



ENTWICKLUNG NACHHALTIGER STRATEGIEN ZUR UNKRAUTREGULIERUNG IM OBSTBAU

Teil 2: Stickstoff im Boden, mikrobielle Biomasse, Wachstum, Rückstände.

In einem dreijährigen Interreg-Projekt wurde der Einfluss verschiedener chemischer, mechanischer und kombinierter Verfahren der Unkrautregulierung an den drei Standorten Schlachters (HSWT, D), Bavendorf (KOB, D) und Wädenswil (Agroscope, CH) auf Boden- sowie obstbauliche und ökonomische Parameter untersucht.

Nachdem im ersten Artikel (SZOW 12/20) auf den Einfluss der Verfahren auf Bodenklima, Unkrautwachstum und Bodenleben eingegangen wurde, befasst sich der vorliegende Artikel mit den Auswirkungen auf die Stickstoffdynamik und die mikrobielle Biomasse im Boden sowie das Wachstum der Bäume. Am Standort Schlachters wurden zudem Rückstandsanalysen an den Früchten durchgeführt. Die Varianten zur Unkrautregulierung sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Stickstoffgehalte im Boden

Als Vorteil bodenbearbeitender Massnahmen, wie z. B. dem Einsatz des Krümlers, wird häufig eine fördernde Wirkung im Frühjahr auf die Stickstoffmobilisierung im Boden genannt. Dagegen soll bei oberflächlich arbeitenden Geräten, wie z. B. dem Fadengerät, eine zusätzliche Förderung der Stickstoffmineralisation vermieden werden. Damit können im Zeitraum der Ernte eine optimale Ausfärbung und ein zeitiger Triebabschluss erzielt werden. Um den Einfluss einzelner Verfahren auf die Stickstoffmineralisation im Boden zu untersuchen, wurden von 2017 bis 2019 in Schlachters und am KOB über die gesamte Vegetationsperiode Bodenproben in 0 bis 30 cm Tiefe gezogen und auf den Gehalt an mineralischem Stickstoff ($N_{\min}$) ana-



Abb. 1: Nach Einsatz des Fadengeräts oder bei Anwendung der Pelargonsäure laufen die Unkräuter rasch wieder auf. Das führt zu einem stärkeren Stickstoffentzug als in den Varianten mit tiefer Bodenbedeckung.

lysiert. Der Einfluss der verschiedenen Bekämpfungsstrategien auf den Verlauf der $N_{\min}$ -Gehalte war relativ gering. Unterschiede in den resultierenden $N_{\min}$ -Gehalten ergaben sich zumeist indirekt über die unkrautregulierende Wirkung der geprüften Massnahmen. Dabei zeigte sich, dass bei Varianten mit hohem Bedeckungsgrad und raschem Wiederaufleben der Unkräuter (Abb. 1) ein stärkerer Stickstoffentzug erfolgte als in den Varianten mit tiefer Bodenbe-



Standort	HSWT (Schlachters)	KOB		Agroscope	
		Versuch Öko	Versuch IP	Altanlage	Junganlage
Sorte + Pflanzjahr	Jonagold (2017); Fuji (2013)	Shalimar (2012)	Topaz (2009)	Gala (2010)	Gala + Bonita (2018)
Varianten	Kontrolle	Krümler	Kontrolle	Kontrolle	Kontrolle
	Krümler	Krümler + Fadengerät ab Frühjahr	Krümler + Fadengerät	Fadengerät	Krümler + Fadengerät
	Krümler + Fadengerät	Krümler + Fadengerät ab Frühjahr + Mulchablage	Rollhacke	Glyphosat + Fadengerät	Glyphosat
	Herbizid ohne Glyphosat	Krümler + Fadengerät ab Sommer	Herbizid Standard (3 × Glyphosat/Jahr)	Glyphosat + Glufosinat ab 2019 nur Glyphosat	Glyphosat + Fadengerät
	Herbizid mit Glyphosat	Rollhacke	Fadengerät Frühjahr + Bodenherbizid Sommer (1 × Glyphosat/Jahr)	Glyphosat + Alce + Glufosinat; ab 2019 Glyphosat + Pelargonsäure + Fadengerät	
	Herbizid + Krümler	Rollhacke mit Fingerhacke	Bodenherbizid Frühjahr + Fadengerät Sommer (ohne Glyphosat)	Glyphosat + Surflan + Glufosinat ab 2019 Wuchsstoffherbizid + Gräserherbizid anstelle Glufosinat	
	Herbizid + Fadengerät	Krümler + Rollhacke		Glyphosat + Diuron 80 + Glufosinat ab 2019 Wuchsstoffherbizid + Gräserherbizid anstelle Glufosinat	
	Herbizid + Rollhacke mit Fingerhacke	Krümler + Rollhacke + Fadengerät		Glufosinat + Diuron 80 + Glufosinat ab 2019 Glyphosat + Fettsäure + Fadengerät	
		Grasskiller		Grasskiller	

