter mit einem PKW transportiert werden.

Im Jahr 2024 wurde ein neues Update von Naïo Technologies herausgegeben und auch eine neue App-Version zur Verfügung gestellt (Naïo Companion v4.1). Im Vergleich zum Vorjahr 2023 war der Roboter weniger störanfällig. Die neue Applikation ermöglichte das Abspeichern von Werkzeugen und Routinen sowie eine Übersicht über den Arbeitsfortschritt und Standort des Roboters.

3. Hackergebnisse

Zur Feststellung der Hackqualität des Roboters wurde der Beikrautdruck der drei Versuchsvarianten bestimmt. Dazu wurden die Beikräuter sowohl ausgezählt als auch der Bodenbedeckungsgrad festgestellt.

Die Anzahl der Beikräuter wurde innerhalb eines rechteckigen Boniturreahmens von 0,25 m² bestimmt. Die Zählungen erfolgten immer an denselben abgesteckten Boniturstellen vor dem Hackgang. Die Beikräuter wurden an fünf Terminen ausgezählt (Abbildung 3). Die Beikrautzahl konnte bis September 2024 gut reguliert werden.

Witterungsbedingt war zwischen dem vierten und fünften Boniturtermin im September 2024 nur ein Hackgang der intensiven Variante möglich. Ein Vergleich der Anzahl der Beikräuter in und zwischen der Reihe ergab keine signifikanten Unterschiede innerhalb des zweiten Standjahrs. Ebenso gab es keine signifikanten Unterschiede zwischen den drei Versuchsvarianten.

Es wurde außerdem der Bodenbedeckungsgrad an zwei Terminen mittels Kamera und Canopeo-Fotoanalyse (Patrignani & Ochsner 2015) über den Grünanteil im Bild ermittelt. Bei diesem Parameter fällt die Größe der entwickelten Blattflächen höher ins Gewicht als die Anzahl kleiner Beikräuter. Aber auch der Bodenbedeckungsgrad zeigte im zweiten Standjahr in der intensiven Robotervariante zwar einen geringeren jedoch nicht signifikanten Beikrautdruck (Abbildung 2).

	14.05.2024	23.09.2024
intensiv	22% ± 8%	1% ± 1%
extensiv	25% ± 11%	12% ± 12%
betriebsüblich	29% ± 12%	17% ± 10%

Abbildung 2: Bodenbedeckungsgrad der drei Versuchsvarianten „intensiv“, „extensiv“ und „betriebsüblich“. Der Bodenbedeckungsgrad wurde mittels Canopeo (Patrignani & Ochsner 2015) über den Grünanteil im Bild ausgewertet (Mittelwert ± Standardabweichung, n=9).

