

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Schlussbericht zum Thema

“Sensorgestützte herbizidfreie Unkrautregulierung in pfluglos angebauten Erbsen und Ackerbohnen“

FKZ: 2815EPS006; 2815EPS068; 2815EPS069

Projektnehmer:

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie

Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden (FH)

Hochschule Osnabrück

Gefördert durch das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft auf Grund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages im Rahmen der BMEL Eiweißpflanzenstrategie.

Angaben zum Schlussbericht	
Sensorgestützte herbizidfreie Unkrautregulierung in pfluglos angebauten Erbsen und Ackerbohnen	
Weed control approach by a sensor based without chemicals method in pea and field bean	
FKZ 2815EPS006; FKZ 2815EPS068; FKZ 2815EPS069	
30.01.2022	
Herbizidfrei, Direktsaat, Mulchsaat, Leguminosen, Zwischenfrucht, Sensor	
Dr. Robert Hommel; Ulf Jäckel; Prof. Dieter Trautz; Tim Zurheide; Prof. Knut Schmidtke	
Auftragnehmer/Zuwendungs-/Zuweisungsempfänger	
1. Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie	
Abteilung Landwirtschaft	Dr. Uwe Bergfeld
Waldheimer Straße 219	01683 Nossen
Telefon 035242-6317000	Fax 035242-6317099
Uwe.Bergfeld@smekul.sachsen.de	Internetadresse: lfulg.sachsen.de
2. Hochschule Osnabrück	
Fakultät Agrarwissenschaften und Landschaftsarchitektur - Umweltschonende Landbewirtschaftung	Prof. Dr. Dieter Trautz
Am Krümpel 31	49090 Osnabrück
Telefon 0541-9695058	Fax 0541-9692066
d.trautz@hs-osnabrueck.de	Internetadresse: hs-osnabrück.de
3. Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden	
Fakultät Landbau/Umwelt/Chemie - Ökologischer Landbau	Prof. Dr. Knut Schmidtke
Pillnitzer Platz 2	01326 Dresden
Telefon 0351-4623017	Fax
knut.schmidtke@htw-dresden.de	Internetadresse:htw-dresden.de
Ansprechpartner/Projektleiter	
Ulf Jäckel	
Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie	Referat 79 Ökolandbau
Waldheimer Straße 219	01683 Nossen
Telefon 035242-6318900	Fax 025242-6317099
Ulf.Jaeckel@smekul.sachsen.de	Internetadresse: lfulg.sachsen.de

Hinweis:

Bitte senden Sie dieses Formblatt vollständig ausgefüllt zusammen mit dem von Ihnen erstellten EPS-Schlussbericht per E-Mail an den/die für Ihr Projekt zuständige/n Sachbearbeiter/in in der Geschäftsstelle Eiweißpflanzenstrategie.

.....

Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) – Referat 312 Geschäftsstelle
Eiweißpflanzenstrategie

Postanschrift: 53168 Bonn

Tel.: +49 228 99 6845-2945

Fax: +49 228 6845-2907

E-Mail: eps@ble.de Internet:

Stand: März 2011

Sensorgestützte herbizidfreie Unkrautregulierung in pfluglos angebauten Futtererbsen und Ackerbohnen

Dr. Robert Hommel; Ulf Jäckel; Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG); Prof. Dieter Trautz;
Tim Zurheide; Hochschule Osnabrück (HO); Prof. Knut Schmidtke Hochschule für Technik und Wirtschaft (HTW)

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Ernährung
und Landwirtschaft

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	24
1.1	Gegenstand des Vorhabens	25
1.2	Ziele und Aufgabenstellung des Projekts	26
2	Wissenschaftlicher und technischer Stand	26
3	Material und Methoden	28
3.1	LfULG	28
3.2	HO	36
3.3	HTW	39
4	Ergebnisse	44
4.1	LfULG	44
4.1.1	2018	44
4.1.2	2019	57
4.1.3	2020	70
4.1.4	2021	84
4.2	HO	86
4.2.1	2018	86
4.2.2	2019	91
4.2.3	2020	96
4.2.4	2021	98
4.3	HTW	99
4.3.1	2018-2021	99
4.3.2	Schlußfolgerung	152
5	Diskussion	156
5.1	Wie kann der Zwischenfruchtanbau erfolgreicher etabliert werden	156
5.2	Wie gut funktioniert eine Unkrautregulierung in "Echtzeit" durch Sensorik	157
5.3	Biologie und Technik im Verbund	158
6	Verwertbarkeit der Ergebnisse	158
7	Weiterführende Fragestellungen	159
8	Zusammenfassung	159
9	Veröffentlichungen	160
	Literaturverzeichnis	163
A 1	Anhang	166

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Untersuchungsstandorte A1 – A3 in der Region Mittelsachsen, Deutschland.....	28
Abbildung 2: Versuchsplan vom Standort Rulle in 2019 mit beigefügten Versuchsvarianten.....	37
Abbildung 3: Darstellung eines Schnellaushubmechanismus	38
Abbildung 4: Darstellung eines doppelten Hackrahmens inkl. Drehpunkt.....	39
Abbildung 5: Nmin [kg N/ha] in unterschiedlichen Bodentiefen zu je 4 Zeitpunkten am Standort Starbach-Ackerbohne	44
Abbildung 6: Nmin [kg N/ha] in unterschiedlichen Bodentiefen zu je 4 Zeitpunkten am Standort Starbach-Futtererbse.....	45
Abbildung 7: Nmin [kg N/ha] in unterschiedlichen Bodentiefen zu je 4 Zeitpunkten am Standort Kleinwaltersdorf-Ackerbohne in Direktsaat.....	46
Abbildung 8: Nmin [kg N/ha] in unterschiedlichen Bodentiefen zu je 4 Zeitpunkten am Standort Kleinwaltersdorf-Ackerbohne in Mulchsaat.....	47
Abbildung 9: Nmin [kg N/ha] in unterschiedlichen Bodentiefen zu je 4 Zeitpunkten am Standort Naundorf-Ackerbohne (A3) in Mulchsaat; * witterungsbedingt wurde zum 4ten Termin nur der Oberboden beprobt ** das chemische Vergleichsglied entfällt auf dem ökologisch bewirtschafteten Standort.....	48
Abbildung 10: Nmin [kg N/ha] in unterschiedlichen Bodentiefen zu je 4 Zeitpunkten am Standort Naundorf-Ackerbohne (A3) in Mulchsaat; * witterungsbedingt wurde zum 4ten Termin nur der Oberboden beprobt ** das chemische Vergleichsglied entfällt auf dem ökologisch bewirtschafteten Standort.....	48
Abbildung 11: pH-Wert in 0-30 cm Bodentiefen an den Standorten 2018 sowie das C:N-Verhältnis in 0-30 cm Bodentiefen an den Standorten. A und D ohne Zwischenfrucht; B und E mit Zwischenfrucht Ramtillkraut/ Rispenhirse; C und F mit Zwischenfrucht Rauhafer/Sommerroggen.....	49
Abbildung 12: C:N-Verhältnis im Aufwuchs, differenziert nach Zwischenfrucht, Unkraut und Mulch an den Standorten. A und D ohne Zwischenfrucht; B und E mit Zwischenfrucht Ramtillkraut/ Rispenhirse; C und F mit Zwischenfrucht Sommerroggen/Rauhafer.....	50
Abbildung 13: Zusammenhang zwischen dem Korntrag [t/ha] und (A) Unkrautbiomasse bei der manuellen Ernte 2018 und (B) Unkrautdeckungsgrad [%]. Die angegebenen Daten sind Mittelwerte (n=4) für Arten (Ackerbohne und Futtererbse) in der Unkrautregulierung mit ZF und ohne ZF. Gelbe Symbole kennzeichnen die Kontrolle (gelber Kreis: ohne ZF, gelbes Quadrat: mit ZF). Grüne Symbole kennzeichnen die mechanische Unkrautbekämpfung (grüner Kreis: ohne ZF, grünes Quadrat: mit ZF). Rote Symbole kennzeichnen den Herbizideinsatz (roter Kreis: ohne ZF, rotes Quadrat: mit ZF). In (B) wurde eine exponentielle Zerfallsfunktion an die Daten angepasst ($R^2=0.7$, $P=0.001$, graue Linie, $f(x)=4.3023 \cdot \exp(-0.0488 \cdot x)$)	54
Abbildung 14: Beziehung zwischen (A) Oberboden Nmin-Veränderung im Zeitraum von 08/2017 auf 04/2018 und der atro Unkrautbiomasse zum 11/2017 und (B) Oberboden-Nmin zum 08/2017 und der atro Unkrautbiomasse zum 08/2018. Gelbe Symbole kennzeichnen die Kontrolle (gelber Kreis: ohne ZF, gelbes Quadrat: mit ZF). Grüne Symbole kennzeichnen die mechanische Unkrautbekämpfung (grüner Kreis: ohne ZF, grünes Quadrat: mit ZF). Rote Symbole kennzeichnen den Herbizideinsatz (roter Kreis: ohne ZF, rotes Quadrat: mit ZF). In (A) wurde eine einzige exponentielle Wachstumsfunktion an die Daten angepasst (graue Linien).	55
Abbildung 15: Nmin [kg N/ha] in unterschiedlichen Bodentiefen zu je 3 Zeitpunkten am Standort Starbach-Ackerbohne	58
Abbildung 16: Nmin [kg N/ha] in unterschiedlichen Bodentiefen zu je 3 Zeitpunkten am Standort Starbach-Futtererbse.....	59

Abbildung 17: Nmin [kg N/ha] in unterschiedlichen Bodentiefen zu je 3 Zeitpunkten am Standort Kleinwaltersdorf-Ackerbohne in Direktsaat.....	60
Abbildung 18: Nmin [kg N/ha] in unterschiedlichen Bodentiefen zu je 3 Zeitpunkten am Standort Kleinwaltersdorf-Ackerbohne in Mulchsaat.....	61
Abbildung 19: Nmin [kg N/ha] in unterschiedlichen Bodentiefen zu je 3 Zeitpunkten am Standort Naundorf-Ackerbohne in Direktsaat	62
Abbildung 20: Nmin [kg N/ha] in unterschiedlichen Bodentiefen zu je 3 Zeitpunkten am Standort Naundorf-Ackerbohne in Mulchsaat	62
Abbildung 21: pH-Wert in 0-30 cm Bodentiefen an den Standorten 2018 sowie das C:N-Verhältnis in 0-30 cm Bodentiefen an den Standorten. A und D ohne Zwischenfrucht; B und E mit Zwischenfrucht Ramtillkraut/ Rispenhirse; C und F mit Zwischenfrucht Sommerroggen/Rauhafer.....	63
Abbildung 22: C:N-Verhältnis im Aufwuchs, differenziert nach Zwischenfrucht, Unkraut und Mulch an den Standorten. A und D ohne Zwischenfrucht; B und E mit Zwischenfrucht Ramtillkraut/ Rispenhirse; C und F mit Zwischenfrucht Sommerroggen/Rauhafer.....	64
Abbildung 23: Zusammenhang zwischen dem Kornertrag [t/ha atro] und (A) Unkrautbiomasse bei der manuellen Ernte 2019 bzw. (B) Unkrautdeckungsgrad [%]. Die angegebenen Daten sind Mittelwerte (n=4) für Arten (Ackerbohne und Futtererbse) in der Unkrautregulierung mit ZF und ohne ZF. Gelbe Symbole kennzeichnen die Kontrolle (gelber Kreis: ohne ZF, gelbes Quadrat: mit ZF). Grüne Symbole kennzeichnen die mechanische Unkrautbekämpfung (grüner Kreis: ohne ZF, grünes Quadrat: mit ZF). Rote Symbole kennzeichnen den chemischen Unkrautbekämpfungsansatz (roter Kreis: ohne ZF, rotes Quadrat: mit ZF). In (A) wurde eine lineare Polynomfunktion an die Daten angepasst ($R^2=0.6$, $P=0.001$, graue Linie, $f(x)=2.772-0.6167*x$), in (B) eine exponentielle Zerfallsfunktion ($R^2=0.6$, $P=0.001$, graue Linie, $f(x)=-16.6589+19.4524*exp(-0.0336*x)$).....	67
Abbildung 24: Beziehung zwischen der (A) Nmin-Veränderung im Oberboden im Zeitraum von 07/2018 auf 03/2019 und der atro Unkrautbiomasseerhebung zum 11/2017 und (B) Oberboden-Nmin-Gehalt zum 08/2019 und der atro Unkrautbiomasse zum 08/2019. Gelbe Symbole kennzeichnen die Kontrolle (gelber Kreis: ohne ZF, gelbes Quadrat: mit ZF). Grüne Symbole kennzeichnen die mechanische Unkrautbekämpfung (grüner Kreis: ohne ZF, grünes Quadrat: mit ZF). Rote Symbole kennzeichnen den chemischen Unkrautbekämpfungsansatz (roter Kreis: ohne ZF, rotes Quadrat: mit ZF).	68
Abbildung 25: A) Verhältnis zwischen sensorisch und manuell erfassten Deckungsgraden [%] in unterschiedlichen BBCH-Stadien der Kulturpflanze Ackerbohne sowie B) Verhältnis zwischen sensorisch und manuell erfassten Deckungsgraden in unterschiedlichen BBCH-Stadien der Kulturpflanze Futtererbse.	69
Abbildung 26: A) Verhältnis zwischen sensorisch erfassten Deckungsgrad [%] und TM-Kornertrag [t/ha] in Abhängigkeit von Rollstriegeleinsatz und Zwischenfruchtanbau für Ackerbohne sowie B) für Futtererbse.	69
Abbildung 27: Nmin [kg N/ha] in unterschiedlichen Bodentiefen zu je 3 Zeitpunkten am Standort Siebenlehn-Ackerbohne	70
Abbildung 28: Nmin [kg N/ha] in unterschiedlichen Bodentiefen zu je 2 Zeitpunkten am Standort Siebenlehn-Futtererbse	71
Abbildung 29: Nmin [kg N/ha] in unterschiedlichen Bodentiefen zu je 3 Zeitpunkten am Standort Kleinwaltersdorf-Ackerbohne in Direktsaat.....	72
Abbildung 30: Nmin [kg N/ha] in unterschiedlichen Bodentiefen zu je 3 Zeitpunkten am Standort Kleinwaltersdorf-Ackerbohne in Mulchsaat.....	73