Tab. 1: Vergleich der Versuchsvarianten.

deckung. So hatten z.B. in den Versuchen in einer Jonagold-Junganlage in Schlachters im niederschlagsreicheren Jahr 2019 die Variante mit Krümler im Frühjahr und Fadengerät im Sommer sowie die Herbizidvariante mit Pelargonsäure bei starkem Unkrautwuchs im Sommer deutlich geringere $N_{\min}$ -Gehalte im Boden als die Varianten «Krümler-ganzjährig», «Herbizid mit Glyphosat» sowie die Kombinationsvarianten (chemisch und mechanisch).

Anhand dieses Versuchs lässt sich darstellen, dass der Einfluss der Massnahmen auf den Verlauf der $N_{\min}$ -Gehalte aus einem Zusammenspiel zwischen Bekämpfungserfolg, dem jährlichen Witterungsverlauf, der Düngung sowie der Nachlieferung aus den Vorräten an organisch gebundenem Stickstoff im Boden resultiert (Abb. 2). Insgesamt war das Jahr 2019 mit einer Jahresniederschlagsmenge von 1770 mm am Standort Schlachters recht feucht. Allerdings war es auch von längeren Trockenperioden sowie mehreren Starkniederschlägen geprägt. Anfang des Jahres ist zunächst ein Anstieg der $N_{\min}$ -Gehalte im Boden bedingt durch die Mineralisation im Frühjahr bei zunehmenden Temperaturen zu sehen. Starke Niederschläge in der zweiten Aprilhälfte führten zusammen mit dem beginnenden Wachstum der Bäume zu einem Rückgang der Werte auf unter 20 kg N/ha. Nachdem Anfang Juni die Obstbäume gedüngt wurden, war eine Zunahme der $N_{\min}$ -Werte über die gedüngte Menge hinaus zu verzeichnen. Eine ausreichende Bodenfeuchte, zusammen mit deutlich steigenden Temperaturen, führte vermutlich in dieser Phase zu einer starken Mineralisierung der organischen Substanz im Boden. Gleichzeitig waren in dieser Phase keine stärkeren Niederschläge zu verzeichnen, durch die mobiler Stickstoff in tiefere Bodenschichten ver-

lagert worden wäre. In den Folgewochen nahmen die Werte, bedingt durch mehrere sehr starke Niederschlagsereignisse sowie durch den Entzug der Obstbäume, bis zur Ernte wieder deutlich ab. Der Einsatz des Fadengeräts über den Sommer führte zu einer permanenten Bedeckung des Baumstreifens und einem kontinuierlichen Wuchs der Unkräuter. Gleiches galt für die Herbizidstrategie mit Pelargonsäure. Diese hatte über den Sommer keine ausreichende Wirkung mehr, so dass der Baumstreifen komplett mit Unkräutern in einer Wuchshöhe von ca. 30 cm begrünt war. Die höheren Bedeckungsgrade sowie das

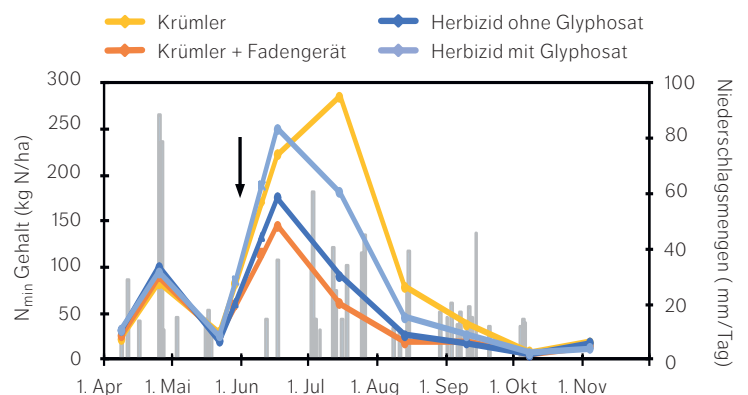


Abb. 2: Verlauf der $N_{\min}$ -Gehalte unterschiedlicher Bekämpfungsstrategien in der Jonagold-Junganlage im Jahr 2019 in Schlachters in einer Tiefe von 0-30 cm (schwarzer Pfeil = Düngetermin mit 70 kg N/ha). Blaue Balken: Niederschlagsmengen mit erhöhtem Auswaschungspotenzial (> 10 mm innerhalb 24 h).



schnellere Wiederauflaufen der Unkräuter nach Einsatz von Fadengerät oder Pelargonsäure erklären die geringeren $N_{\min}$ -Gehalte des Bodens in diesen Varianten über den Sommer im Vergleich zu den beiden Strategien «Krümmler ganzjährig» beziehungsweise «Herbizid mit Glyphosat».