Automatisierte Beikrautregulierung in der Obstbaumschule

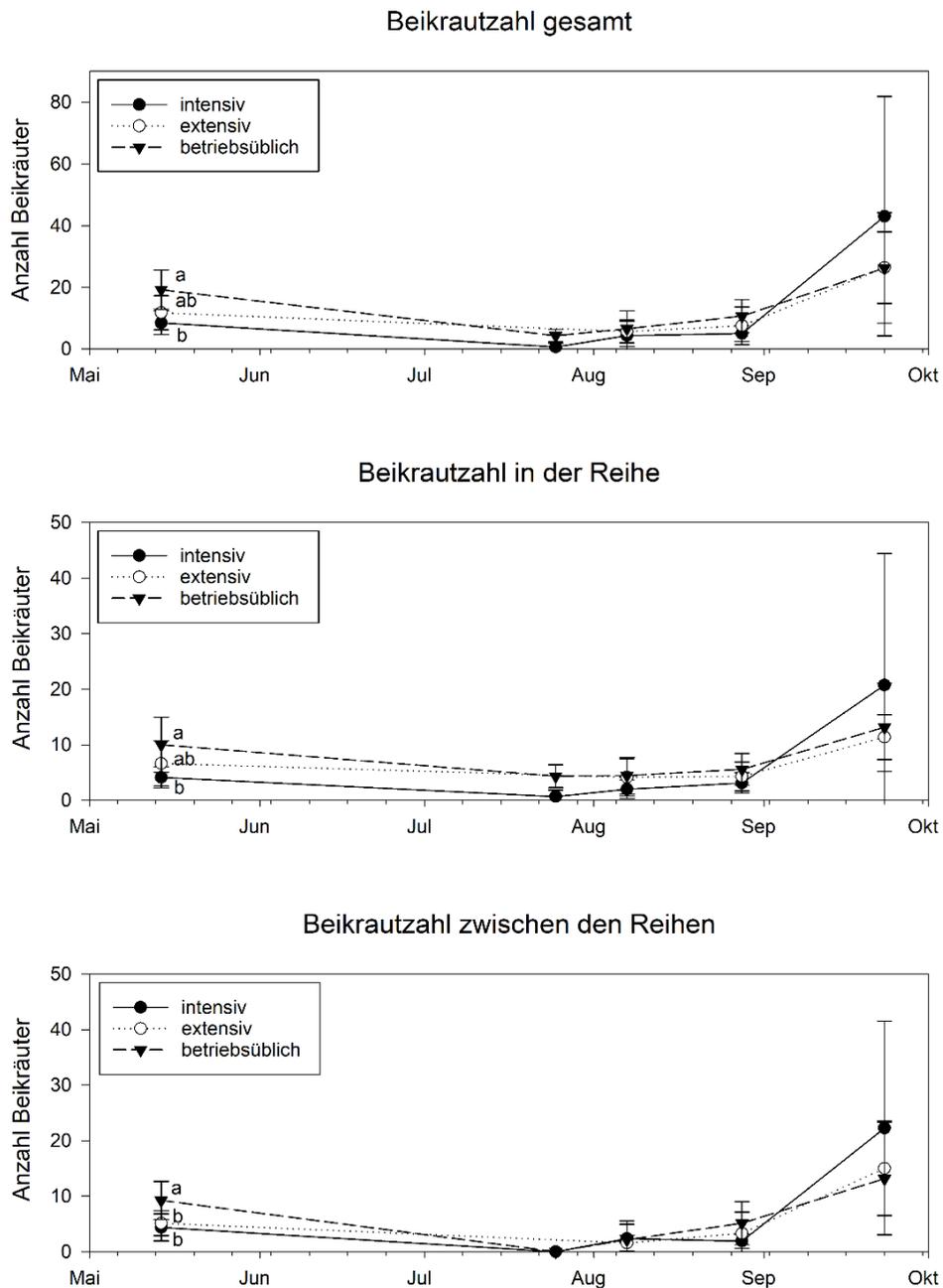


Abbildung 3: Anzahl der Beikräuter in einem Boniturrahmen ($\frac{1}{4} m^2$) in den drei Varianten „intensiv“ (wöchentliches Hacken mit dem Roboter), „extensiv“ (zweiwöchentliches Hacken mit dem Roboter) und „betriebsüblich“ mit dem Schmalspurschlepper

Automatisierte Beikrautregulierung in der Obstbaumschule

4. Vergleich der intensiven und extensiven Variante

Der Vergleich des intensiven und extensiven Hackens zeigte eine feinere Bodenstruktur in der intensiven Variante. In Abhängigkeit vom Unkrautdruck bietet es sich außerdem an, beispielsweise Gräser bereits in möglichst frühen Stadien auszuhacken. Die extensive Variante hat den großen Vorteil der Zeitersparnis, birgt aber auch das Risiko, dass aufgrund des zweiwöchigen Hackens ein Bearbeitungsgang wegen der Witterung, einer Störung oder betrieblicher Gründe ausfällt und die Regulation hoher Beikräuter dann nicht mehr gut möglich ist.

5. Eignung des Hackroboters in der Obstbaumschule

Der Roboter „Oz“ der französischen Firma Naïo Technologies ist für den Einsatz in der Baumschule grundsätzlich geeignet. Es sollten jedoch entsprechende Voraussetzungen erfüllt sein. Dazu gehört ein robotertauglicher Bestand mit ebenen Flächen. Das Vorgewende sollte eine ausreichende Größe haben (circa 2 m). Steine oder hoher Bewuchs sind zu vermeiden. Ebenso sollte auf Durchfahrhöhe aufgeastet werden. Es bietet sich an, die Äste oder hohe Beikräuter aus der Spur zu entfernen, da sich diese im Hackwerk verfangen und zu einem außerplanmäßigen Stillstand des Roboters führen können. Gerade Reihen und exakte Pflanzabstände erleichtern die Arbeit mit dem Roboter. Aktuelle Herausforderungen sind schwere Böden, allgemeine Störungen (zum Beispiel der Verlust des Satellitensignals) oder die Regulation von großen Beikräutern. Daher ist der Hackzeitpunkt relevant. Bei hoher Feuchtigkeit im Boden kann der Roboter die Fläche nicht befahren. Ein trockener harter Boden macht dem Roboter aufgrund seiner eher geringen Leistung das Hacken nur schwer möglich. In den Reihen muss weiterhin von Hand gehackt werden. Das Ergebnis der Fingerhacken ist dazu nicht ausreichend. Insgesamt war der Hackroboter nach einer Einweisung einfach zu bedienen und zeichnete sich bei optimalen Bedingungen durch eine gute Hackgenauigkeit zwischen den Reihen aus. Der Satellitenempfang des „Oz“ in der zweijährigen Bestandsdichte war ausreichend gut.

