

## **Wirkung differenzierter Bodenbearbeitung auf die Beikrautregulierung und Stickstoffversorgung von Dinkel**



**Maike Krauss, Christoph Hofstetter, Dani Böhler, Alfred Schädeli, Hansueli Dierauer**

Abschlussbericht, November 2018

Diese Arbeit wurde im Projekt «Einführung von "Precision farming" im Biolandbau in der Schweiz» (Coop Fonds für Nachhaltigkeit) und dem Projekt «Alternativen zum Pflug im Biolandbau» (Stiftung Sur la Croix) durchgeführt.

## Inhaltsverzeichnis

<b>1. Zusammenfassung .....</b>	<b>1</b>
<b>2. Einleitung / Problemstellung .....</b>	<b>1</b>
<b>3. Material und Methoden / Vorgehen .....</b>	<b>1</b>
3.1 Versuchsaufbau und Bewirtschaftung.....	1
3.2 Untersuchungen.....	3
<b>4. Resultate und Diskussion.....</b>	<b>4</b>
4.1 Beikrautregulierung.....	4
4.2 Stickstoffversorgung, Ertrag.....	7
4.3 Methodenvergleich.....	10
<b>5. Schlussfolgerungen / Empfehlungen .....</b>	<b>10</b>
<b>6. Literatur.....</b>	<b>11</b>
<b>7. Danksagung.....</b>	<b>11</b>
<b>8. Anhang .....</b>	<b>12</b>

## 1. Zusammenfassung

## 2. Einleitung / Problemstellung

Winden (*Convolvulus* spp.) sind Wurzelunkräuter, die schwierig zu regulieren sind. Die ausdauernden Rhizome bilden jährlich neue Triebe und können sich von ihren stationären „Nestern“ im Laufe der Zeit ausbreiten und überhandnehmen. Ausgehend von den Erfahrungen im Langzeitversuch zur reduzierten Bodenbearbeitung in Frick sind die Winden zwar in beiden Bodenbearbeitungsverfahren (Pflug vs. Reduziert) vorhanden, haben sich in den reduziert bearbeiteten Parzellen aber stärker ausgebreitet (Armengot *et al.*, 2015). Dies wurde auch auf Praxisbetrieben beobachtet. Wurzelunkräuter stellen daher ein grosses Hemmnis in der Umsetzung der reduzierten Bodenbearbeitung dar. Es werden daher Massnahmen gesucht, die zwar bodenschonender arbeiten als der Pflug, Wurzelunkräuter (in diesem Fall Winden) jedoch besser regulieren. Da Winden dichtgelagerte Böden bevorzugen, könnte eine tiefergehende Lockerung Winden potenziell zurückdrängen. Ein weiteres Hemmnis zur Umstellung vom Pflug auf eine reduzierte Bearbeitung ist die Nährstoffversorgung von Winterkulturen im Frühjahr (Mäder and Berner, 2012). Gepflügte Böden erwärmen gerade in feuchtkalten Jahren schneller und stimulieren die Mineralisierung. Die fehlende Stickstoffverfügbarkeit in reduziert bearbeiteten Böden wurde oft beobachtet. Sie wirkt sich in Mindererträgen in reduziertem Vergleich zum gepflügten System aus. Auch hier könnte eine Lockerung der dichtgelagerten Böden im reduzierten System Abhilfe schaffen. Eine tiefer gehende Lockerung reduziert bearbeiteter Böden könnte daher auf mehreren Ebenen Vorteile bringen.

Genauere Aufnahmen der Nährstoffversorgung oder der Beikrautdeckung im Feld sind sehr arbeitsintensiv und daher im praktischen Kontext, z.B. für On-farm Versuche kaum machbar, da sie eine gewisse zeitliche Auflösung der Dynamiken erfordern. Fernerkundungs-gestützte Aufnahmen mit Drohnen und die anschliessende Auswertung der Bilddaten versprechen hier eine arbeits- und kostengünstigere Alternative. Um die Methoden mit ausreichender Präzision auch für Feldversuche nutzen zu können, muss allerdings erst eine Kalibration der Bilddaten mit erhobenen Referenzdaten im Feld erfolgen.

Gegenstand des Projektes war daher zum einen vier verschiedene Bodenbearbeitungsverfahren auf ihre Effektivität hinsichtlich der Beikrautregulierung (v.a. der Winden) und der Stickstoffversorgung hin zu untersuchen und zum anderen beurteilen zu können, ob Drohnen-gestützte Bilddaten dies abbilden können.

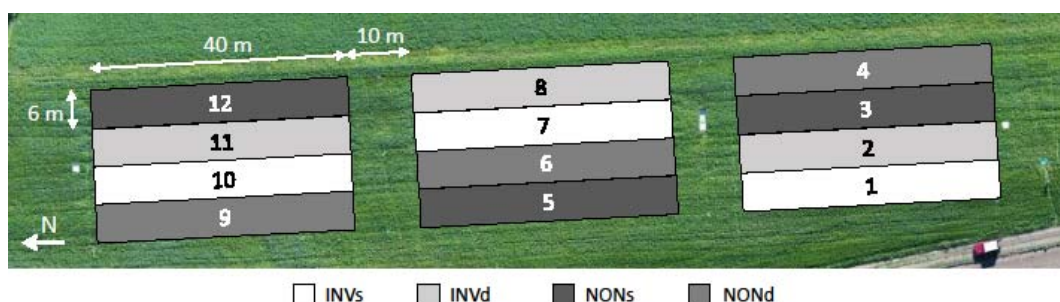
## 3. Material und Methoden / Vorgehen

### 3.1 Versuchsaufbau und Bewirtschaftung

Der einjährige Versuch in einer Dinkelkultur (Sorte «Titan») wurde auf einem Feld des FiBL-Hofes in Frick im Herbst 2017 angelegt und im Sommer 2018 geerntet. Das stark mit Beikräutern und Winden belastete Feld wurde mehr als fünf Jahren mit nicht-wendenden