Abbildung 31: pH-Wert in 0-30 cm Bodentiefen an den Standorten 2020 sowie das C:N-Verhältnis in 0-30 cm Bodentiefen an den 3-Praxisstandorten. A und D ohne Zwischenfrucht; B und E mit Zwischenfrucht Ramtillkraut/ Rispenhirse; C und F mit Zwischenfrucht Rauhafer/Sommerroggen.....	74
Abbildung 32: C:N-Verhältnis im Aufwuchs, differenziert nach Zwischenfrucht, Unkraut und Mulch an den Standorten. A und D ohne Zwischenfrucht; B und E mit Zwischenfrucht Ramtillkraut/ Rispenhirse; C und F mit Zwischenfrucht Sommerroggen/Rauhafer.....	75
Abbildung 33: Zusammenhang zwischen dem Kornertrag [t/ha atro] und (A) Unkrautbiomasse bei der manuellen Ernte 2020 bzw. (B) Unkrautdeckungsgrad [%]. Die angegebenen Daten sind Mittelwerte (n=4) für Arten (Ackerbohne und Futtererbse) in der Unkrautregulierung mit ZF und ohne ZF. Gelbe Symbole kennzeichnen die Kontrolle (gelber Kreis: ohne ZF, gelbes Quadrat: mit ZF). Grüne Symbole kennzeichnen die mechanische Unkrautbekämpfung (grüner Kreis: ohne ZF, grünes Quadrat: mit ZF). Rote Symbole kennzeichnen den chemischen Unkrautbekämpfungsansatz (roter Kreis: ohne ZF, rotes Quadrat: mit ZF). In (A) wurde eine lineare Polynomfunktion an die Daten angepasst ($R^2=0.75$, $P=0.001$, graue Linie, $f(x)=4.649-0.9906*x$), in (B) eine exponentielle Zerfallsfunktion ($R^2=0.8$, $P=0.001$, graue Linie, $f(x)=4.1542*exp(-0.0178*x)$).....	78
Abbildung 34: A) zeitlicher Verlauf der Verunkrautung (sensorisch) am Standort K2 und B) Verhältnis zwischen TM-Kornertrag (Mittelwert aus n=500) und Unkrautdeckungsgrad (Mittelwert aus n=3500), für teilflächenspezifische (hellgrüner Kreis) und flächige Unkrautregulierung (hellgrünes Quadrat) in Futtererbse	84
Abbildung 35: A) zeitlicher Verlauf der Verunkrautung (sensorisch) am Standort Nossen und B) Verhältnis zwischen TM-Kornertrag (Mittelwert aus n=4) und Unkrautdeckungsgrad (Mittelwert aus n=1000), für teilflächenspezifische Unkrautregulierung (hellgrüner Kreis), flächige Unkrautregulierung normaler Zinkendruck (hellgrünes Quadrat) und für teilflächenspezifische Unkrautregulierung (dunkelgrüner Kreis), flächige Unkrautregulierung starker Zinkendruck (dunkelgrünes Quadrat) und für teilflächenspezifische Unkrautregulierung (blauer Kreis), flächige Unkrautregulierung dynamischer Zinkendruck (blaues Quadrat) in Ackerbohne	85
Abbildung 36: Mittelwerte der Unkrautdeckungsgrade bei zwei Messterminen (08.05 und 17.05 2018) in Ackerbohne und Erbse	87
Abbildung 37: Mittelwerte der Unkrautdeckungsgrade bei vier Messterminen in Ackerbohne und Erbse verglichen mit Handbonitur.....	87
Abbildung 38: Mittelwerte der Unkrautdeckungsgrade bei vier Messterminen bezogen auf drei unterschiedliche Vorfrüchte (Messdurchführung mittels Sensor).....	88
Abbildung 39: Mittelwerte der Unkrautdeckungsgrade bei vier Messterminen bezogen auf drei unterschiedliche Zwischenfrüchte inkl. Aufspaltung in mono- und dikotyle Beikräuter.....	89
Abbildung 40: Mittelwerte der Unkrautdeckungsgrade bei zwei Messterminen bezogen auf drei unterschiedliche Beikrautregulierungsvarianten (Messdurchführung mittels Sensor).....	89
Abbildung 41: Mittelwerte der Unkrautdeckungsgrade bei zwei Messterminen bezogen auf drei unterschiedliche Beikrautregulierungsvarianten (Messdurchführung mittels Handbonitur).....	90
Abbildung 42: Mittelwerte der Unkrautdeckungsgrade bei vier Messterminen bezogen auf drei unterschiedliche Unkrautregulierungsvarianten inkl. Aufspaltung in mono- und dikotyle Beikräuter.....	90
Abbildung 43: Ermittlung von Unkrautdeckungsgraden [%] der Parzelle von monokotylen und dikotylen Unkräutern (Beispiel vom 13.05.2019)	91
Abbildung 44: Verlauf des Unkrautdeckungsgrades bei der Variante 0,25 % Schwellenwert.....	92
Abbildung 45: Verlauf des Unkrautdeckungsgrades bei der Variante 0,5 % Schwellenwert.....	92
Abbildung 46: Verlauf des Unkrautdeckungsgrades bei der Variante 1,0 % Schwellenwert.....	93

Abbildung 47: Verlauf des Unkrautdeckungsgrades bei der Variante 1,5 % Schwellenwert.....	93
Abbildung 48: Mittelwerte der Anzahl Hülsen pro Pflanze zum Zeitpunkt der Ernte.....	94
Abbildung 49: Prozentuale Pflanzenverluste im Laufe der Vegetation	95
Abbildung 50: Abhängigkeit zwischen Pflanzenverlusten und Ertrag	96
Abbildung 51: Messung mit H-Sensor in der Fronthydraulik des Schleppers (l.), Rollstriegelsegment mit automatischem, hydraulischem Aushub (r.).....	97
Abbildung 52: A) zeitlicher Verlauf der Verunkrautung (sensorisch) am Standort Osnabrück und B) Verhältnis zwischen TM-Kornertrag (Mittelwert aus n=4) und Unkrautdeckungsgrad (Mittelwert aus n=100), für flächige Unkrautregulierung normaler Zinkendruck (hellgrünes Quadrat), flächige Unkrautregulierung starker Zinkendruck (dunkelgrünes Quadrat), flächige Unkrautregulierung dynamischer Zinkendruck (blaues Quadrat) und für flächige Unkrautregulierung schwacher Zinkendruck (rotes Quadrat) in Ackerbohne.....	98
Abbildung 53: Verhältnis zwischen TM-Kornertrag (Mittelwert aus n=4) und Anzahl der Kulturpflanzen, für flächige Unkrautregulierung normaler Zinkendruck (hellgrünes Quadrat), flächige Unkrautregulierung starker Zinkendruck (dunkelgrünes Quadrat), flächige Unkrautregulierung dynamischer Zinkendruck (blaues Quadrat) und für flächige Unkrautregulierung schwacher Zinkendruck (rotes Quadrat) in Ackerbohne.....	99
Abbildung 54: Einfluss der Zwischenbegrünung auf den Sprossertrag an Unkräutern und Zwischenfrüchten am 31.10.2017 an den Standorten Ogrosen und Calau; RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache....	100
Abbildung 55: Einfluss der Zwischenbegrünung auf den Sprossertrag an Unkräutern und Zwischenfrüchten am 15.11.2018 an den Standorten Ogrosen und Calau; RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache....	101
Abbildung 56: Einfluss der Zwischenbegrünung auf den Sprossertrag an Unkräutern und Zwischenfrüchten am 05.11.2019 an den Standorten Ogrosen und Calau; RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache....	101
Abbildung 57: Einfluss der Zwischenbegrünung auf den Sprossertrag an Unkräutern und Zwischenfrüchten am 13.11.2020 an den Standorten Ogrosen und Calau; RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache....	102
Abbildung 58: Einfluss der Zwischenbegrünung auf den N-Menge im Spross am 31.10.2017 an den Standorten Ogrosen und Calau; RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HS = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache	106
Abbildung 59: Einfluss der Zwischenbegrünung auf den N-Menge im Spross am 15.11.2018 an den Standorten Ogrosen und Calau; RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HS = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache	107
Abbildung 60: Einfluss der Zwischenbegrünung auf den N-Menge im Spross am 05.11.2019 an den Standorten Ogrosen und Calau; RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HS = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache	107
Abbildung 61: Einfluss der Zwischenbegrünung auf den N-Menge im Spross am 13.11.2020 an den Standorten Ogrosen und Calau; RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HS = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache	108
Abbildung 62: Einfluss der Zwischenbegrünung auf den Nmin-Vorrat im Boden am 02.11.2017 an den Standorten Ogrosen und Calau; RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HS = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache	109
Abbildung 63: Einfluss der Zwischenbegrünung auf den Nmin-Vorrat im Boden am 16.11.2018 an den Standorten Ogrosen und Calau; RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HS = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache	109

Abbildung 64: Einfluss der Zwischenbegrünung auf den Nmin-Vorrat im Boden am 07.11.2019 an den Standorten Ogrosen und Calau; RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HS = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache	110
Abbildung 65: Einfluss der Zwischenbegrünung auf den Nmin-Vorrat im Boden am 21.11.2020 an den Standorten Ogrosen und Calau; RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HS = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache	110
Abbildung 66: Einfluss der Zwischenbegrünung auf die Höhe der auf der Bodenoberfläche befindliche Mulchmasse 16.03.2018 an den Standorten Ogrosen und Calau; RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HS = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache....	111
Abbildung 67: Einfluss der Zwischenbegrünung auf die Höhe der auf der Bodenoberfläche befindliche Mulchmasse 19.03.2019 an den Standorten Ogrosen und Calau; RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HS = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache....	111
Abbildung 68: Einfluss der Zwischenbegrünung auf die Höhe der auf der Bodenoberfläche befindliche Mulchmasse 10.03.2020 an den Standorten Ogrosen und Calau; RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HS = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache....	112
Abbildung 69: Einfluss der Zwischenbegrünung auf die Höhe der auf der Bodenoberfläche befindliche Mulchmasse 16.03.2021 an den Standorten Ogrosen und Calau; RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HS = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache....	112
Abbildung 70: Regression des C/N-Verhältnisses der Zwischenfruchtsprossmasse zu Vegetationsende auf das C/N-Verhältnis der abgestorbenen restpflanzlichen Mulchmasse der Zwischenfrüchte zu Vegetationsbeginn im darauffolgenden Frühjahr	113
Abbildung 71: Einfluss der Zwischenbegrünung auf den Nmin-Vorrat im Boden am 29.03.2018 an den Standorten Ogrosen und Calau; RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache	115
Abbildung 72: Einfluss der Zwischenbegrünung auf den Nmin-Vorrat im Boden am 31.03.2019 an den Standorten Ogrosen und Calau; RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache	116
Abbildung 73: Einfluss der Zwischenbegrünung auf den Nmin-Vorrat im Boden am 11.03.2020 an den Standorten Ogrosen und Calau; RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache	116
Abbildung 74: Einfluss der Zwischenbegrünung auf den Nmin-Vorrat im Boden am 15.03.2021 an den Standorten Ogrosen und Calau; RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache	117
Abbildung 75: Einfluss der Zwischenfrucht und des Saatverfahrens auf den Feldaufgang der Erbse am Standort Ogrosen am 04. Mai 2018 (RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, D = Direktsaat, M = Mulchsaat), Mittel + Standardabweichung.....	118
Abbildung 76: Einfluss der Zwischenfrucht und des Saatverfahrens auf den Feldaufgang der Erbse am Standort Calau am 04. Mai 2018 (RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, D = Direktsaat, M = Mulchsaat), Mittel + Standardabweichung.....	118
Abbildung 77: Einfluss der Zwischenfrucht und des Saatverfahrens auf den Feldaufgang der Erbse am Standort Ogrosen am 03. Mai 2019 (RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, D = Direktsaat, M = Mulchsaat), Mittel + Standardabweichung.....	119
Abbildung 78: Einfluss der Zwischenfrucht und des Saatverfahrens auf den Feldaufgang der Erbse am Standort Calau am 03. Mai 2019 (RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR =	

Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, D = Direktsaat, M = Mulchsaat), Mittel + Standardabweichung.....	120
Abbildung 79: Einfluss der Zwischenfrucht und des Saatverfahrens auf den Feldaufgang der Erbse am Standort Ogrosen am 09. Juni 2021 (ZF= Zwischenfruchtbestände, RR = Ramtillktaut/Rispenhirse, HR: Rauhafer/Roggen, UB: Unkrautbrache D = Direktsaat, M = Mulchsaat), Mittel + Standardabweichung.....	120
Abbildung 80: Einfluss der Zwischenfrucht und des Saatverfahrens auf den Feldaufgang der Erbse am Standort Calau am 09. Juni 2021 (ZF= Zwischenfruchtbestände, RR = Ramtillktaut/Rispenhirse, HR: Rauhafer/Roggen, UB: Unkrautbrache, D = Direktsaat, M = Mulchsaat), Mittel + Standardabweichung.....	121
Abbildung 81: Einfluss der Zwischenfrucht und des Saatverfahrens auf die Anzahl aufgelaufene Unkräuter in Erbse am Standort Ogrosen am 10. Mai 2018 (RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, D = Direktsaat, M = Mulchsaat), Mittel + Standardabweichung.....	121
Abbildung 82: Einfluss der Zwischenfrucht und des Saatverfahrens auf die Anzahl aufgelaufene Unkräuter in Erbse am Standort Calau am 10. Mai 2018 (; RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, D = Direktsaat, M = Mulchsaat), Mittel + Standardabweichung.....	122
Abbildung 83: Einfluss der Zwischenfrucht und des Saatverfahrens auf die Anzahl aufgelaufene Unkräuter in Erbse am Standort Ogrosen am 03. Mai 2019 (RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, D = Direktsaat, M = Mulchsaat), Mittel + Standardabweichung.....	123
Abbildung 84: Einfluss der Zwischenfrucht und des Saatverfahrens auf die Anzahl aufgelaufene Unkräuter in Erbse am Standort Calau am 03. Mai 2019 (RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, D = Direktsaat, M = Mulchsaat), Mittel + Standardabweichung.....	123
Abbildung 85: Einfluss der Zwischenfrucht und des Saatverfahrens auf die Anzahl aufgelaufene Unkräuter in Erbse am Standort Ogrosen am 09. Juni 2021 (ZF= Zwischenfruchtbestände, RR = Ramtillktaut/Rispenhirse, HR: Rauhafer/Roggen, UB: Unkrautbrache D = Direktsaat, M = Mulchsaat), Mittel + Standardabweichung.....	124
Abbildung 86: Einfluss der Zwischenfrucht und des Saatverfahrens auf die Anzahl aufgelaufene Unkräuter in Erbse am Standort Calau am 09. Juni 2021 (ZF= Zwischenfruchtbestände, RR = Ramtillktaut/Rispenhirse, HR: Rauhafer/Roggen, UB: Unkrautbrache D = Direktsaat, M = Mulchsaat), Mittel + Standardabweichung.....	124
Abbildung 87: Einfluss der Zwischenfrucht, der Unkrautregulation und des Saatverfahrens auf den Sprosstrockenmasseertrag der Unkräuter in Erbse zum Zeitpunkt Ende Blüte am Standort Ogrosen am 01. Juni 2018 (RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, D = Direktsaat, M = Mulchsaat, ukf = unkrautfrei bis Bestandesschluss, mec = mechanische Unkrautregulation mit dem Rollstriegel, Kon = Kontrolle ohne Unkrautregulation), Mittel + Standardabweichung.....	125
Abbildung 88: Einfluss der Zwischenfrucht, der Unkrautregulation und des Saatverfahrens auf den Sprosstrockenmasseertrag der Unkräuter in Erbse zum Zeitpunkt Ende Blüte am Standort Calau am 01. Juni 2018 (RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, D = Direktsaat, M = Mulchsaat, ukf = unkrautfrei bis Bestandesschluss, mec = mechanische Unkrautregulation mit dem Rollstriegel, Kon = Kontrolle ohne Unkrautregulation), Mittel + Standardabweichung.....	126
Abbildung 89: Einfluss der Zwischenfrucht, der Unkrautregulation und des Saatverfahrens auf den Sprosstrockenmasseertrag der Unkräuter in Erbse zum Zeitpunkt Ende Blüte am Standort	

	Ogrosen am 30. Mai 2019 (RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, D = Direktsaat, M = Mulchsaat, ukf = unkrautfrei bis Bestandesschluss, mec = mechanische Unkrautregulation mit dem Rollstriegel, Kon = Kontrolle ohne Unkrautregulation), Mittel + Standardabweichung	126
Abbildung 90:	Einfluss der Zwischenfrucht, der Unkrautregulation und des Saatverfahrens auf den Sprossertrag der Unkräuter in Erbse zum Zeitpunkt Ende Blüte am Standort Calau am 30. Mai 2019 (RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, D = Direktsaat, M = Mulchsaat, ukf = unkrautfrei bis Bestandesschluss, mec = mechanische Unkrautregulation mit dem Rollstriegel, Kon = Kontrolle ohne Unkrautregulation), Mittel + Standardabweichung	127
Abbildung 91:	Einfluss der Zwischenfrucht, der Unkrautregulation und des Saatverfahrens auf den Sprossertrag der Unkräuter in Erbse zum Zeitpunkt Ende Blüte am Standort Ogrosen am 23. Juni 2021 (RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, D = Direktsaat, M = Mulchsaat, ukf = unkrautfrei bis Bestandesschluss, mec = mechanische Unkrautregulation mit dem Rollstriegel, Kon = Kontrolle ohne Unkrautregulation), Mittel + Standardabweichung	127
Abbildung 92:	Einfluss der Zwischenfrucht, der Unkrautregulation und des Saatverfahrens auf den Sprossertrag der Unkräuter in Erbse zum Zeitpunkt Ende Blüte am Standort Calau am 23. Juni 2021 (RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, D = Direktsaat, M = Mulchsaat, ukf = unkrautfrei bis Bestandesschluss, mec = mechanische Unkrautregulation mit dem Rollstriegel, Kon = Kontrolle ohne Unkrautregulation), Mittel + Standardabweichung	127
Abbildung 93:	Einfluss der Zwischenfrucht, der Unkrautregulation und des Saatverfahrens auf den Sprossertrag der Erbse zum Zeitpunkt Ende Blüte am Standort Ogrosen am 01. Juni 2018 (RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, D = Direktsaat, M = Mulchsaat, ukf = unkrautfrei bis Bestandesschluss, mec = mechanische Unkrautregulation mit dem Rollstriegel, Kon = Kontrolle ohne Unkrautregulation), Mittel + Standardabweichung	128
Abbildung 94:	Einfluss der Zwischenfrucht, der Unkrautregulation und des Saatverfahrens auf den Sprossertrag der Erbse zum Zeitpunkt Ende Blüte am Standort Calau am 01. Juni 2018 (RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, D = Direktsaat, M = Mulchsaat, ukf = unkrautfrei bis Bestandesschluss, mec = mechanische Unkrautregulation mit dem Rollstriegel, Kon = Kontrolle ohne Unkrautregulation), Mittel + Standardabweichung	128
Abbildung 95:	Einfluss der Zwischenfrucht, der Unkrautregulation und des Saatverfahrens auf den Sprossertrag der Erbse zum Zeitpunkt Ende Blüte am Standort Ogrosen am 30. Mai 2019 (RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, D = Direktsaat, M = Mulchsaat, ukf = unkrautfrei bis Bestandesschluss, mec = mechanische Unkrautregulation mit dem Rollstriegel, Kon = Kontrolle ohne Unkrautregulation), Mittel + Standardabweichung	129
Abbildung 96:	Einfluss der Zwischenfrucht, der Unkrautregulation und des Saatverfahrens auf den Sprossertrag der Erbse zum Zeitpunkt Ende Blüte am Standort Calau am 30. Mai 2019 (RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, D = Direktsaat, M = Mulchsaat, ukf = unkrautfrei bis Bestandesschluss, mec = mechanische Unkrautregulation mit dem Rollstriegel, Kon = Kontrolle ohne Unkrautregulation), Mittel + Standardabweichung	129
Abbildung 97:	Einfluss der Zwischenfrucht, der Unkrautregulation und des Saatverfahrens auf den Sprossertrag der Erbse zum Zeitpunkt Ende Blüte am Standort Ogrosen am 13. Juni 2021	

	(RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, D = Direktsaat, M = Mulchsaat, ukf = unkrautfrei bis Bestandesschluss, mec = mechanische Unkrautregulation mit dem Rollstriegel, Kon = Kontrolle ohne Unkrautregulation), Mittel + Standardabweichung	129
Abbildung 98:	Einfluss der Zwischenfrucht, der Unkrautregulation und des Saatverfahrens auf den Sprossertrag der Erbse zum Zeitpunkt Ende Blüte am Standort Calau am 13. Juni 2021 (RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, D = Direktsaat, M = Mulchsaat, ukf = unkrautfrei bis Bestandesschluss, mec = mechanische Unkrautregulation mit dem Rollstriegel, Kon = Kontrolle ohne Unkrautregulation), Mittel + Standardabweichung	130
Abbildung 99:	Korrelation zwischen Sprossertrag der Erbse zur Blüte und dem Sprossertrag der Unkräuter am Standort Ogrosen (links) und Calau (rechts) am 01. Juni 2018.....	131
Abbildung 100:	Korrelation zwischen Sprossertrag der Erbse zur Blüte und dem Sprossertrag der Unkräuter am Standort Ogrosen (links) und Calau (rechts) am 30. Mai 2019.....	131
Abbildung 101:	Korrelation zwischen Sprossertrag der Erbse zur Blüte und dem Sprossertrag der Unkräuter am Standort Ogrosen (links) und Calau (rechts) am 13. Juni 2021	131
Abbildung 102:	Einfluss von Zwischenfruchtbau, Art der Unkrautregulation und Saatverfahren auf N-Gehalt im Spross der Erbse am Standort Ogrosen zur Blüte am 01. Juni 2018 (RR = Zwischenfrucht Rmtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, D = Direktsaat, M = Mulchsaat, ukf = unkrautfrei bis Bestandesschluss, mec = mechanische Unkrautregulation mit dem Rollstriegel, Kon = Kontrolle ohne Unkrautregulation), Mittel + Standardabweichung.....	132
Abbildung 103:	Einfluss der Art der Unkrautregulation und des Saatverfahrens auf N-Gehalt in der Sprosstrockenmasse der Erbse am Standort Calau zur Blüte am 01. Juni 2018 (RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, D = Direktsaat, M = Mulchsaat, ukf = unkrautfrei bis Bestandesschluss, mec = mechanische Unkrautregulation mit dem Rollstriegel, Kon = Kontrolle ohne Unkrautregulation), Mittel + Standardabweichung	132
Abbildung 104:	Einfluss von Zwischenfruchtbau, Art der Unkrautregulation und Saatverfahren auf N-Gehalt im Spross der Erbse am Standort Ogrosen zur Blüte 30. Mai 2019 (RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, D = Direktsaat, M = Mulchsaat, ukf = unkrautfrei bis Bestandesschluss, mec = mechanische Unkrautregulation mit dem Rollstriegel, Kon = Kontrolle ohne Unkrautregulation), Mittel + Standardabweichung).....	133
Abbildung 105:	Einfluss der Art der Unkrautregulation und des Saatverfahrens auf N-Gehalt in der Sprosstrockenmasse der Erbse am Standort Calau zur Blüte am 30. Mai 2019 (RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, D = Direktsaat, M = Mulchsaat, ukf = unkrautfrei bis Bestandesschluss, mec = mechanische Unkrautregulation mit dem Rollstriegel, Kon = Kontrolle ohne Unkrautregulation), Mittel + Standardabweichung	134
Abbildung 106:	Einfluss der Art der Unkrautregulation und des Saatverfahrens auf P-Gehalt in der Sprosstrockenmasse der Erbse am Standort Ogrosen zur Blüte am 01. Juni 2018 (RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, D = Direktsaat, M = Mulchsaat, ukf = unkrautfrei bis Bestandesschluss, mec = mechanische Unkrautregulation mit dem Rollstriegel, Kon = Kontrolle ohne Unkrautregulation), Mittel + Standardabweichung	134
Abbildung 107:	Einfluss der Art der Unkrautregulation und des Saatverfahrens auf P-Gehalt in der Sprosstrockenmasse der Erbse am Standort Calau zur Blüte am 01. Juni 2018 (RR =	

	Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, D = Direktsaat, M = Mulchsaat, ukf = unkrautfrei bis Bestandesschluss, mec = mechanische Unkrautregulation mit dem Rollstriegel, Kon = Kontrolle ohne Unkrautregulation), Mittel + Standardabweichung	135
Abbildung 108:	Einfluss der Art der Unkrautregulation und des Saatverfahrens auf P-Gehalt in der Sprosstrockenmasse der Erbse am Standort Ogrosen zur Blüte am 30. Mai 2019 (RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, D = Direktsaat, M = Mulchsaat, ukf = unkrautfrei bis Bestandesschluss, mec = mechanische Unkrautregulation mit dem Rollstriegel, Kon = Kontrolle ohne Unkrautregulation), Mittel + Standardabweichung	135
Abbildung 109:	Einfluss der Art der Unkrautregulation und des Saatverfahrens auf P-Gehalt in der Sprosstrockenmasse der Erbse am Standort Calau zur Blüte am 30. Mai 2019 (RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, D = Direktsaat, M = Mulchsaat, ukf = unkrautfrei bis Bestandesschluss, mec = mechanische Unkrautregulation mit dem Rollstriegel, Kon = Kontrolle ohne Unkrautregulation), Mittel + Standardabweichung	136
Abbildung 110:	Einfluss der Art der Unkrautregulation und des Saatverfahrens auf K-Gehalt in der Sprosstrockenmasse der Erbse am Standort Ogrosen zur Blüte am 01. Juni 2018 (RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, D = Direktsaat, M = Mulchsaat, ukf = unkrautfrei bis Bestandesschluss, mec = mechanische Unkrautregulation mit dem Rollstriegel, Kon = Kontrolle ohne Unkrautregulation), Mittel + Standardabweichung	136
Abbildung 111:	Einfluss der Art der Unkrautregulation und des Saatverfahrens auf K-Gehalt in der Sprosstrockenmasse der Erbse am Standort Calau zur Blüte am 01. Juni 2018 (RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, D = Direktsaat, M = Mulchsaat, ukf = unkrautfrei bis Bestandesschluss, mec = mechanische Unkrautregulation mit dem Rollstriegel, Kon = Kontrolle ohne Unkrautregulation), Mittel + Standardabweichung	137
Abbildung 112:	Einfluss der Art der Unkrautregulation und des Saatverfahrens auf K-Gehalt in der Sprosstrockenmasse der Erbse am Standort Ogrosen zur Blüte am 30. Mai 2019 (RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, D = Direktsaat, M = Mulchsaat, ukf = unkrautfrei bis Bestandesschluss, mec = mechanische Unkrautregulation mit dem Rollstriegel, Kon = Kontrolle ohne Unkrautregulation), Mittel + Standardabweichung	137
Abbildung 113:	Einfluss der Art der Unkrautregulation und des Saatverfahrens auf K-Gehalt in der Sprosstrockenmasse der Erbse am Standort Calau zur Blüte am 30. Mai 2019 (RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, D = Direktsaat, M = Mulchsaat, ukf = unkrautfrei bis Bestandesschluss, mec = mechanische Unkrautregulation mit dem Rollstriegel, Kon = Kontrolle ohne Unkrautregulation), Mittel + Standardabweichung	137
Abbildung 114:	Einfluss von Zwischenfruchtbau und Saatverfahren auf die N-Menge im Spross von Unkräuter und Gerste am Standort Ogrosen zur Blüte der Erbse am 01. Juni 2018 (RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, D = Direktsaat, M = Mulchsaat).....	138
Abbildung 115:	Einfluss von Zwischenfruchtbau und Saatverfahren auf die N-Menge im Spross von Unkräutern und Gerste am Standort Calau zur Blüte am 01. Juni 2018 (RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, D = Direktsaat, M = Mulchsaat).....	138

Abbildung 116: Einfluss von Zwischenfruchtbau und Saatverfahren auf die N-Menge im Spross von Unkräutern und Gerste am Standort Ogrosen zur Blüte 30. Mai 2019 (RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, D = Direktsaat, M = Mulchsaat).....	139
Abbildung 117: Einfluss von Zwischenfruchtbau und Saatverfahren auf die N-Menge im Spross von Unkräutern und Gerste am Standort Calau zur Blüte 30. Mai 2019 (RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, D = Direktsaat, M = Mulchsaat).....	140
Abbildung 118: Einfluss von Zwischenfruchtbau, Art der Unkrautregulation und Saatverfahren auf die N-Menge im Spross von Unkräutern und Erbse am Standort Ogrosen zur Blüte am 01. Juni 2018 (RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, D = Direktsaat, M = Mulchsaat, ukf = unkrautfrei bis Bestandesschluss, mec = mechanische Unkrautregulation mit dem Rollstriegel, Kon = Kontrolle ohne Unkrautregulation)	140
Abbildung 119: Einfluss der Art der Unkrautregulation, Art der Unkrautregulation und des Saatverfahrens auf die N-Menge im Spross von Unkräutern und der Erbse am 01. Juni 2018 am Standort Calau (RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, D = Direktsaat, M = Mulchsaat, ukf = unkrautfrei bis Bestandesschluss, mec = mechanische Unkrautregulation mit dem Rollstriegel, Kon = Kontrolle ohne Unkrautregulation)	141
Abbildung 120: Einfluss von Zwischenfruchtbau, Art der Unkrautregulation und Saatverfahren auf die N-Menge im Spross von Unkräutern und Erbse am Standort Ogrosen zur Blüte 30. Mai 2019 (RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, D = Direktsaat, M = Mulchsaat, ukf = unkrautfrei bis Bestandesschluss, mec = mechanische Unkrautregulation mit dem Rollstriegel, Kon = Kontrolle ohne Unkrautregulation)	141
Abbildung 121: Einfluss von Zwischenfruchtbau, Art der Unkrautregulation und Saatverfahren auf die N-Menge im Spross von Unkräutern und Erbse am Standort Calau zur Blüte am 30. Mai 2019 (RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, D = Direktsaat, M = Mulchsaat, ukf = unkrautfrei bis Bestandesschluss, mec = mechanische Unkrautregulation mit dem Rollstriegel, Kon = Kontrolle ohne Unkrautregulation)	142
Abbildung 122: Einfluss von Zwischenfruchtbau, der Art der Unkrautregulation und Saatverfahren auf Stroh- und Korntrag der Erbse am Standort Ogrosen am 01. Juli 2018 (RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, D = Direktsaat, M = Mulchsaat, ukf = unkrautfrei bis Bestandesschluss, mec = mechanische Unkrautregulation mit dem Rollstriegel, Kon = Kontrolle ohne Unkrautregulation).....	143
Abbildung 123: Einfluss von Zwischenfruchtbau, der Art der Unkrautregulation und Saatverfahren auf Stroh- und Korntrag der Erbse am Standort Calau am 01. Juli 2018 (RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, D = Direktsaat, M = Mulchsaat, ukf = unkrautfrei bis Bestandesschluss, mec = mechanische Unkrautregulation mit dem Rollstriegel, Kon = Kontrolle ohne Unkrautregulation).....	143
Abbildung 124: Einfluss von Zwischenfruchtbau, der Art der Unkrautregulation und Saatverfahren auf Stroh- und Korntrag der Erbse am Standort Ogrosen am 04. Juli 2019 (RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, D = Direktsaat, M = Mulchsaat, ukf = unkrautfrei bis Bestandesschluss, mec = mechanische Unkrautregulation mit dem Rollstriegel, Kon = Kontrolle ohne Unkrautregulation).....	144

- Abbildung 125: Einfluss von Zwischenfruchtbau, der Art der Unkrautregulation und Saatverfahren auf Stroh- und Kornertrag der Erbse am Standort Calau am 04. Juli 2019 (RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, D = Direktsaat, M = Mulchsaat, ukf = unkrautfrei bis Bestandesschluss, mec = mechanische Unkrautregulation mit dem Rollstriegel, Kon = Kontrolle ohne Unkrautregulation)..... 144
- Abbildung 126: Einfluss von Zwischenfruchtbau, der Art der Unkrautregulation und Saatverfahren auf Stroh- und Kornertrag der Erbse am Standort Ogrosen am 19. Juli 2021 (RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, D = Direktsaat, M = Mulchsaat, ukf = unkrautfrei bis Bestandesschluss, mec = mechanische Unkrautregulation mit dem Rollstriegel, Kon = Kontrolle ohne Unkrautregulation)..... 145
- Abbildung 127: Einfluss von Zwischenfruchtbau, der Art der Unkrautregulation und Saatverfahren auf Stroh- und Kornertrag der Erbse am Standort Calau am 19. Juli 2021 (RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, D = Direktsaat, M = Mulchsaat, ukf = unkrautfrei bis Bestandesschluss, mec = mechanische Unkrautregulation mit dem Rollstriegel, Kon = Kontrolle ohne Unkrautregulation)..... 145
- Abbildung 128: Einfluss des Saatverfahrens, des Zwischenfruchtbaus und der Intensität der Unkrautregulation auf die N-Mengen im Spross am Standort Ogrosen am 01. Juli 2018 (RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, 1 = unkrautfrei bis Bestandesschluss, 2 = mechanische Unkrautregulation mit dem Rollstriegel, 3 = Kontrolle ohne Unkrautregulation)..... 146
- Abbildung 129: Einfluss des Saatverfahrens, des Zwischenfruchtbaus und der Intensität der Unkrautregulation auf die N-Mengen im Spross am Standort Calau am 01. Juli 2018 (RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, 1 = unkrautfrei bis Bestandesschluss, 2 = mechanische Unkrautregulation mit dem Rollstriegel, 3 = Kontrolle ohne Unkrautregulation)..... 146
- Abbildung 130: Einfluss des Saatverfahrens, des Zwischenfruchtbaus und der Intensität der Unkrautregulation auf die N-Mengen im Spross am Standort Ogrosen am 04. Juli 2019 (RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, 1 = unkrautfrei bis Bestandesschluss, 2 = mechanische Unkrautregulation mit dem Rollstriegel, 3 = Kontrolle ohne Unkrautregulation)..... 147
- Abbildung 131: Einfluss des Saatverfahrens, des Zwischenfruchtbaus und der Intensität der Unkrautregulation auf die N-Mengen im Spross am Standort Calau am 04. Juli 2019 (RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, 1 = unkrautfrei bis Bestandesschluss, 2 = mechanische Unkrautregulation mit dem Rollstriegel, 3 = Kontrolle ohne Unkrautregulation)..... 147
- Abbildung 132: Einfluss des Saatverfahrens, des Zwischenfruchtbaus und der Intensität der Unkrautregulation auf die N-Mengen im Spross am Standort Ogrosen am 19. Juli 2021 (RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, 1 = unkrautfrei bis Bestandesschluss, 2 = mechanische Unkrautregulation mit dem Rollstriegel, 3 = Kontrolle ohne Unkrautregulation)..... 148
- Abbildung 133: Einfluss des Saatverfahrens, des Zwischenfruchtbaus und der Intensität der Unkrautregulation auf die N-Mengen im Spross am Standort Calau am 19. Juli 2021 (RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, 1 = unkrautfrei bis Bestandesschluss, 2 = mechanische Unkrautregulation mit dem Rollstriegel, 3 = Kontrolle ohne Unkrautregulation)..... 148
- Abbildung 134: Einfluss des Saatverfahrens, des Zwischenfruchtbaus und der Intensität der Unkrautregulation auf die residuale N_{min}-Menge im Boden am 02. Juli 2018 am Standort Ogrosen (RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht

Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, 1 = unkrautfrei bis Bestandesschluss, 2 = mechanische Unkrautregulation mit dem Rollstriegel, 3 = Kontrolle ohne Unkrautregulation)	149
Abbildung 135: Einfluss des Saatverfahrens, des Zwischenfruchtbaus und der Intensität der Unkrautregulation auf die residuale Nmin-Menge im Boden am 021. Juli 2018 am Standort Calau (RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, 1 = unkrautfrei bis Bestandesschluss, 2 = mechanische Unkrautregulation mit dem Rollstriegel, 3 = Kontrolle ohne Unkrautregulation)	150
Abbildung 136: Einfluss des Saatverfahrens, des Zwischenfruchtbaus und der Intensität der Unkrautregulation auf die residuale Nmin-Menge im Boden am 19. Juli 2019 am Standort Ogrosen (RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, 1 = unkrautfrei bis Bestandesschluss, 2 = mechanische Unkrautregulation mit dem Rollstriegel, 3 = Kontrolle ohne Unkrautregulation)	150
Abbildung 137: Einfluss des Saatverfahrens, des Zwischenfruchtbaus und der Intensität der Unkrautregulation auf die residuale Nmin-Menge im Boden am 19. Juli 2019 am Standort Calau (RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, 1 = unkrautfrei bis Bestandesschluss, 2 = mechanische Unkrautregulation mit dem Rollstriegel, 3 = Kontrolle ohne Unkrautregulation)	151
Abbildung 138: Einfluss des Saatverfahrens, des Zwischenfruchtbaus und der Intensität der Unkrautregulation auf die residuale Nmin-Menge im Boden am 21. August 2021 am Standort Ogrosen (RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, 1 = unkrautfrei bis Bestandesschluss, 2 = mechanische Unkrautregulation mit dem Rollstriegel, 3 = Kontrolle ohne Unkrautregulation)	151
Abbildung 139: Einfluss des Saatverfahrens, des Zwischenfruchtbaus und der Intensität der Unkrautregulation auf die residuale Nmin-Menge im Boden am 21. August 2021 am Standort Calau (RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, 1 = unkrautfrei bis Bestandesschluss, 2 = mechanische Unkrautregulation mit dem Rollstriegel, 3 = Kontrolle ohne Unkrautregulation)	152
Abbildung 140: Direktsaatparzellen-Drillmaschine des ZAFT e.V. an der HTW Dresden, ausgestattet mit Cross Slot Säscharen (Foto: Schmidtke, 2015).....	168
Abbildung 141: Cross Slot Säschar der Direktsaatparzellen-Drillmaschine mit pneumatischer Saatgutzuführung (Foto: Rühlemann, 2014).....	168
Abbildung 142: Frontalansicht Cross Slot Säschar (links) sowie Profilansicht des Kreuzschlitzes nach der Saat (Fotos: Rühlemann, 2014).....	169
Abbildung 143: Gemenge aus Ramtillkraut/Rispenhirse der Versuchsanlage Ogrosen am 31. Oktober 2017 (Foto: Schmidtke, 2017).....	169
Abbildung 144: Gemenge aus Rauhafer/Sommerroggen der Versuchsanlage Ogrosen am 31. Oktober 2017 (Foto: Schmidtke, 2017).....	170
Abbildung 145: Gemenge aus Rauhafer/Sommerroggen der Versuchsanlage Ogrosen am 31. Oktober 2017 (Foto: Schmidtke, 2017).....	170
Abbildung 146: Zwischenfruchtbestände der Versuchsanlage Calau am 31. Oktober 2017 (Foto: Schmidtke, 2017).....	171

Abbildung 147: Abgefrorener Zwischenfruchtbestand Ramtillkraut/Rispenhirse der Versuchsanlage Ogrosen am 16. März 2018 (Foto: Schmidtke, 2018).....	171
Abbildung 148: Abgefrorener Zwischenfruchtbestand Rauhafer/Sommerroggen der Versuchsanlage Ogrosen am 16. März 2018 (Foto: Schmidtke, 2018).....	172
Abbildung 149: Abgefrorener Bestand der Unkrautbrache der Versuchsanlage Ogrosen am 16. März 2018 (Foto: Schmidtke, 2018).....	173
Abbildung 150: Mulchdecke aus Ramtillkraut/Rispenhirse (links) und Rauhafer/Sommerroggen (rechts) nach Direktsaat Erbse am Standort Ogrosen am 31. März 2018 (Foto: Schmidtke, 2018) ..	173
Abbildung 151: Mulchdecke aus Ramtillkraut/Rispenhirse (links) und Rauhafer/Sommerroggen (rechts) nach Direktsaat Erbse am Standort Ogrosen am 31. März 2018 (Foto: Schmidtke, 2018) ..	174

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Ablaufschema relevanter Feldtermine	30
Tabelle 2:	Eigenschaften des Oberbodens (0-30 cm Tiefe) an den Untersuchungsstandorten (A1 – A3) 2018	33
Tabelle 3:	Meteorologische Daten einschließlich Niederschlag (P) und Temperatur (T) am Standort Nossen.....	33
Tabelle 4:	Leitunkräuter auf den Standorten A1 – A3 2018 in [%].....	34
Tabelle 5:	pH-Wert und Nährstoffgehalte in den Böden der Versuchsstandorte	39
Tabelle 6:	Monatliche Durchschnittstemperatur (°C) Wetterstation Cottbus im Mittel der Jahre 1990 bis 2020 sowie in den Versuchsjahren	40
Tabelle 7:	Monatliche Durchschnittsniederschläge Wetterstation Cottbus im Mittel der Jahre 1990 bis 2020 sowie in den Versuchsjahren	40
Tabelle 8:	Termine der Saat-, Bewirtschaftung, Probenahme und Ernte in der Zwischenfruchtphase....	41
Tabelle 9:	Termine der Saat-, Bewirtschaftung, Probenahme und Ernte in der Phase des Erbsenanbaus.....	41
Tabelle 10:	Kornertrag 2018 [t/ha atro] der Standorte hinsichtlich Unkrautregulierungsmethode, Zwischenfrucht (RR = Ramtillkraut/Rispenhirse; HS = Sommerroggen/Rauhafer) und Aussaattechnik (DS = Direktsaat; MS = Mulchsaat).....	52
Tabelle 11:	Unkrautbiomasse 2018 [t/ha atro] der Standorte hinsichtlich Unkrautregulierungsmethode, Zwischenfrucht (RR = Ramtillkraut/Rispenhirse; HS = Sommerroggen/Rauhafer) und Aussaattechnik (DS = Direktsaat; MS = Mulchsaat).....	53
Tabelle 12:	Abschätzung manueller Unkrautdeckungsgrade [%] mit Standardabweichung (SD) für Ackerbohne in Starbach.....	56
Tabelle 13:	Abschätzung Unkrautdeckungsgrade [%] mittels H-Sensor mit Standardabweichung (SD) für Ackerbohne alle Behandlungen in Starbach.....	56
Tabelle 14:	Kornertrag 2019 [t/ha atro] der Standorte hinsichtlich Unkrautregulierungsmethode, Zwischenfrucht (RR = Ramtillkraut/Rispenhirse; HS = Sommerroggen/Rauhafer) und Aussaattechnik (DS = Direktsaat; MS = Mulchsaat).....	65
Tabelle 15:	Unkrautbiomasse 2019 [t/ha atro] der Standorte hinsichtlich Unkrautregulierungsmethode, Zwischenfrucht (RR = Ramtillkraut/Rispenhirse; HS = Sommerroggen/Rauhafer) und Aussaattechnik (DS = Direktsaat; MS = Mulchsaat).....	66
Tabelle 16:	Kornertrag 2020 [t/ha atro] der Standorte hinsichtlich Unkrautregulierungsmethode, Zwischenfrucht (RR = Ramtillkraut/Rispenhirse; HS = Sommerroggen/Rauhafer) und Aussaattechnik (DS = Direktsaat; MS = Mulchsaat).....	76
Tabelle 17:	Unkrautbiomasse 2020 [t/ha atro] der Standorte hinsichtlich Unkrautregulierungsmethode, Zwischenfrucht (RR = Ramtillkraut/Rispenhirse; HS = Sommerroggen/Rauhafer) und Aussaattechnik (DS = Direktsaat; MS = Mulchsaat).....	77
Tabelle 18:	Ökonomische Auswertung [€/ha], Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung (DAL) mit Prämien für den Standort Starbach (A1) für Futtererbse und Ackerbohne in Mulchsaat (MS) in 2018 hinsichtlich Unkrautregulierungsmethode (ohne; m = mechanisch; c = chemisch), Zwischenfrucht (ohne ZF = ohne Zwischenfrucht; RR = Ramtillkraut/Rispenhirse; HS = Sommerroggen/Rauhafer).....	80
Tabelle 19:	Ökonomische Auswertung, Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung (DAL) mit Prämien für den Standort Rhäsa für Futtererbse und Ackerbohne in Mulchsaat (MS) in 2019 hinsichtlich Unkrautregulierungsmethode (ohne; m = mechanisch; c = chemisch), Zwischenfrucht (ohne ZF = ohne Zwischenfrucht; RR = Ramtillkraut/Rispenhirse; HS = Sommerroggen/Rauhafer).....	81

Tabelle 20:	Ökonomische Auswertung, Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung (DAL) mit Prämien für den Standort Kleinwaltersdorf (A2) für Ackerbohne in Direkt- (DS) und Mulchsaat (MS) in 2018 hinsichtlich Unkrautregulierungsmethode (ohne; m = mechanisch; c = chemisch), Zwischenfrucht (ohne ZF = ohne Zwischenfrucht; RR = Ramtillkraut/Rispenhirse; HS = Sommerroggen/Rauhafer).....	81
Tabelle 21:	Ökonomische Auswertung, Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung (DAL) mit Prämien für den Standort Kleinwaltersdorf (A2) für Ackerbohne in Direkt- (DS) und Mulchsaat (MS) in 2019 hinsichtlich Unkrautregulierungsmethode (ohne; m = mechanisch; c = chemisch), Zwischenfrucht (ohne ZF = ohne Zwischenfrucht; RR = Ramtillkraut/Rispenhirse; HS = Sommerroggen/Rauhafer).....	82
Tabelle 22:	Ökonomische Auswertung, Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung (DAL) mit Prämien für den Standort Naundorf (A3) für Ackerbohne in Direkt- (DS) und Mulchsaat (MS) in 2018 hinsichtlich Unkrautregulierungsmethode (ohne; m = mechanisch; c = chemisch), Zwischenfrucht (ohne ZF = ohne Zwischenfrucht; RR = Ramtillkraut/Rispenhirse; HS = Sommerroggen/Rauhafer).....	82
Tabelle 23:	Ökonomische Auswertung, Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung (DAL) mit Prämien für den Standort Naundorf (A3) für Ackerbohne in Direkt- (DS) und Mulchsaat (MS) in 2019 hinsichtlich Unkrautregulierungsmethode (ohne; m = mechanisch; c = chemisch), Zwischenfrucht (ohne ZF = ohne Zwischenfrucht; RR = Ramtillkraut/Rispenhirse; HS = Sommerroggen/Rauhafer).....	83
Tabelle 24:	Nmin-Vorrat im Boden zur Aussaat der Zwischenfrüchte (kg N/ha).....	100
Tabelle 25:	Spross-TM-Ertrag (dt/ha) der Zwischenfruchtbestände am 31.10.2017 sowie Anteil Stängel-TM an der Sprossmasse bei den Hauptbestandsbildnern Ramtillkraut und Rauhafer.....	102
Tabelle 26:	Spross-TM-Ertrag (dt/ha) der Zwischenfruchtbestände am 15.11.2018 sowie Anteil Stängel-TM an der Sprossmasse bei den Hauptbestandsbildnern Ramtillkraut und Rauhafer.....	103
Tabelle 27:	Spross-TM-Ertrag (dt/ha) der Zwischenfruchtbestände am 05.11.2019 sowie Anteil Stängel-TM an der Sprossmasse bei den Hauptbestandsbildnern Ramtillkraut und Rauhafer.....	103
Tabelle 28:	Spross-TM-Ertrag (dt/ha) der Zwischenfruchtbestände am 13.11.2020 sowie Anteil Stängel-TM an der Sprossmasse bei den Hauptbestandsbildnern Ramtillkraut und Rauhafer.....	104
Tabelle 29:	N-Gehalt sowie C/N-Verhältnis in Blatt und Stängelmasse von Ramtillkraut und Rauhafer sowie im Spross der Zwischenfruchtbestände und Unkräuter am 31.10.2017 an den Standorten Ogrosen und Calau.....	104
Tabelle 30:	N-Gehalt sowie C/N-Verhältnis in Blatt und Stängelmasse von Rispenhirse und Rauhafer sowie im Spross der Zwischenfruchtbestände und Unkräuter am 15.11.2018 an den Standorten Ogrosen und Calau.....	105
Tabelle 31:	N-Gehalt sowie C/N-Verhältnis in Blatt und Stängelmasse von Rispenhirse und Rauhafer sowie im Spross der Zwischenfruchtbestände und Unkräuter am 05.11.2019 an den Standorten Ogrosen und Calau.....	105
Tabelle 32:	N-Gehalt sowie C/N-Verhältnis in Blatt und Stängelmasse von Rispenhirse und Rauhafer sowie im Spross der Zwischenfruchtbestände und Unkräuter am 13.11.2020 an den Standorten Ogrosen und Calau.....	106
Tabelle 33:	Zur Saat der Erbse auf der Bodenoberfläche verbliebene abgestorbene pflanzliche Biomasse (Mulchmasse dt TM/ha).....	114
Tabelle 34:	Rate der Wiederfindung der Zwischenfruchtspromasse des auf der Bodenoberfläche verbliebenen abgestorbenen pflanzliche Biomasse der Zwischenfrüchte, Angaben in %	115