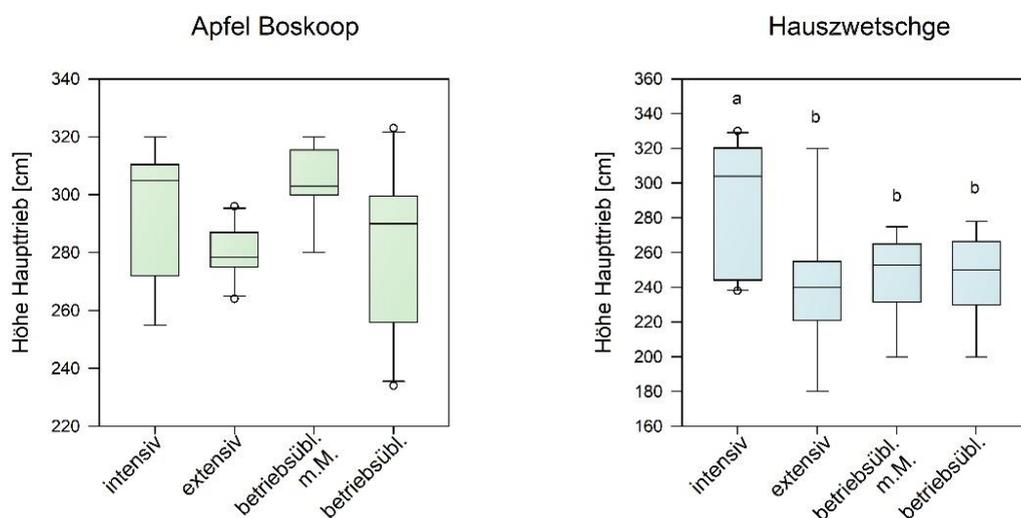


Abbildung 4: Höhe des Haupttriebs der Sorten Apfel 'Boskoop' und Hauszwetschge. Es waren nur für die Hauszwetschge in der intensiven Variante signifikante Unterschiede feststellbar (m.M. = Variante mit Mulchscheibe, One Way ANOVA, Holm-Sidak-Test, n=10).

Automatisierte Beikrautregulierung in der Obstbaumschule

6. Baumqualitäten der Engpflanzung

Insbesondere die geplante Ertragssteigerung durch den reduzierten Reihenabstand wurde in Zusammenarbeit mit dem Kompetenzzentrum Ökogartenbau bewertet (Abbildungen 4 und 5). Dazu wurden Daten zu Stammdurchmesser, Anzahl der Seitentriebe und Zuwachs der Terminale erhoben. Die Hauszwetschge war in der intensiven Versuchsvariante signifikant größer als in den anderen Varianten. Der Unterschied könnte auf Feldunterschiede oder die benachbart stehenden Kulturen zurückzuführen sein, welche in der intensiven Variante die höher gewachsenen Apfel- und Birnenbäume waren. Die anderen getesteten Kulturen zeigten keine signifikanten Unterschiede. Über die Anzahl der Seitentriebe, deren Winkel und Durchmesser wurde außerdem die Qualität der Bäume bewertet. Es war kein signifikanter Unterschied sichtbar. Auf der Versuchsfläche war es somit möglich, den Flächenertrag der Robotervariante um circa ein Drittel zu steigern.