Maschinen flach, also reduziert bearbeitet (Pflugeinsatz nur zum Wiesenumbruch). Es wurden 6 x 40 m grosse Parzellen mit 4 Bodenbearbeitungsverfahren und 3 Feldwiederholungen angelegt (siehe Abbildung 1). Die Verfahren umfassen:

- INVs wendend mit Pflug, 18 cm
- INVd wendend mit Pflug, 28 cm
- NONs nichtwendend mit Grubber «Weco-Dyn», 10 cm
- NONd nichtwendend mit Grubber «Weco-Dyn» (10 cm) und Frontgrubber «Löwenzahn» (30 cm)



**Abbildung 1: Versuchsanordnung.**

Die Bewirtschaftung des Dinkels erfolgte nach Tabelle 1.

**Tabelle 1: Feldjournal mit Bewirtschaftungsmassnahmen.**

Datum	Bewirtschaftungsmassnahme
September 2017	Dreimalige nichtwendende Stoppelbearbeitung des gesamten Feldes mit Lemken Grubber und Grubber «WecoDyn» auf maximal 10 cm als Unkrautkur. Dies ist die einzige Bearbeitung in NONs (10 cm).
13.10.2017	Pflügen in INVs (18 cm) und INVd (28 cm)
18.10.2017	Nichtwendende Bearbeitung mit Grubber «WecoDyn» (10 cm) und Tiefenlockerung mit Grubber «Löwenzahn» (30 cm) in NONd in einem Durchgang
19.10.2017	Dinkelsaat mit Kreiselege-Säkombination, Sorte «Titan», 1.9 kg/A
22.11.2017	Gülleapplikation ca. 25 m <sup>3</sup> /ha
14.04.2018	Striegeln
12.07.2018	Dinkelernte

## 3.2 Untersuchungen

Zu Beginn der Erhebungen wurden im Februar Bodenproben in 0-60 cm gezogen und auf Nmin untersucht.

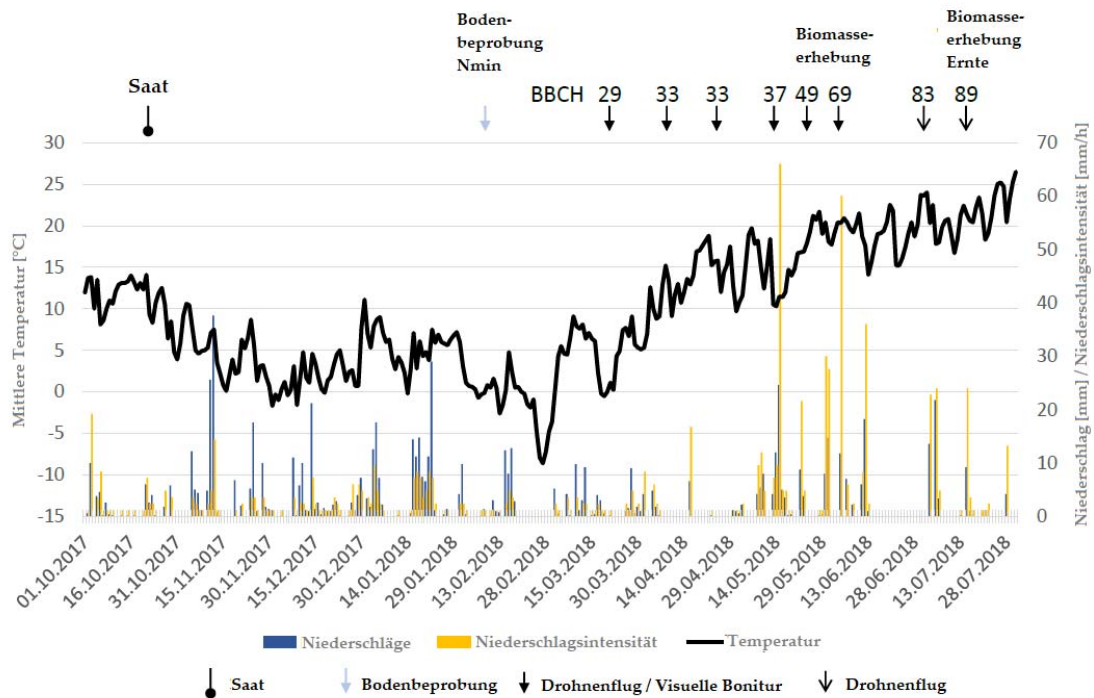
Innerhalb der Hauptparzellen wurden zur visuellen und Drohnen-gestützten Datenerhebung weitere Subparzellen mit einer Grösse von 1 x 1 m angelegt: drei Subparzellen mit normaler Kulturentwicklung und eine Subparzelle, die von Hand gejätet wurde. Zur exakten Positionierung der Drohnenbilder wurden im Feld Kontrollpunkte installiert, deren Koordinaten mit einem GPS Gerät aufgenommen wurden.