Ein entsprechendes Bild zeigte der Vergleich «rein mechanischer Verfahren» am KOB in Bavendorf (KOB Bio). In allen Versuchsjahren war ein geringerer $N_{\min}$ -Gehalt infolge einer Bearbeitung mit dem Fadengerät festzustellen. In der wiederholt mit dem Fadengerät bearbeiteten Variante «Fadengerät ab Frühling» wurde ein über den gesamten Untersuchungszeitraum geringerer $N_{\min}$ -Gehalt im Vergleich zu den Varianten mit dem Krümmler und/oder der Rollhacke gemessen. Die bis zum Sommer einheitlich mit dem Krümmler bearbeiteten Varianten «Krümmler und Fadengerät ab Sommer» und «Krümmler ganzjährig» wiesen in diesem Zeitraum eine vergleichbare Stickstoffdynamik auf. Erst mit dem Wechsel auf das Fadengerät im Vorerntebereich ergaben sich relevante Unterschiede im $N_{\min}$ -Gehalt beider Varianten. Damit konnte in der Variante «Krümmler und Fadengerät ab Sommer» das Ziel, die Stickstoffmineralisation vor der Ernte nicht weiter anzuregen, erreicht werden. Auch die weiteren Versuche am KOB (IP) zeigten ähnliche Ergebnisse. Während sich ein Grossteil der Varianten hinsichtlich des $N_{\min}$ -Gehalts nicht unterschied, zeigten Ende August die Glyphosat-freie Variante mit «Herbizidanwendung im Frühjahr und Fadengerät im Sommer» sowie die rein mechanische Variante «Krümmler im Frühjahr und Fadengerät im Sommer» deutlich niedrigere $N_{\min}$ -Werte als die anderen Varianten (Tab. 1).

Auch unmittelbar nach Unkrautregulierung keine Einflüsse auf Mineralisation

Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass Unterschiede zwischen den Verfahren mehr auf die Konkurrenzwirkung durch Unkräuter oder den Eintrag organischer Substanz von abgestorbenen Unkräutern und weniger auf die Art der Bearbeitung zurückzuführen sind. Um dieses Resultat unmittelbar nach Behandlung in kurzen Zeitabständen gezielt zu prüfen, wurde Anfang Mai 2019 in Schlachters ein zusätzlicher Versuch durchgeführt, in dem unter einheitlichen Bedingungen (gleichmässiger Bedeckungsgrad) eine einmalige Behandlung mit Krümmler, Fadengerät oder Herbizid (Glyphosat) zum gleichen Zeitpunkt durchgeführt wurde. Als weiterer Vergleich diente eine unbehandelte Kontrolle. Direkt vor sowie drei und sieben Tage nach der Behandlung wurden Bodenproben gezogen. Ein Vergleich der $N_{\min}$ -Gehalte zeigte keine Unterschiede zwischen den

	Bonita	Gala
Kontrolle	21.4 ± 1.0 ^b	20.3 ± 1.1 ^b
Glyphosat	22.6 ± 0.8 ^{ab}	23.8 ± 0.8 ^a
Glyphosat und Fadengerät	24.8 ± 0.7 ^{ab}	22.9 ± 0.7 ^{ab}
Krümmler und Fadengerät	27.0 ± 0.8 ^a	21.9 ± 0.8 ^{ab}

Tab. 2: Zuwachs des Stammumfangs von Gala und Bonita im ersten Versuchsjahr 2019 in Wädenswil (Pflanzjahr 2018). Mittelwert ± Standardfehler, verschiedene Buchstaben innerhalb der gleichen Sorte geben statistisch signifikante Unterschiede an ($p < 0.05$, Tukey HSD).

Varianten. Der erwartete Mineralisations-Schub nach Einsatz des Krümlers konnte in diesem Versuch nicht festgestellt werden.