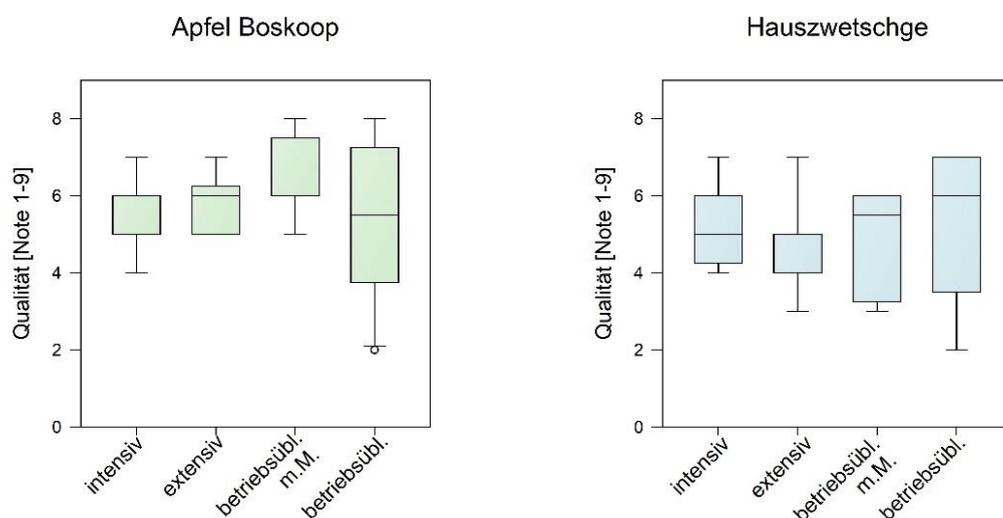


Abbildung 5: Baumqualität [Note 1-9] der Boniturbäume der Sorten Apfel 'Boskoop' und Hauszwetschge. Es waren keine signifikanten Unterschiede feststellbar (m.M. = Variante mit Mulchscheibe, One Way ANOVA, Holm-Sidak-Test, n=10)

7. Fazit

Angesichts der vergleichbaren Baumqualitäten zwischen der Engpflanzung und dem betriebsüblichen Reihenabstand war durch den Einsatz des Hackroboters eine Steigerung des Flächenertrags in der Baumschule möglich. Dieser positiven Wirtschaftsbilanz musste der gelegentliche störungsbedingte Ausfall des Hackroboters gegengerechnet werden. Aufgrund der Engpflanzung war eine Durchfahrt mit dem Schmalspurschlepper bei Ausfall des Roboters nicht mehr möglich. Obwohl der Roboter bei optimalen Bedingungen - kombiniert mit der Handhacke - gute Hackergebnisse erzielen konnte, war die Zuverlässigkeit des technischen Systems nicht gegeben. Hier benötigt es Weiterentwicklungen, die einen zuverlässigen Einsatz des Roboters garantieren, sodass sich der Mehraufwand mit dem Roboter verringert.

Automatisierte Beikrautregulierung in der Obstbaumschule

Kultur- und Versuchshinweise

- Kulturen: Apfel, Birne, Kirsche, Zwetschge
- Pflanzung: 06.03.2023
- Behandlungen: Die intensive Variante wurde wöchentlich gehackt, die extensive Variante wurde alle zwei Wochen gehackt, in der betriebsüblichen Variante ist der Schmalspurschlepper nach Bedarf gefahren. Die Robotervarianten wurden auf 90 cm gepflanzt. In der betriebsüblichen Variante betrug der Reihenabstand 140 cm.

Kritische Anmerkungen

Die Daten zum Beikrautbewuchs wurden jeweils vor dem zweiwöchigen Hackgang aufgenommen. Da es insbesondere im Versuchsjahr 2023 zu zeitweisen Ausfällen des Roboters kam, musste die Fläche zwischenzeitlich mit der Fräse bearbeitet werden. Das letztendliche Hackergebnis war entsprechend nicht für eine durchgängige Hackarbeit des Roboters darstellbar. Zu Beginn des Jahres 2023 wurde die Fläche durch Überflutung bewässert. Mitte 2023 wurde auf Überkopfbewässerung umgestellt, was dem Roboter eine bessere Befahrbarkeit ermöglichte. Das Hacken konnte nur bei entsprechenden Witterungsbedingungen durchgeführt werden und wurde andernfalls auf den nächstmöglichen Termin verschoben. Die Fläche offenbarte während der Versuchslaufzeit auffällige Bodenunterschiede in der dritten Versuchswiederholung, welche mit der Überflutung und unterschiedlicher Verschlammung in Zusammenhang stehen könnten. Daher wurde die dritte Wiederholung für die Ergebnisse der Baumbonituren seit Ende 2023 nicht mehr herangezogen.

Die Hauszwetschge war in der intensiven Versuchsvariante signifikant größer als in den anderen Varianten. Der Unterschied könnte auf Bodenunterschiede oder die benachbarten Kulturen zurückzuführen sein. In der intensiven Variante stand benachbart Apfel und Birne, während die Hauszwetschge in der extensiven Variante von anderen Zwetschgensorten und Kirsche umgeben war. Aufgrund einer Schattenvermeidungsreaktion könnte die Hauszwetschge der intensiven Variante einen ähnlichen Haupttriebzuwachs wie Apfel haben. Die anderen getesteten Kulturen zeigten keine signifikanten Unterschiede.

Literatur:

Patrignani, A. and Ochsner, T.E. (2015), Canopeo: A Powerful New Tool for Measuring Fractional Green Canopy Cover. *Agronomy Journal*, 107: 2312-2320. <https://doi.org/10.2134/agronj15.0150>

Bildnachweis: © LWG Veitshöchheim