In den Subparzellen wurden zu verschiedenen Kulturstadien des Dinkels folgende Parameter erhoben:

	Visuelle Bonitur im Feld	Drohnenaufnahmen
<b>Stickstoffversorgung</b>	Chlorophyllgehalt von Dinkelblättern (Minolta SPAD-502)  C/N in der Dinkelbiomasse nach der Blüte (BBCH 69) und von Stroh und Korn zur Ernte (BBCH 89)	Triangular Greenness Index (TGI) = $-0.5[(\lambda_r - \lambda_b)(R_r - R_g) - (\lambda_r - \lambda_g)(R_r - R_b)]$  Mit R = Reflektanz, $\lambda$ = Wellenlänge, r = rot, g = grün, b = blau
<b>Beikräuter</b>	Abschätzung des Deckungsgrades von: Gesamtdeckung, Beikräuter (Dicotyledonae, Monocotyledonae), Dinkel, Winde nach Sans <i>et al.</i> (2011)  Biomasse: Dinkel und Beikräuter nach der Blüte (BBCH 69)  Detaillierte Windenbonitur (BBCH 89)	Differenz der Anzahl grüner Pixel zwischen den gejäteten und den normalen Supplots.  Anzahl grüner Pixel im abgereiften Dinkelbestand (BBCH 89)

Bei jedem Boniturtermin wurde mit der Drohne (DJI Phantom 4 Pro, RGB Kamera mit 4864 x 3648 Pixel Auflösung) geflogen und anschliessend der Chlorophyllgehalt und die Dinkel- und Beikrautdeckung im Feld erhoben. An einem Zusatztermin nach der Blüte (BBCH 69) wurde zudem die Biomasse des Dinkels und der Beikräuter, sowie der C/N Gehalt des Dinkels in den Subplots und einem zusätzlich installierten Düngefenster ausserhalb der Versuchspartellen zur Kalibration der Flug- und Felddaten ermittelt. Vor der Ernte (BBCH 89) wurde eine Ertragshebung des Dinkels in den Subparzellen durchgeführt. Einen Überblick über die Erhebungen im Zusammenhang mit dem Wetter gibt die Abbildung 2.

Die Bilddaten der einzelnen Drohnenflüge wurden mit einer Software (AgiSoft PhotoScan Professional) zu einem Orthofoto zusammengesetzt (Abbildung 7, Anhang) und die Pixel mit der Software R verrechnet.

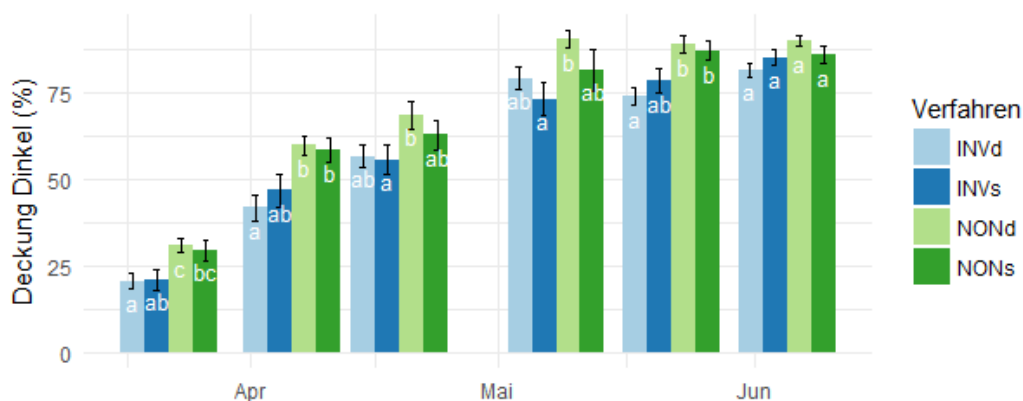


**Abbildung 2: Wetterverlauf und Felderhebungen während der Dinkelsaison. Die Zeitpunkte der Erhebungen sind als BBCH Stadien des Dinkels vermerkt.**

## 4. Resultate und Diskussion

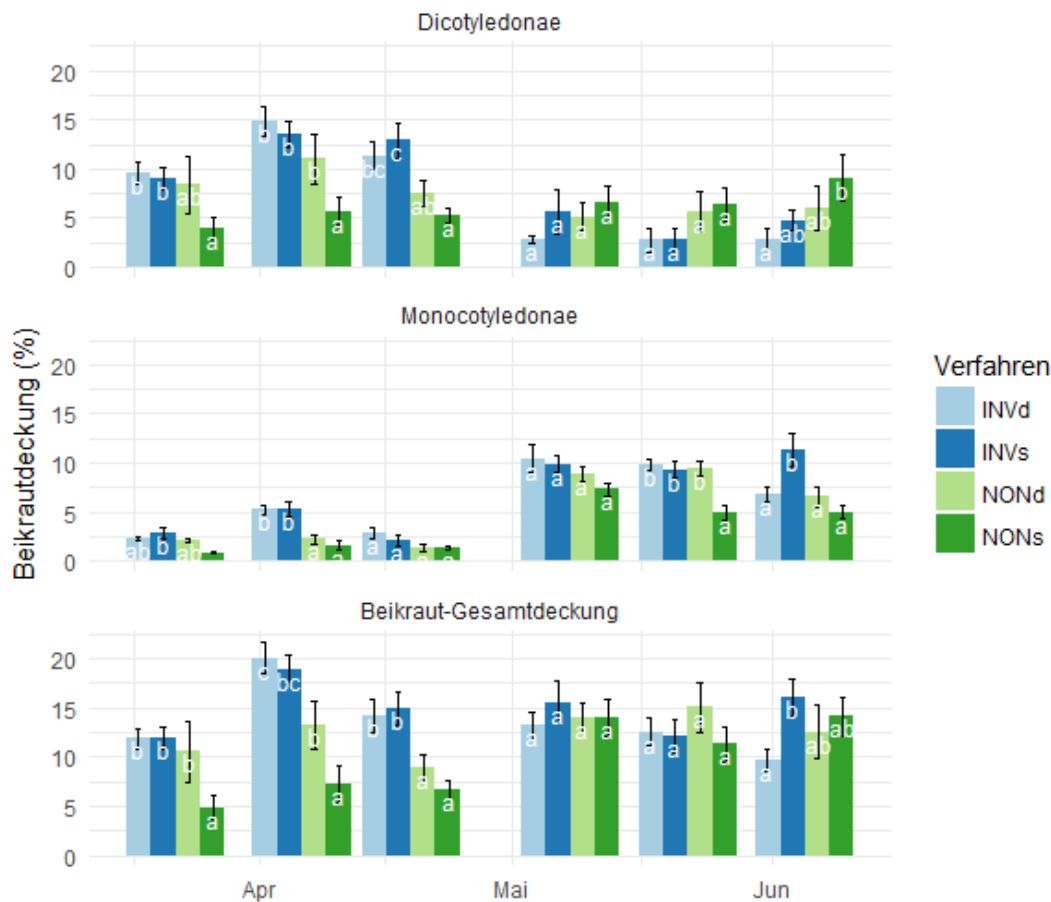
### 4.1 Beikrautregulierung

Der Dinkel zeigt über die gesamte Saison hinweg überwiegend signifikant höhere Deckungsgrade in den nicht-wendenden Verfahren (NON) (Abbildung 3).