Mikrobielle Biomasse (C_{mic})

Die mikrobielle Biomasse umfasst die organische Bodensubstanz an lebenden Mikroorganismen wie Bakterien und Pilzen. Mikroorganismen kommen im Boden in grosser Vielfalt und hoher Dichte vor und sind wichtig für die Bodenfruchtbarkeit und das Funktionieren von Ökosystemen. Im Rahmen des Projekts wurde bei den in Schlachters durchgeführten Versuchen der Einfluss auf die mikrobielle Biomasse im Boden untersucht. Zusammengefasst zeigten die Untersuchungen keine Unterschiede zwischen den einzelnen Varianten, vielmehr war ein deutlicher Jahresverlauf zu erkennen. Dies bedeutet, dass die aktuelle Witterung (insbesondere Bodenfeuchte und -temperatur) einen deutlichen Einfluss auf die mikrobielle Biomasse im Boden hatte, die Verfahren der Unkrautregulierung jedoch nicht.

Wachstumsparameter

Das vegetative Wachstum wurde je nach Standort durch Erfassung des Stammzuwachses, des Triebwachstums oder der Beurteilung des gesamten Baumwachstums zur Vegetationsruhe jährlich erfasst. Bedingt durch das Frostjahr 2017 waren 2018 hohe Baumerträge zu verzeichnen. In Kombination mit dem Hitzesommer war das Wachstum 2018 an allen Standorten stark reduziert. 2019 mit guter Wasserversorgung konnte ein stärkeres Wachstum gemessen werden.

Die Anwendung des Krümlers führte in Schlachters zu einem schwächeren Wachstum der Bäume, bei Solo-Anwendung sowie in Kombination. Vermutlich ist dies auf die Schädigung oberflächlicher Wurzeln, vor allem bei noch geringem Wurzelvolumen in Junganlagen, zurückzuführen. Das stärkste Wachstum war in den reinen Herbizidvarianten zu verzeichnen. Trotz des massiven Unkrautbewuchses in den Sommermonaten in der Variante mit «Pelargonsäure» zeigte dieses Verfahren ein stärkeres Wachstum als die mechanischen Varianten. Die Anwendung von Flumioxazin (Produkt Vorox F, in der Schweiz nicht zugelassen) im Frühjahr zeigte eine gute, herbizide Wirkung, wodurch in der Hauptwachstumsphase der Bäume nach der Blüte zunächst keine Konkurrenzwirkung auftrat. Der starke Bewuchs des Baumstreifens im Sommer durch die geringe Wirkung der Pelargonsäure scheint sich zu diesem Zeitpunkt nicht mehr negativ auf das Wachstum der Bäume ausgewirkt zu haben.

Eine wuchsberuhigende Wirkung mechanischer Verfahren konnten auch in der IP-Anlage am KOB mit der Sorte Topaz festgestellt werden (Abb. 3). Im Jahr 2019 war der prozentuale Anteil an Bäumen mit deutlich schwächerem Baumwachstum (orange Balken) höher, wenn mechanische Unkrautbehandlungen erfolgten. Die beiden Varianten ohne bewegende Bodenbearbeitung (Kontrolle, Herbizid Standard) wiesen einen Anteil von ca. 60 % stark wachsenden Bäumen auf (blaue Balken).

Der reine Vergleich mechanischer Verfahren am KOB (KOB Bio) zeigte in der regelmässig mit dem Fadengerät bearbeiteten Variante die grösste Zunahme des Stammumfangs. Allerdings lagen in dieser Variante die Erträge im Schnitt um 2 bis 3 kg je Baum unter