Tabellenverzeichnis im Anhang

Tabelle A 1: Mittelwerte des Ertrags [t/ha] in der dreifaktoriellen ANOVA mit LSD durch Tukey-Test; A = Bodenbearbeitungsverfahren (RT, NT); B = Zwischenfrucht; C = Unkrautunterdrückungsmethode.....	166
Tabelle A 2: Mittelwerte der Unkrautbiomasse [t/ha] in der dreifaktoriellen ANOVA mit LSD durch Tukey- Test; A = Bodenbearbeitungsverfahren (MS, DS); B = Zwischenfrucht; C = Unkrautunterdrückungsmethode.....	166
Tabelle A 3: Mittelwerte der Unkrautdeckungsgrad [%] in der dreifaktoriellen ANOVA mit LSD durch Tukey- Test; A = Bodenbearbeitungsverfahren (MS, DS); B = Zwischenfrucht; C = Unkrautunterdrückungsmethode	167

Abkürzungsverzeichnis

AB	Arbeitsbreite
atro	absolut trocken
c	chemisch
DAL	Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung
DG	Deckungsgrad
DS	Direktsaat
GIS	Geoinformationssystem
HF	Hauptfrucht
HO	Hochschule Osnabrück
HS	Rauhafer/Sommerroggen
HTW	Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden
IT	Informationstechnik
Kon	Kontrolle
LfULG	Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
m	mechanisch
mec	mechanisch
MS	Mulchsaat
n.a.	nicht Verfügbar
n.e.	nicht erfasst
RR	Ramtillkraut/Rispenhirse
RS	Rauhafer/Sommerroggen
SD	Standardabweichung
UB	Unkrautbrache
ukf	unkrautfrei
ZF	Zwischenfrucht

1 Einführung

Die deutsche Eiweißpflanzenstrategie und die Europäische Gemeinsame Agrarpolitik fördern die Einbeziehung von Leguminosen in Fruchtfolgen, um die Leistungsfähigkeit von Anbausystemen und die Nachhaltigkeit der landwirtschaftlichen Produktion zu verbessern (BMEL 2018). Mehrjährige Fruchtfolgen mit Leguminosen werden mit einem geringeren Auftreten von Schädlingen und Krankheiten, einer verbesserten Bodenqualität und einem geringeren Bedarf an Unkrautbekämpfung und Düngemitteln in Verbindung gebracht, was zu geringeren Treibhausgasemissionen und einer erhöhten Förderung der Biodiversität führt (NEMECEK et al. 2008; FOLEY et al. 2011). Daher sollte das Wissen über den Anbau, die Verarbeitung und die Nutzung von Leguminosen erhalten und kontinuierlich weiterentwickelt werden (KLEMCKE et al. 2013; RÜHLEMANN et al. 2015). Der derzeitige Leguminosenanbau in Deutschland beläuft sich auf 55.000 ha für Ackerbohne und auf ca. 80.000 ha für Futtererbse, wobei er jährlichen Schwankungen unterliegt (BMEL 2018). Der Anbau von Futtererbse ist starken Veränderungen unterworfen. Zum einen weisen Schmidt und Wild (2013) auf eine veränderte Förderung durch den Staat hin und auch Zander et al. (2016) berichten von großen Ertragsunsicherheiten, die zu Einkommensrückgängen führen. Andererseits haben PREISSEL et al. (2015) und RECKLING et al. (2016, 2018) gezeigt, dass die Erträge von Körnerleguminosen nicht per se weniger stabil sind und unter Berücksichtigung der Fruchtfolge sogar wirtschaftliche Vorteile im Vergleich zu anderen Kulturen aufweisen. Die Regulierung von Unkräutern in pfluglos angebauten Futtererbsen und Ackerbohnen erfolgt derzeit im konventionellen Ackerbau fast ausschließlich mit Herbiziden. Zunehmende Herbizidresistenzen von Unkräutern (WOLBER 2014), abnehmende Akzeptanz des Pflanzenschutzmitteleinsatzes in der Bevölkerung (HEIßENHUBER et al. 2015) sowie die aktuell laufenden Überlegungen zum Verbot des Pflanzenschutzmitteleinsatzes auf ökologischen Vorrangflächen im Rahmen des Greening sind Anlass für eine Suche nach Alternativen. Im ökologischen Landbau sind bereits erfolgreich Verfahren etabliert, Erbsen und Ackerbohnen ohne Herbizide anzubauen. Allerdings erfolgt hier in aller Regel der Anbau nach Pflugeinsatz, was wiederum die Erosionsgefahr bei entsprechender Exposition erhöht. Ziel des hier beantragten Vorhabens ist es, pflanzenbauliche Verfahren für den pfluglosen Anbau von Erbse und Ackerbohne ohne Einsatz von Herbiziden durch praktische Erprobung der Maßnahmen Zwischenfruchtanbau vor dem Anbau der Körnerleguminosen und mechanische Beikrautregulierung mit Rollstriegeln im konventionellen Ackerbau zu entwickeln. Im ökologischen Landbau sollen zusätzlich Verfahren der Mulch- und Direktsaat auf bisher nicht in Untersuchungen einbezogene Standorte weiter entwickelt werden, wobei ein Schwerpunkt im Einsatz von Sensoren zur mechanischen Unkrautregulierung mit einem Rollstriegel liegen soll. Die Untersuchungen sollen deshalb sowohl in ökologisch als auch konventionell wirtschaftenden Betrieben an drei Standorten in Sachsen, Ackerbohnen auf einem Verwitterungs(V)-Standort, Erbsen am diluvialen (D-) Standort) und Ackerbohnen und Erbsen auf Löss (Lö)-Standort sowie an zwei Standorten in Brandenburg durchgeführt werden. Dabei soll ein neues Verfahren der Erfassung des Unkrautdeckungsgrades mittels eines Sensors erprobt werden, um in einem ersten Schritt Richtwerte zum Geräteeinsatz (Rollstriegel) zu erhalten und in einem zweiten Schritt dieses Gerät teilflächenbezogen zu steuern. Dazu ist aus dem Messergebnis des Sensors ein Steuersignal abzuleiten, das einen im Projekt zu entwickelnden Segmentheber steuert, der einzelne Rollstriegelsegmente in Arbeits- bzw. Ruhestellung bringt. Mit dem teilflächenbezogenen Einsatz sollen keimstimulierende Lichtreize und ein N-Mineralisierungsschub im Boden infolge des Striegeleinsatzes, die beide eine Verunkrautung fördern können, auf die Teilbereiche mit bekämpfungsbedürftiger Verunkrautung begrenzt werden. Gleichzeitig lassen sich so Beschädigungen an den Kulturpflanzen durch den Rollstriegel reduzieren. Der Anbau von Hülsenfrüchten in Europa gilt als Schlüssel zur Bewältigung aktueller Herausforderungen wie der Unabhängigkeit von Importen, dem Klimawandel und der nachhaltigen Entwicklung des ländlichen Raums (PETERSON et al. 1992; SCHUHMACHER et al. 2011; DAVIS et al., 2012, BLOCH et al. 2014). Leguminosen wie Ackerbohne sind sehr wichtig für die Lebensmittelsicherheit; sie liefern hochwertige Proteine (WITTEN et al. 2015), die für eine ausgewogene Ernährung von Mensch und Vieh wichtig sind (IGBASAN et al. 1996; BASTIANELLI et al. 1998; MACARULLA et al. 2001; KRUPA 2008). Bis 2013 war der Anbau von Körnerleguminosen in der Europäischen Union auf 1,8 Mio. ha Ackerland zurückgegangen, wobei Erbsen,

Ackerbohnen und Sojabohnen auf 0,5 Mio. ha angebaut wurden, was ca. 1,5 % der europäischen Ackerfläche entspricht (WATSON et al. 2017). Seit 2013 ist die Produktion von Körnerleguminosen in der Europäischen Union jedoch auf 5,2 Millionen Tonnen im Jahr 2018 gestiegen (FAOSTAT 2019). In der konventionellen Landwirtschaft werden Unkräuter auf gepflügten und nicht gepflügten Leguminosenflächen fast ausschließlich mit Herbiziden bekämpft. In den letzten Jahren hat jedoch die herbizidfreie Unkrautbekämpfung an Bedeutung gewonnen (von Richthofen et al. 2006), obwohl die Direktsaat ohne Stoppelbearbeitung am Ende eines Erntezyklus ein erhöhtes Risiko für mehrjähriges Unkrautwachstum birgt (PEKRUN und CLAUPEIN 2006). Die sinkende Akzeptanz des Pestizideinsatzes in der Bevölkerung (HEIßENHUBER et al. 2015; Münze et al. 2015) sowie das aktuelle Verbot von Pestiziden auf ökologischen Vorrangflächen (siehe BMEL 2018) haben jedoch dazu geführt, dass in Europa und insbesondere in Deutschland nach Alternativen zur chemischen Unkrautbekämpfung gesucht wird.

1.1 Gegenstand des Vorhabens

Ein Ansatz zur herbizidfreien Unkrautbekämpfung ist die Verwendung von Zwischenfrüchten, die das Unkrautwachstum durch Beschattung und Verstärkung der interspezifischen Konkurrenz um pflanzenverfügbare Nährstoffe unterdrücken (KRUIDHOF et al. 2008). Verschiedene Zwischenfrüchte haben sich für diesen Zweck als geeignet erwiesen (MIYAZAWA et al. 2010; RÜHLEMANN und SCHMIDTKE 2015). So zeigen Resultate mit der Körnererbse aus dem Versuchsjahr 2014, dass die Art des Zwischenfruchtbaus vor der Erbsen vor allem bei Direktsaat der Erbsen das Wachstum der Unkräuter in Erbsen und die Ertragsleistung der Erbsen deutlich beeinflussen. Mehrere Nicht-Leguminosen-Zwischenfrüchte akkumulieren große Mengen an Bodenstickstoff in der Biomasse. Neben der Verringerung des für Unkräuter verfügbaren Bodenstickstoffs ergibt sich daher auch der Vorteil einer verringerten Stickstoffauswaschung (VOISIN et al. 2002; RÜHLEMANN und SCHMIDTKE 2016). Um diese Effekte zu erzielen, sollte die Nicht-Leguminosen-Zwischenfrucht eine große Menge an Biomasse aufbauen und ein hohes C:N-Verhältnis entwickeln (STEER et al. 1985; TEASDALE et al. 1991). Wenn die Zwischenfrüchte schnell wachsen, langlebig werden und ein hohes C:N-Verhältnis entwickeln, können sie Unkräuter deutlich unterdrücken, was sich in einem höheren Korntrag in der Hauptkultur auswirken kann (CARR et al. 1995; JENSEN et al. 1996). In der Regel verbleibt nach dem Auffrieren der Zwischenfrüchte die abgestorbene Biomasse (sogenannte Mulchschicht) oberirdisch auf dem Boden und verhindert durch Beschattung und Zersetzungsprozesse neues Unkrautwachstum (TEASDALE und MOHLER 2000). Für eine effiziente Unkrautunterdrückung sind jedoch mindestens 4 t ha⁻¹ trockenes Mulchmaterial erforderlich (BÄRBERI 2002). Leguminosen wie z. B. Ackerbohnen (die in der vorliegenden Studie verwendet wurden) sind nicht auf die verzögerte und geringere Freisetzung der Stickstoffmineralisierungsrate des Bodens in Direktsaatssystemen angewiesen (KÖPKE und NEMECEK 2010). Die Fixierung von atmosphärischem Stickstoff im Boden stellt einen Wettbewerbsvorteil für Leguminosen gegenüber Unkräutern dar (ROGERS et al. 2009). Eine weitere Tatsache ist, dass Körnerleguminosen mit ihren großen Samen gut mit den Bedingungen der konservierenden Bodenbearbeitung und der Direktsaat zurechtkommen. In beiden Systemen findet nur eine geringe (Mulchsaat) bzw. keine Bodenbewegung (Direktsaat) statt. Daher finden insbesondere in Direktsaat-Systemen kaum mikrobielle Prozesse zur N-Mineralisierung statt (PEIGNÉ et al. 2007). Daher haben wir zusätzlich Mulch- und Direktsaat Systeme verglichen. Darüber hinaus bleibt gleichzeitig die Mulchaufgabe der Zwischenfrucht mit ihrer unkrautunterdrückenden Wirkung länger erhalten. Unkräuter sind auf hohe Stickstoffkonzentrationen im Boden angewiesen, Leguminosen nicht. Dieser Wettbewerbsvorteil der Leguminosen ermöglicht nur wenige mechanische Unkrautbekämpfungsmaßnahmen (SPRENT 2009). Viele dieser oben genannten Faktoren sind abhängig vom Aussaatzeitpunkt und den klimatischen Bedingungen. Zusätzlich schützt eine Mulchaufgabe den Boden vor Erosion. Ein weiterer Ansatz zur herbizidfreien Unkrautregulierung ist der Einsatz verschiedener mechanischer Geräte und Methoden; für Details siehe HILTBRUNNER et al. (2012), JOBST et al. (2015) und URBATZKA et al. (2017). Wir konzentrierten uns auf einen Rollstriegel für die mechanische Unkrautbekämpfung und auf zwei verschiedene Zwischenfruchtmischungen für die Reduzierung des pflanzenverfügbaren Bodenstickstoffs. Rollstriegel können zwischen den Pflanzenreihen regulieren und arbeiten sehr effizient in mächtigen Mulchaufgaben, ohne zu verstopfen. Der Rollstriegel bietet andererseits gute Möglichkeiten der Regulation von Samenunkräutern in Systemen der Mulch-