**Abbildung 3 Mittelwerte (Standardfehler als Fehlerbalken) des Deckungsgrades des Dinkels visuell geschätzt zu den BBCH Stadien 29, 33, 37, 49 und 69. Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede (negativ binomiales Modell, F-Test,  $p < 0.05$ ). INVd – Pflug 28 cm, INVs – Pflug 18 cm, NONd – Grubber 10 cm/30 cm, NONs – Grubber 10 cm.**

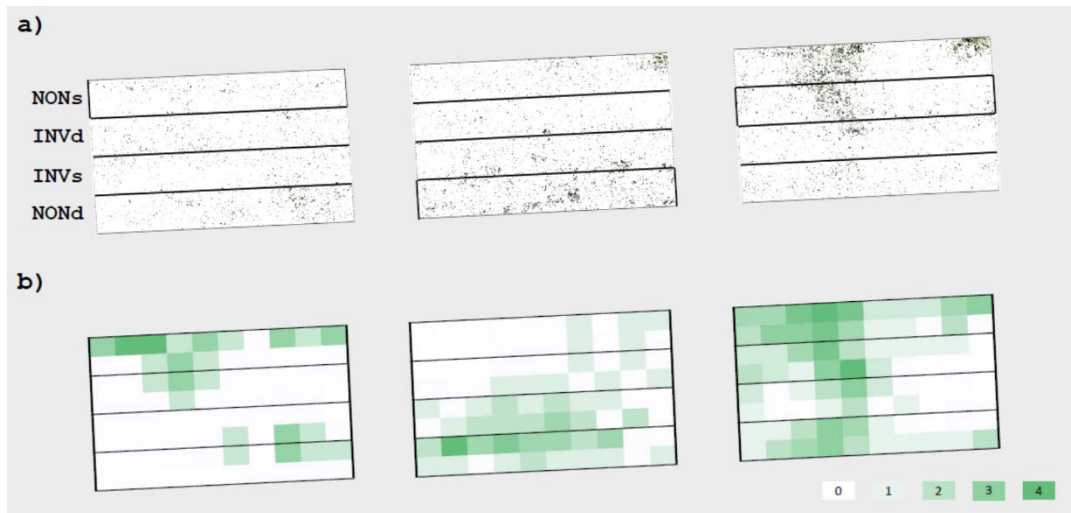




**Abbildung 4 Mittelwerte (Standardfehler als Fehlerbalken) des Beikrautdeckungsgrades von Dikotyledonen (oben), Monokotyledonen (mittig) und der Gesamtdeckung, visuell geschätzt zu den BBCH Stadien 29, 33, 37, 49 und 69. Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede (negativ binominales Modell, F-Test,  $p < 0.05$ ). INVd – Pflug 28 cm, INV – Pflug 18 cm, NONd – Grubber 10 cm/30 cm, NONs – Grubber 10 cm.**

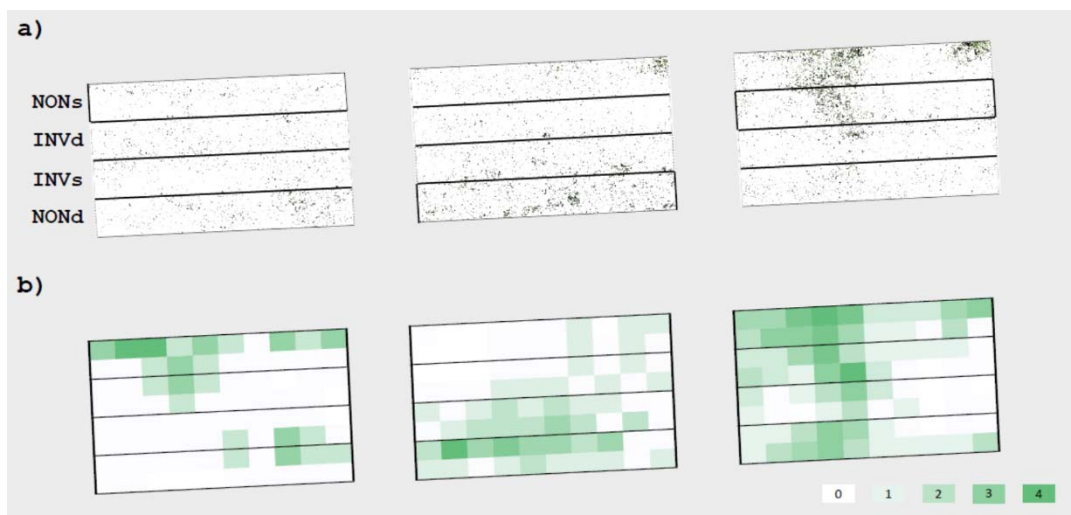
Dies könnte zumindest zu Beginn der Saison eine Wirkung auf den Beikrautbesatz gehabt haben, der in den gepflegten Verfahren (INV) zunächst höher war, sowohl im Falle von Gräsern (Monokotyledonen) als auch bei den breitblättrigen Beikräutern (Dicotyledonae) (Abbildung 4). Ab dem Ährenschieben jedoch war der Beikrautbesatz mit 10-15 % etwa gleich hoch zwischen den Verfahren. Die Ursache war die Zunahme der Winden (*Convolvulus* spp.), die im nicht-wendenden Verfahren zum Ende der Saison hin stärker zunahm (Abbildung 4 oben). Da Winden in Nestern vorkommen, wurde ihr Vorkommen nicht nur in den Subplots, sondern bei der Abreife des Dinkels zusätzlich über die ganze Parzelle hinweg untersucht (Abbildung 5). Hier konnte der Unterschied zwischen dem Pflug (INV) und den nicht-wendenden Verfahren (NON) sowohl im Feld als auch aus der Luft bestätigt werden, obwohl dies auf Grund der hohen Streuung knapp nicht signifikant war (Die Daten der Drohnenbilder waren durch das Vorkommen von Luzernedurchwuchs vor allem in den nicht-wendenden Verfahren leicht verfälscht. Dies ist momentan