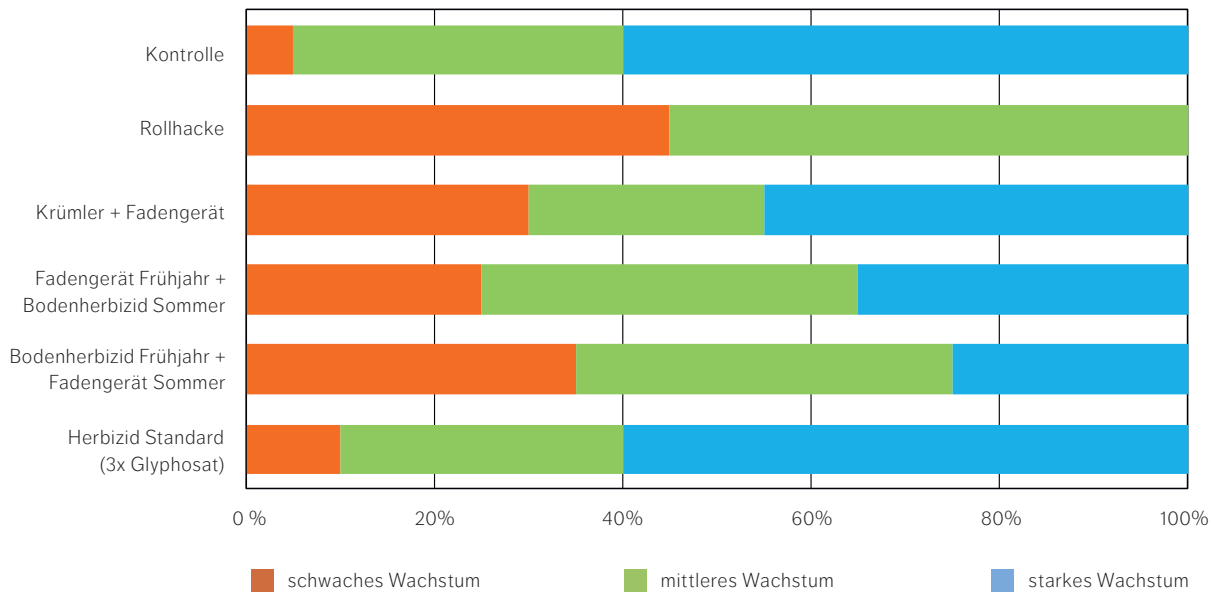


Abb. 3: Intensität des Triebwachstums der Sorte Topaz in den sechs Varianten zur Unkrautregulierung in der IP-Anlage am KOB 2019.

denen der ausschliesslich mit dem Krümmer bearbeiteten Vergleichsvariante. Bei der Erhebung des Triebwachstums konnten keine Unterschiede zwischen den Varianten festgestellt werden.

In Wädenswil wurde das Wachstum der Bäume anhand des Zuwachses des Stammumfangs gemessen. Bäume der Sorte Bonita wuchsen im zweiten Standjahr im Gegensatz zu den Ergebnissen aus Schlachters und vom KOB in der Variante «Krümmer und Fadengerät» stärker als Bäume in der unbehandelten Kontrolle (Tab. 2). Bei den Jungbäumen der Sorte Gala war ebenfalls das Wachstum in der Kontrolle am schwächsten, wobei nur der Unterschied zur Herbizidvariante mit Glyphosat signifikant war. Bei den Bäumen im Vollertrag (Gala, Pflanzjahr 2010) wurden in Wädenswil in keinem der drei Versuchsjahre Unterschiede im Wachstum zwischen den Varianten beobachtet.

Rückstandsuntersuchungen

Von den Herbizidvarianten in Schlachters wurden 2019 Rückstandsanalysen auf den Wirkstoff Glyphosat durchgeführt. In keiner der genommenen Fruchtproben konnten dabei Rückstände des Wirkstoffs festgestellt werden.

Schlussfolgerungen

Die Versuche zeigen, dass die Wirkung einzelner Verfahren auf das Baumwachstum je nach Standort unterschiedlich sein kann. Ein Zusammenhang zwischen dem im ersten Artikel (SZOW 12/20) beschriebenen Einfluss auf den Wassergehalt im Boden (tiefere Werte in den Varianten mit höherem Bedeckungsgrad) und dem Wachstum der Bäume ist nicht zu erkennen. Inwieweit eine wuchshemmende oder wuchsfördernde Wirkung einzelner Verfahren gezielt genutzt werden kann, hängt letztendlich von mehreren Faktoren wie dem Zustand der Bäume (Alter, Wüchsigkeit, Fruchtbehang usw.) sowie den jeweiligen Standort- und Wachstumsbedingungen ab.

Im dritten Artikel (SZOW 15/20) werden Ertrag, Fruchtqualität, Lager Eigenschaften und Mineralstoffgehalte der Früchte behandelt. Im vierten Teil erfolgt eine betriebswirtschaftliche Bewertung der Verfahren sowie die Vorstellung des Leitfadens für die Praxis (SZOW 16/20).



JOHANNES WERTH

Hochschule Weihenstephan-Triesdorf (HSWT)
johannes.werth@hswt.de



THOMAS KUSTER

Agroscope, Wädenswil,
thomas.kuster@agroscope.admin.ch

In Zusammenarbeit mit

Dominikus Kitemann, Michael Beck, Dieter Lohr und Elke Meinken, Hochschule Weihenstephan-Triesdorf HSWT ■ Esther Bravin, Agroscope (CH) ■ Sascha Buchleither, Michael Zoth, und Christian Scheer, Kompetenzzentrum Obstbau Bodensee Bavendorf KOB (D)