und Direktsaat wie Untersuchungen zeigen (HÄNSEL 2015). Auch JUNG und RAUBER (2015) zeigen, dass in Systemen des herbizidfreien Anbaus von Ackerbohne und Erbse Samenunkräuter notfalls auch direkt reguliert werden können. Ähnliche Ergebnisse werden erzielt beim Einsatz von Turbostriegeln (z. B. Rotary Hoe), die auch in der Lage sind, verkrustete Bodenoberflächen aufzubrechen. Trotz leichter Beschädigung der Ackerbohnen durch eine Rollstriegeleinsatz konnte mit dieser direkten Unkrautregulierung ein besserer Erfolg erzielt werden als durch die indirekte Regulierung mit Gemengesaat Hafer und Ackerbohne (KÖPKE et al. 2016). Unseres Wissens gibt es jedoch bisher keine Studie in der Literatur, die mechanische Unkrautregulierung und die Verwendung von Nicht-Leguminosen Zwischenfruchtmischungen kombiniert.

1.2 Ziele und Aufgabenstellung des Projekts

Die vorliegende Studie liefert Felddaten von zwei Anbausystemen (Mulch- und Direktsaat) in Bezug auf Ertrag, Unkrautunterdrückung, Nmin-Dynamik, C:N-Verhältnis im Boden und in den verschiedenen Pflanzen wie Feldfrüchten, Unkraut, Mulch sowie die Menge der Makronährstoffe im Boden und in den verschiedenen Pflanzen.

Hypothesen

Der Einsatz von Nicht-Leguminosen-Zwischenfrüchten führt i) zu einer Verringerung der Nmin-Werte im Oberboden (< 30 cm) im Vergleich zu einer Behandlung ohne Nicht-Leguminosen-Zwischenfrüchte führt und ii) Unkräuter in den Leguminosen-Hauptkulturen und den Nicht-Leguminosen-Zwischenfrüchten werden ebenso effizient unterdrückt wie durch synthetische Herbizide (gemessen an Unkrautbiomasse und Unkrautdeckungsgrad [%]). Wir stellten ferner die Hypothese auf, dass iii) es einen Unterschied zwischen der Mulch- und der Direktsaat hinsichtlich des Kornertrags und der Ertragsqualität gibt, aber kein Unterschied zwischen der mechanischen und der chemischen Unkrautbekämpfung innerhalb der einzelnen Bodenbearbeitungssysteme besteht. Wir erwarteten, dass die Erträge und die Ertragsqualität im Mulchsaat System höher ausfallen.

2 Wissenschaftlicher und technischer Stand

Weiterentwicklung der mechanischen Unkrautregulierung durch den Einsatz von Sensorik

Teilflächenspezifische Unkrautregulierung hat in den letzten Jahren zunehmendes Interesse im Bereich der modernen Landwirtschaft gefunden. Die Unkrautregulierung auf Teilflächen innerhalb eines Schlages erfordert die Messung der unterschiedlichen Unkrautverteilung (Abbildung der Heterogenität). Entscheidungsmodelle helfen bei der Auswahl und der Steuerung der Maßnahmen abhängig von der tatsächlichen Unkrautverteilung. Die Unkrautregulierung kann entweder biologisch, mechanisch oder chemisch erfolgen. Mechanische teilflächenspezifische Unkrautbekämpfungstechnik, die auf die Verunkrautung eingestellt ist, kann in einem weiten Kulturpflanzenspektrum angewendet werden. So ein System für die Differenzierung von Unkräutern und Kulturpflanzen mittels Bildanalyse und der dementsprechenden leistungsfähigen Aktorik ist für eine nachhaltige Landwirtschaft nach unserem Ermessen unverzichtbar. Somit wird im Projekt, untersucht ob ein kamerabasierter Unkrautsensor (H-Sensor) einen Striegel so steuern kann, dass dieser nur auf stärker verunkrauteten Teilflächen arbeitet, deren Unkrautbesatz eine Bekämpfung erfordert. Weiterhin könnte auch durch die teilflächig gestriegelten Abschnitte die Verdunstung ganzflächig reduziert werden. Darüber hinaus gibt es keine zusätzliche Stickstoffmineralisierung auf den nicht gestriegelten Teilflächen. Ein weiteres Ziel ist, das in der Praxis mitunter beobachtete Anregen der Keimung neuer Unkrautsamen z.B durch Lichtreiz nach einem Striegel-Durchgang auf die Teilflächen zu reduzieren. Die Untersuchungen erfolgen an unterschiedlichen Standorten am LfULG sowie an der Hochschule Osnabrück. Die Sensormessung erfolgt an den Kulturpflanzen Futtererbse und Ackerbohne simultan zur manuellen Unkrautbonituren je Striegelgang. In der ersten Projektphase werden die Sensordaten hinsichtlich diverser Schwellenwerte zum Geräteeinsatz validiert, in der zweiten Projektphase mit der Zielstellung, das Absenken

von Striegelsegmenten an den verunkrauteten Teilflächen zu steuern. Die komplette Realisierung erfolgt mittels Einsatz des H-Sensors. Die Erfassung von Sensordaten erfolgt über ein GPS-gekoppeltes Parzellengerät. Der Einsatz kamerabasierter Unkrautsensoren, zur Erkennung und Klassifizierung von Unkräutern, ist im Grundsatz möglich (GERHARDS et. al 2007; WEIS et al. 2008) und teilweise spezifisch getestet (GUTJAHR et al. 2012). Der Einsatz des H-Sensors zur Entscheidungsunterstützung zum Einsatzzeitpunkt sowie zur teilflächenbezogenen "Echtzeit-Steuerung" mechanischer Geräte in der Unkrautregulierung ist bisher nicht erfolgt. Die vorhandenen Mulchauflagen auf der Bodenoberfläche nach Direkt- bzw. Mulchsaat stellen zudem an die Sensortechnik besondere Anforderungen. Der H-Sensor ist eine bi-spektrale Kamera, welche je Sekunde ca. 10 Aufnahmen generiert. Dabei wird das Ergebnis der Pixelauswertung in den Aufnahmen der Kulturpflanzen sowie der Unkräuter unterschieden. Für einige Kulturpflanzen gibt es definierte Klassifikationen (Algorithmen), um die Kulturpflanzen vom Restpflanzenbestand optisch klar auswertbar abzugrenzen. Die Kulturpflanzenhäufigkeit und der Unkrautbesatz werden als Deckungsgrad [%] erfasst.

3 Material und Methoden

3.1 LfULG

Untersuchungsstandorte

Die Untersuchungsstandorte befinden sich in der zentralen Region Sachsens (siehe Abb. 1). An allen drei Untersuchungsstandorten wurde der Oberboden von Löss dominiert (bis zu 45 %), der aus eiszeitlichen Ablagerungen stammt.

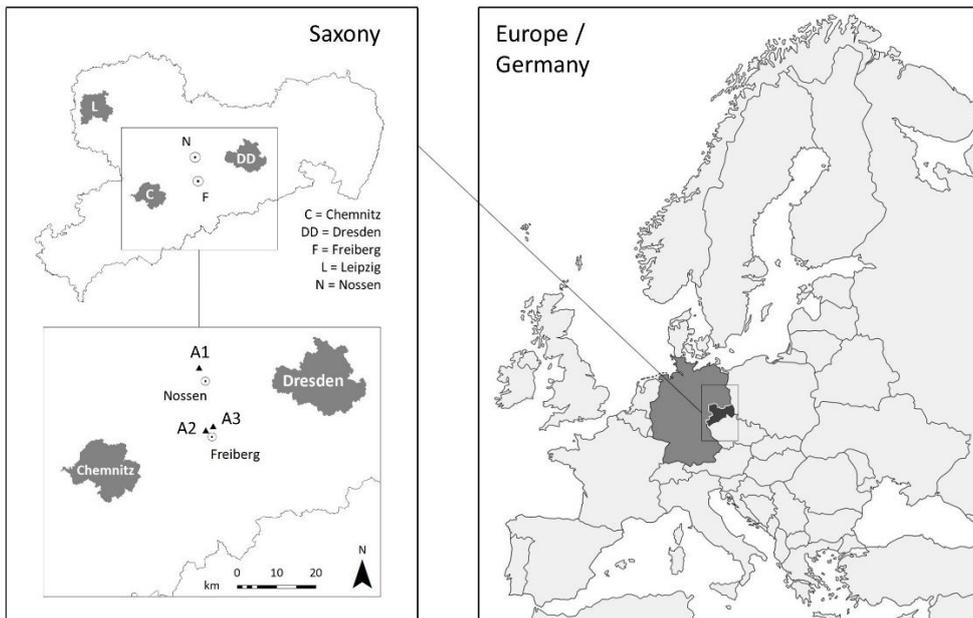


Abbildung 1: Untersuchungsstandorte A1 – A3 in der Region Mittelsachsen, Deutschland

Von A1 bis A3 nahm der Ton- und Schluffanteil ab und der Sandanteil zu. A1 enthält überwiegend Schluff (> 75 %). A2 enthält fast 60 % Schluff; A3 weist eine geringe Bodenmächtigkeit auf und wird hauptsächlich von Schluff (> 45 %) und Sand (> 40 %) dominiert. Die Bodentypen wurden von der internationalen Weltreferenzdatenbank für Bodenressourcen (WRB) abgeleitet. Alle drei Standorte wiesen einen sehr guten Makronährstoffstatus mit einer ähnlichen Makronährstoffverteilung auf. Die pH-Werte des Oberflächenbodens (CaCl₂) lagen im Bereich des Silikat Puffer (6,2 – 5,0); im Oberboden von A1 wurde der höchste pH-Wert gemessen. Außerdem zeigte das C:N-Verhältnis von A1 einen signifikanten Unterschied zu A3. A1 wies das niedrigste C:N-Verhältnis auf, was auf sehr niedrige Ct-Werte zurückzuführen sein könnte, die durch eine geringere Ausbringung organischer Düngemittel verursacht wurden.