limitierend für die exakte Detektion per Bilderkennung. Der Trend war indes trotzdem richtig, da die visuelle und digitale Windenerfassung nahe beieinander liegt und die Luzerne bei der visuellen Abschätzung nicht berücksichtigt wurde.



**Abbildung 5: Räumliche Verteilung der Beikräuter über die Versuchsparzellen bei der Abreife des Dinkels (BBCH 89): a) Beikräuter als grüne Pixel ermittelt durch Drohnenaufnahmen, b) visuelle Abschätzung des Windenvorkommens im Feld nach einer Skala (0 – kein Vorkommen, 4 – starkes Auftreten).**

Tabelle 2). Die Daten der Drohnenbilder waren durch das Vorkommen von Luzernedurchwuchs vor allem in den nicht-wendenden Verfahren leicht verfälscht. Dies ist momentan limitierend für die exakte Detektion per Bilderkennung. Der Trend war indes trotzdem richtig, da die visuelle und digitale Windenerfassung nahe beieinander liegt und die Luzerne bei der visuellen Abschätzung nicht berücksichtigt wurde.



**Abbildung 5: Räumliche Verteilung der Beikräuter über die Versuchsparzellen bei der Abreife des Dinkels (BBCH 89): a) Beikräuter als grüne Pixel ermittelt durch Drohnenaufnahmen, b) visuelle Abschätzung des Windenvorkommens im Feld nach einer Skala (0 – kein Vorkommen, 4 – starkes Auftreten).**



**Tabelle 2: Mittelwert (Standardabweichung) des Windenbesatzes an Hand einer visuellen Abschätzung (0 – kein Vorkommen bis 4 – starkes Auftreten) und des Anteils grüner Pixel am Gesamtbild extrahiert aus Drohnenbildern zum Zeitpunkt der Abreife des Dinkels (BBCH 89). INVd – Pflug 28 cm, INVs – Pflug 18 cm, NONd – Grubber 10 cm/30 cm, NONs – Grubber 10 cm.**

Verfahren	Visuelle Abschätzung (Skala 0-4)	Anteil grüner Pixel (%)
INVs	0.94 (0.49)	4.17 (0.74)
INVd	0.80 (0.25)	4.76 (0.97)
NONs	1.32 (0.28)	7.38 (3.60)
NONd	1.32 (0.83)	8.91 (4.95)
<b>Kruskal-Wallis Test [n=3, Chi Square (p-value)]</b>		
<b>Bodenbearbeitungstyp</b>	2.08 (p = 0.150)	3.10 (p = 0.078)
<b>Bearbeitungstiefe</b>	0.23 (p = 0.631)	0.92 (p = 0.337)

## 4.2 Stickstoffversorgung, Ertrag

Die N-Mineralisierung im Boden zu Beginn der Saison zeigte einen schwachen und nicht signifikanten Trend hin zu einer höheren Mineralisierung in den nicht-wendenden (NON) und flach bearbeiteten Böden (

Tabelle 3). Dies führte vermutlich zu einem besseren Wachstum des Dinkels (höherer Deckungsgrad, siehe

**Tabelle 3: Mittelwert der Nmin Gehalte [kg gemessen am 08.02. Buchstaben zeigen s (ANOVA, F-Test, p cm, INVs – Pflug 18 cm/30 cm, NONs – G**

Verfahren	Nmin [kg N/ha] in 0-60 cm
INVs	45.4 (4.9) a
INVd	37.0 (3.2) a
NONs	49.9 (13.1) a
NONd	44.4 (8.0) a

Verfahren	Nmin [
INVs	
INVd	
NONs	
NONd	

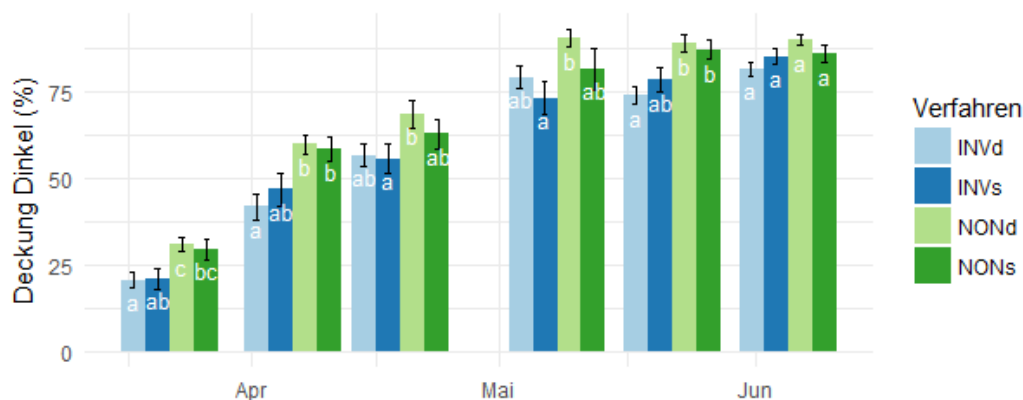
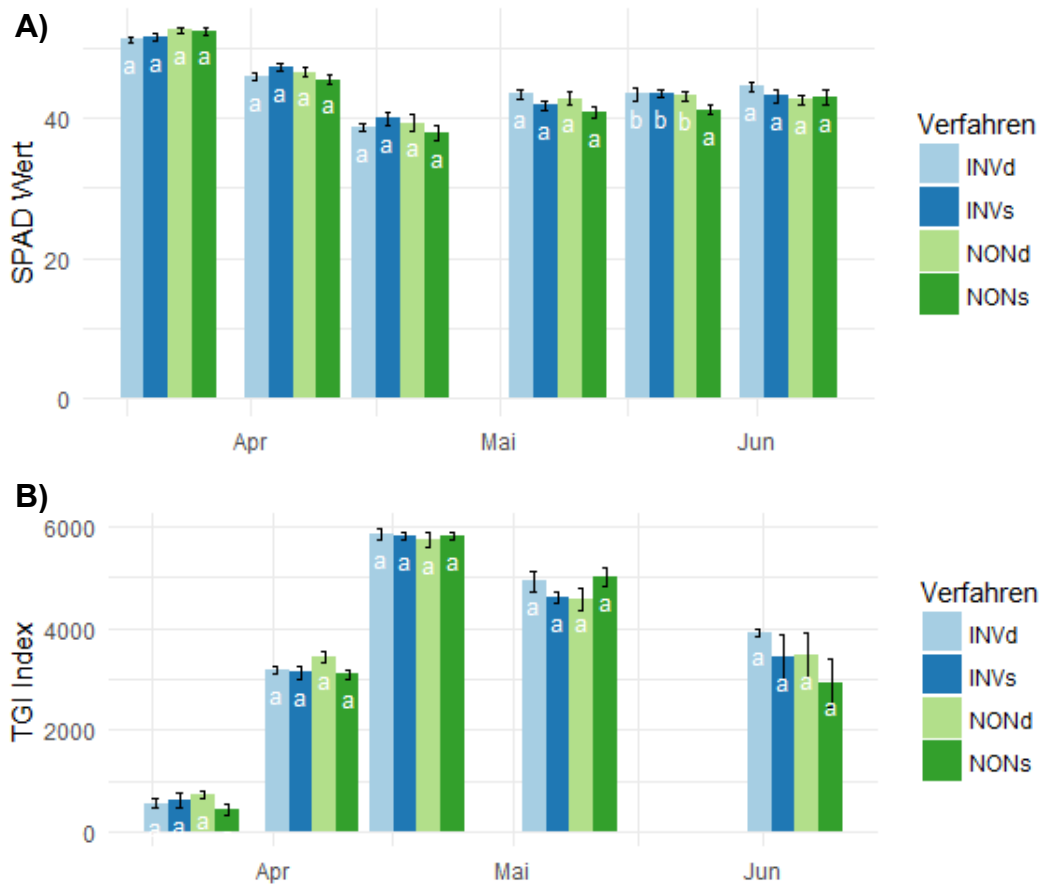


Abbildung 3; höhere Biomasse bei der Blüte, siehe Tabelle 1). Der Chlorophyllgehalt (SPAD) in den Dinkelblättern, ein stark mit dem N-Gehalt korrelierender Parameter, spiegelte diesen Trend mit einer leicht besser N-versorgten Kultur in den NON-Verfahren im März ebenfalls wieder. Der Vorsprung einer verbesserten Nährstoffversorgung verlor sich aber sehr schnell (Abbildung 6, A)).

**Tabelle 4: Mittelwert (Standardabweichung) der Dinkelbiomasse [t TS/ha] zur Ende der Blüte (BBCH 69) und kurz vor der Ernte (BBCH 89), sowie des Kornertrages [t TS/ha] und des N-Entzuges des Gesamtbiomasse [kg N/ha]. Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede (ANOVA, F-Test,  $p < 0.05$ ). INVd – Pflug 28 cm, INVs – Pflug 18 cm, NONd – Grubber 10 cm/30 cm, NONs – Grubber 10 cm.**

Verfahren	Gesamtbiomasse [t TS/ha]	Gesamtbiomasse [t TS/ha]	Kornertrag [t TS/ha]	N-Entzug [kg N/ha]
BBCH	69, Ende Blüte	89, Ernte	89, Ernte	89, Ernte
<b>INVs</b>	9.27 (2.10) a	12.92 (2.39) a	3.79 (0.91) a	127.5 (26.2) a
<b>INVd</b>	9.06 (2.42) a	13.30 (1.44) a	4.21 (0.58) a	132.9 (18.6) a
<b>NONs</b>	10.04 (2.05) a	13.30 (3.59) a	3.72 (1.15) a	130.0 (38.0) a
<b>NONd</b>	9.96 (2.55) a	14.26 (2.51) a	3.63 (0.66) a	140.3 (18.4) a

Durch die Saison hinweg war das flach und nicht-wendende Verfahren (NONs) tendenziell das Verfahren mit der geringsten N-Versorgung (signifikanter SPAD Wert beim Ährenschieben, BBCH 49). Mit dem TGI Index konnten die feinen Unterschiede in der Nährstoffversorgung nicht abgebildet werden (Abbildung 6 B)). Zum Erntezeitpunkt konnten keine signifikanten Verfahrensunterschiede im Biomasse- und Kornertrag, sowie im N-Entzug festgestellt werden (Tabelle 4). In der Tendenz führte das tiefe Pflügen zum höchsten Kornertrag und das tiefe nicht-wendende Lockern zum höchsten Strohertrag und dadurch N-Entzug. Die Streuung war jedoch zu gross für einen statistisch abgesicherten Unterschied.



**Abbildung 6: Mittelwerte (Standardfehler als Fehlerbalken) der A) SPAD Werte (Chlorophyllgehalt) und B) TGI Index gemessen an Dinkelblättern zu den BBCH Stadien 29, 33, 37, 49 (nur SPAD) und 69. Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede (ANOVA, F-Test,  $p < 0.05$ ). INVd – Pflug 28 cm, INVs – Pflug 18 cm, NONd – Grubber 10 cm/30 cm, NONs – Grubber 10 cm.**

### 4.3 Methodenvergleich

Der Gesamtdeckungsgrad konnte aus den Drohnenbildern durch den Anteil grüner Pixel nur zu Beginn der Saison (BBCH 29-33) vor Bodenschluss erfolgreich ermittelt werden (Daten nicht gezeigt). Der grüne Pixelanteil korrelierte hierbei gut mit dem visuell abgeschätzten Gesamtdeckungsgrad ( $R^2 = 0.68$ ,  $p < 0.05$ ). Nachdem der Dinkel den Boden vollständig abdeckte, war dies nicht mehr möglich. Beikräuter konnten dagegen nur unzureichend durch den Abzug der Anzahl grüner Pixel aus den gejäteten Subparzellen von den normalen Subparzellen berechnet werden (Daten nicht gezeigt). Die Subplots waren mit 1 x 1 m möglicherweise zu klein. Auch ergaben sich Schwierigkeiten beim Jäten, da Grasunkräuter am Anfang schlecht vom Dinkel zu unterscheiden waren. Die Abschätzung von Beikräutern aus der Luft gelang daher nur bei der Abreife des Dinkels, da die Farbunterschiede (Dinkel = gelb; Beikräuter = grün) zu dem Zeitpunkt eindeutig waren. Hier ergab sich hinsichtlich der Windenbonitur jedoch wie oben beschrieben die Schwierigkeiten mit dem Luzernedurchwuchs, der bei der Bildbearbeitung nicht von den Winden zu trennen war.

Hinsichtlich der Abschätzung des N-Versorgungsgrades wurde eine gute Korrelation der SPAD Werte mit dem TGI über die ganze Saison hinweg gefunden ( $R^2 = 0.79$ ,  $p < 0.05$ ). Dies bestätigt Beobachtungen aus der Literatur (Constantin *et al.*, 2015). Das Düngefenster ergab hingegen keine gute Korrelation, weder zwischen SPAD und TGI, noch zwischen dem N-Gehalt in der Dinkelbiomasse und dem TGI (Daten nicht gezeigt). Der Düngebereich war mit vier Niveaus zwischen 0 und 60 m<sup>3</sup> Gülle zwar ausreichend hoch. Der Dinkel zeigte jedoch nur bis 30 m<sup>3</sup> Gülle eine leichte Zunahme in Biomasse und N-Gehalt und keinen Unterschied in den SPAD Werten (Daten nicht gezeigt). Dies ist möglicherweise auf die ausreichende Versorgung durch die einheitliche Güllegabe im Herbst und der Nachlieferung aus dem Boden, sowie den geringen Ansprüchen des Dinkels zurückzuführen. Zudem erschwerten Gewitterstürme, die zu Lagerstellen im Dinkel führten, eine qualitativ hochwertige Bildaufnahme nach der Blüte.

## 5. Schlussfolgerungen / Empfehlungen

In den Anfangsstadien war die Verunkrautung und die Nährstoffversorgung in den nicht-wendenden Verfahren besser. Dieser Vorsprung konnte jedoch nicht in einem erhöhten Ertrag umgesetzt werden. Im Gegenteil, die Unterdrückung von Problemunkräutern wie Winden war zum Ende der Saison hin in diesem einjährigen Versuch bei gleichem Ertrag in den gepflügten Verfahren besser. Dabei war die Pflugtiefe nicht entscheidend. Die tiefe Lockerung im nicht-wendenden Verfahren hatte keinen Einfluss auf die gemessenen Parameter im Vergleich zum flachen nicht-wendenden Verfahren. Die Vorteile einer Bodenlockerung zeigen sich möglicherweise in den Folgejahren.

Der strategische Pflugeinsatz kann daher in Feldern, die sonst nicht-wendend bearbeitet werden zur Regulierung von Winden eingesetzt werden. Eine kontinuierliche nichtwendende und flache Bearbeitung ist aus Sicht der Pflanzenernährung und der Beikrautentwicklung auf diesem Schlag weniger empfehlenswert. Die längerfristige Entwicklung hinsichtlich der Beikräuter bleibt abzuwarten.

Der Einsatz von Drohnen zur Bonitur von Beikräutern ist nach Erfahrungen dieser Studie im Getreide zu bestimmten Zeitpunkten möglich. Für die Anwendung in der Praxis ist die Abschätzung der Bestandesdichte vor Bodenschluss im Vergleich zweier nebeneinanderliegenden Verfahren machbar. Zudem können Nester von Problemunkräutern wie Disteln oder Winden, die zum Zeitpunkt der Abreife des Getreides noch grün sind, gut erfasst werden. Diese Daten können, wenn sie georeferenziert werden, zur Langzeitbeobachtung dienen. Für die Bonitur des Ernährungsstatus sind die Drohnenbilder unter gewissen Voraussetzungen gut einsetzbar. Diese sind die erfolgreiche Anlage eines Düngefensters mit mindestens drei Stufen, das am besten zwischen Ährenschieben und Blüte sowohl im Feld (N-Analyse in der Biomasse oder SPAD) als auch aus der Luft parallel analysiert wird. Zudem eignet sich Weizen durch die stärkere N-Aufnahme vermutlich besser, um Massnahmen zur Nährstoffversorgung und Unkrautregulierung zu testen.

## 6. Literatur

- Armengot, L., Berner, A., Blanco-Moreno, J., Mäder, P., Sans, F.X., 2015. Long-term feasibility of reduced tillage in organic farming. *Agron. Sustain. Dev.* 35, 339-346.
- Constantin, D., Rehak, M., Akhtman, Y., Liebisch, F., 2015. Bestimmung von Kulturpflanzeigenschaften mittels hyperspektraler Fernerkundung von einem Mikro-UAV. In: Zude-Sasse, M., Kraft, M. (Eds.), 21. Workshop Computer-Bildanalyse in der Landwirtschaft. Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V. (ATB).
- Mäder, P., Berner, A., 2012. Development of reduced tillage systems in organic farming in Europe. *Renew. Agr. Food Syst.* 27, 7-11.
- Sans, F.X., Berner, A., Armengot, L., Mäder, P., 2011. Tillage effects on weed communities in an organic winter wheat-sunflower-spelt cropping sequence. *Weed Res.* 51, 413-421.

## 7. Danksagung

Wir danken dem Coop Fonds für Nachhaltigkeit und der Stiftung Sur la Croix für die finanzielle Unterstützung des Projektes. Ein grosser Dank geht an Frank Liebisch (ETH), der die Masterarbeit von Christoph Hofstetter betreut hat. Des Weiteren danken wir Julia Riedelsheimer, Silvia Bianchi, Bernhard Stehle und Jacqueline Landowski für die Mithilfe im Feld und Anton Kuhn und Adolphe Munyangabe im Labor. Darüber hinaus danken wir Hansueli Zellweger (ETH) für das Dreschen der Dinkelähren und der Getreidezüchtung Peter Kunz für das Entspelzen.



## 8. Anhang

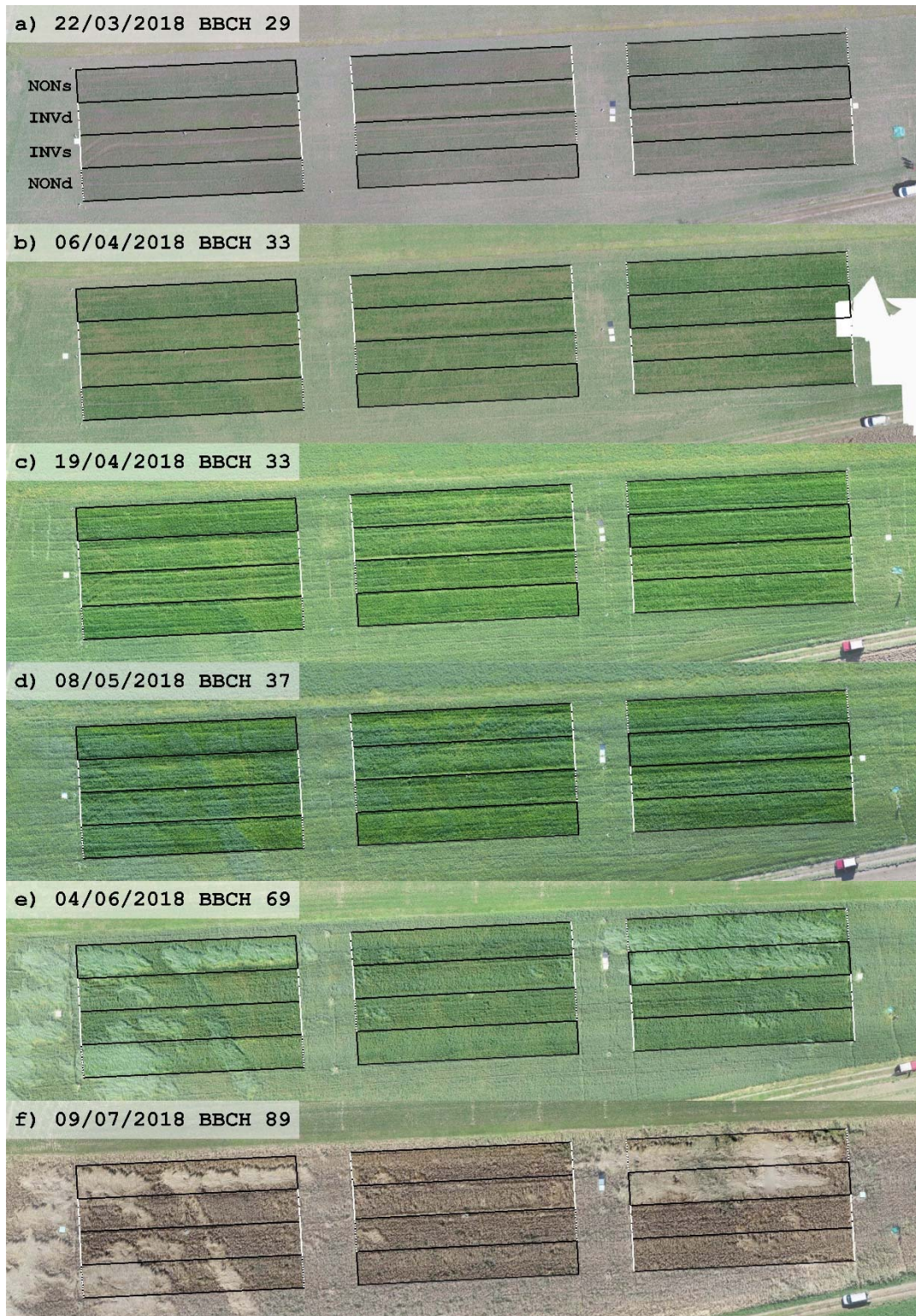


Abbildung 7: Orthofotos zu den BBCH Stadien 29, 33, 37, 69 und 89.