Feldtermine

Durch das LfULG wurden insgesamt 3 Praxispartner, davon zwei konventionelle und ein ökologischer Landwirtschaftsbetrieb, herangezogen. An den drei Standorten (A1-A3) in Sachsen wurde untersucht, wie durch den Anbau nicht-legumer Zwischenfrüchte (ZF) das Keimen und Aufwachsen von Unkraut in nachfolgenden Körnerleguminosen reduziert werden kann. Die Auswahl und Randomisierung der Flächen/Exaktversuche (4-fache Wiederholung) erfolgte jeweils im dritten Quartal 2017, 2018 und 2019. Die Bestellung der Hauptfrucht, der Leguminosen Futtererbse und Ackerbohne, erfolgte in Mulch- (MS) und Direktsaat (DS) je im ersten Quartal 2018, 2019 und 2020. Weiterhin wurde zu mehreren Zeitpunkten in 2018, 2019 und 2020 mit einem kamerabasierten Sensor (H-Sensor) der Unkrautdeckungsgrad digital erfasst und simultan mit manuell erhobenen Unkrautdeckungsgraden verglichen und validiert. Zur Untersuchung der Notwendigkeit mehrfacher Striegeleinsätze

und zur Ableitung von Einsatzempfehlung für Striegel (Grenzwert für die Sensorsteuerung) wurde im Jahr 2019 ein zusätzlicher Feldversuch etabliert. Diese Grenzwerte wurden 2021 in die Verarbeitung von Sensordaten zur Stiegelsteuerung im "Upscaling Prozess" berücksichtigt. Grundlegend wurden jeweils nach Ernteabschluss der Hauptfrucht je 3 „neue“ Flächen, in nahem Umkreis, der Praxisbetriebe für die Versuchsdurchführung des kommenden Jahres ausgewählt. Grundlegend entspricht dabei, über den Untersuchungszeitraum, zum Beispiel der Standort A1 (beinhaltet Starbach 2018, Rhäsa 2019 Siebenlehn 2020) vergleichbare Bodeneigenschaften. Ein Überblick ist dem Ablaufschema in Tabelle 1 zu entnehmen

Tabelle 1: Ablaufschema relevanter Feldtermine

Ereignisse	Zeitpunkt
Auswahl der Betriebe und Etablierung Untersuchungsdesign	III Q. 2017
Bodenbearbeitung der Parzellen	III Q. 2017
Nmin Bodenbeprobung vor Aussaat der Zwischenfrucht (ZF)	III Q. 2017
Aussaat Zwischenfrucht (A1) 08.08., (A2) 04.08., (A3) 06.09.2017	II und III Q. 2017
Teilspezifische Ernte der ZF (vor Frost)	IV Q. 2017
Nmin Bodenbeprobung vor Aussaat der Leguminosen,	I Q. 2018
Aussaat Leguminosen (09-11.04.2018)	II Q. 2018
Herbizidbehandlung (Voraufbau) chemisches Versuchsglied	11.04.2018
1te Bonitur Deckungsgrad	II Q. 2018
1te DG-Sensormessung (simultan zur 1ten DG-Bonitur)	II Q. 2018
1ter Rollstriegeleinsatz	II Q. 2018
2te Bonitur Deckungsgrad (2te DG-Sensormessung simultan zur Bonitur)	II Q. 2018
2ter Rollstriegeleinsatz	II Q. 2018
Herbizidbehandlung (Nachaufbau) chemisches Versuchsglied	28.04.2018
3te Bonitur Deckungsgrad (3te DG-Sensormessung simultan zur Bonitur)	II Q. 2018
3ter Rollstriegeleinsatz	II Q. 2018
4te Bonitur Deckungsgrad (4te DG-Sensormessung simultan zur Bonitur)	18.05.2018
Ernte Futtererbse	24.07.2018
Ernte Ackerbohne	06.08.2018
Nmin Bodenbeprobung nach Ernte	III Q. 2018
Aufbau und Etablierung Untersuchungsdesign	III Q. 2018
Bodenbearbeitung der Parzellen	III Q. 2018
Nmin Bodenbeprobung vor Aussaat der ZF	III Q. 2018
Aussaat Zwischenfrucht (A1) 19.07.,(A2) 20.07., (A3) 07.09.2018	II und III Q.2018
Teilspezifische Ernte der ZF (vor Frost)	IV Q. 2018
Nmin Bodenbeprobung vor Aussaat der Leguminosen,	I Q. 2019
Aussaat Leguminosen (08-09.04.2019)	II Q. 2019
Herbizidbehandlung (Voraufbau) chemisches Versuchsglied	11.04.2019
1te Bonitur Deckungsgrad	II Q. 2019
1te DG-Sensormessung (simultan zur 1ten DG-Bonitur)	II Q. 2019
1ter Rollstriegeleinsatz	II Q. 2019
2te Bonitur Deckungsgrad (2te DG-Sensormessung simultan zur Bonitur)	II Q. 2019
2ter Rollstriegeleinsatz	II Q. 2019
3te Bonitur Deckungsgrad (3te DG-Sensormessung simultan zur Bonitur)	II Q. 2019
3ter Rollstriegeleinsatz	II Q. 2019
Abschlussmessung im Striegelversuch (insg. 7 Striegeleinsätze)	20.05.2019
Bodenbeprobung vor Aussaat ZF 2019	III Q. 2019
Aussaat Zwischenfrucht (A1) 18.07., (A2) 19.07., (A3) 03.09.2019	III Q. 2019
Ernte Futtererbse	23.07.2019

Ernte Ackerbohne	07.08.2019
Nmin Bodenbeprobung nach Ernte 2019	III Q. 2019
Nmin Bodenbeprobung vor Aussaat der Leguminosen,	I Q. 2020
Aussaat Leguminosen (27.03 und 01.04.2020)	I-II Q. 2020
Herbizidbehandlung (Voraufbau) chemisches Versuchsglied	II Q. 2020
1te Bonitur Deckungsgrad	II Q. 2020
1ter Rollstriegeleinsatz	II Q. 2020
2te Bonitur Deckungsgrad	II Q. 2020
2ter Rollstriegeleinsatz	II Q. 2020
3ter Rollstriegeleinsatz	II Q. 2020
3te Bonitur Deckungsgrad (3te DG-Sensormessung simultan zur Bonitur)	12.05.2020
Ernte Futtererbse	23.07.2020
Ernte Ackerbohne	14.08.2020
Aufbau und Etablierung Untersuchungsdesign	I Q. 2021
Bodenbearbeitung der Parzellen	I Q. 2021
Aussaat Leguminosen (29.03.2021 Nossen, 03.04.2021 Köllitsch)	I Q. 2021
1te DG-Sensormessung	I Q. 2021
1ter Rollstriegeleinsatz	I Q. 2021
2te Bonitur Deckungsgrad	II Q. 2021
2ter Rollstriegeleinsatz	II Q. 2021
3te Bonitur Deckungsgrad	II Q. 2021
3ter Rollstriegeleinsatz	II Q. 2021
4te Bonitur Deckungsgrad	II Q. 2021
4ter Rollstriegeleinsatz	II Q. 2021
5te Bonitur Deckungsgrad	II Q. 2021
5ter Rollstriegeleinsatz	II Q. 2021
Ernte Futtererbse	02.08.2021
Ernte Ackerbohne	18.08.2021

Tabelle 2: Eigenschaften des Oberbodens (0-30 cm Tiefe) an den Untersuchungsstandorten (A1 – A3) 2018

	A1	A2	A3
Bewirtschaftung	konventionell	konventionell	ökologisch
Ton [%]	16.78 ± 1.19	12.41 ± 0.76	9.61 ± 3.72
Schluff [%]	78.46 ± 0.49	58.58 ± 7.72	46.70 ± 5.58
Sand [%]	4.76 ± 1.31	29.01 ± 8.32	43.72 ± 6.45
K_{DL} [mg 100 g⁻¹]*	17.03 ± 4.65	18.57 ± 3.23	21.70 ± 3.29
P_{DL} [mg 100 g⁻¹]*	3.75 ± 0.78	5.47 ± 1.22	5.07 ± 1.14
Mg [mg 100 g⁻¹]	10.87 ± 5.35	13.57 ± 2.39	15.22 ± 0.59
pH	6.16 ± 0.12	5.11 ± 0.25	5.18 ± 0.2
Nt [%]	0.15 ± 0.02	0.16 ± 0.02	0.16 ± 0.02
Ct [%]	1.18 ± 0.21	1.43 ± 0.15	1.57 ± 0.28
C:N Verhältnis	8.03 ± 0.51	8.74 ± 0.41	9.76 ± 0.71
Bodenwassersaugspannung [pF] Anomalien (0-15 cm)	0.04	0.05	0.08

* K_{DL} und P_{DL} extrahiert nach dem Doppellaktatansatz

Die meteorologischen Daten wurden an der Beobachtungsstation Nossen, Deutschland (308 m ü.d.M.; 13°31'E, 51°05'N) aufgezeichnet. Die Mittelwerte für die Jahrestemperatur und die Niederschlagssumme wurden aus den Monatswerten berechnet (siehe Tabelle 3).

Tabelle 3: Meteorologische Daten einschließlich Niederschlag (P) und Temperatur (T) am Standort Nossen

Monat	P [mm]					T [°C]				
	1970-2000	2017	2018	2019	2020	1970-2000	2017	2018	2019	2020
Januar	43	25	39	97	20	-0.9	-2.9	4.1	0.1	3.8
Februar	38	29	5	32	99	-0.1	2.6	-2.5	3.9	5.6
März	44	60	31	53	33	3.3	7.5	1.7	6.9	4.9
April	54	34	37	30	3	7.2	7.5	13.2	9.6	9.9
Mai	65	7	27	51	57	12.3	14.5	16.2	11.2	11.3
Juni	70	77	82	54	33	15.3	17.9	18.1	21.4	17.5
Juli	71	87	33	36	38	17	19.1	20.1	19.1	18.7
August	75	68	22	36	124	16.6	19.1	21.3	20.2	20.8
September	52	32	42	44	46	13.1	13.5	15.9	14.6	15.3
Oktober	45	83	26	46	90	9	11.9	11.2	11.7	11
November	47	49	10	28	9	4.1	5.6	5.1	5.7	6.3
Dezember	57	45	80	31	25	0.8	3.1	4.1	4.5	3.6
Summe/Mittelwert	661	596	434	537	577	8.2	9.9	10.7	10.7	10.7

Die drei ausgewählten Untersuchungsstandorte (A1 – A3) weisen die gleiche Fruchtfolge und einen vergleichbaren Makronährstoffstatus auf. Die Leitunkräuter unterscheiden sich zwischen den Untersuchungsstandorten (siehe Tabelle 4).

Tabelle 4: Leitunkräuter auf den Standorten A1 – A3 2018 in [%]

Standort	Saatsystem und ZF	ohne Unkrautregulierung	mechanisch	chemisch
A1	MS ohne	Chenopodium album 100 %	Chenopodium album 100 %	kein Leitunkraut
	MS RR	Chenopodium album 100 %	Chenopodium album 75 %	kein Leitunkraut
	MS HS	Chenopodium album 100 %	Chenopodium album 75 %	kein Leitunkraut
A2	DS ohne	Hordeum vulgare 100 %	Hordeum vulgare 100 %	Matricaria chamomilla 75 %
	DS RR	Elymus repens 50 %	Hordeum vulgare 50 %	Matricaria chamomilla 75 %
	DS HS	Elymus repens 50 %	Elymus repens 50 %	Matricaria chamomilla 50 %
	MS ohne	Thlaspi arvense 50 %	Thlaspi arvense 75 %	Hordeum vulgare 50 %
	MS RR	Thlaspi arvense 75 %	Thlaspi arvense 75 %	Hordeum vulgare 50 %
	MS HS	Thlaspi arvense 75 %	Thlaspi arvense 75 %	Persicaria 50%
	MS HS	Thlaspi arvense 75 %	Thlaspi arvense 75 %	Persicaria 50%
A3	DS ohne	Matricaria chamomilla 75 %	Matricaria chamomilla 100 %	kein Leitunkraut
	DS RR	Matricaria chamomilla 100 %	Matricaria chamomilla 75 %	kein Leitunkraut
	DS HS	Matricaria chamomilla 25 %	Matricaria chamomilla 25 %	kein Leitunkraut
	MS ohne	Chenopodium album 50 %	Cirsium arvense 50 %	kein Leitunkraut
	MS RR	Matricaria chamomilla 50 %	Matricaria chamomilla 50 %	kein Leitunkraut
	MS HS	Sonchus arvensis 25 %	Sonchus arvensis 50 %	kein Leitunkraut

Versuchsaufbau und -durchführung

A1 und A2 sind Standorte mit konventionellem Anbau, während A3 ein Standort mit ökologischem Anbau ist. In dieser Studie wurden 3 Faktoren getestet: Bodenbearbeitungsmethode (MS/DS) als Faktor A, Zwischenfrucht Mischung (RR/HS/ohne) als Faktor B und Unkrautbekämpfungsmethode (ohne/chemisch/mechanisch) als Faktor C. Es wurde ein 3-Faktoren (A,B,C) Split-Plot-Design mit vier Wiederholungen gewählt (siehe Anhang). Auf den Versuchsfeldern A1 und A2 umfasste der Feldversuch insgesamt 72 Parzellen, auf der Fläche A3 48 Parzellen. Die Parzellengröße betrug 3 m x 20 m. An allen drei Versuchsstandorten wurde zu Beginn des Versuchs die gleiche Bodenbearbeitung durchgeführt. Die Stoppelbearbeitung erfolgte zweimal mit einem geflügelten Schargrubber und anschließend mit einer Scheibenegge. Anschließend wurden die Zwischenfrüchte (je Zwischenfruchtart 150 Saatgut/m²) unter Einsatz einer Einzelkornsämaschine (Saphir, LEMKEN, Deutschland) an allen Untersuchungsstandorten ausgesät. Die erste Zwischenfrucht Mischung bestand aus Ramtillkraut und Rispenhirse (RR), die zweite Mischung enthielt Rauhafer und Sommerroggen (HS). Ramtillkraut ist ursprünglich in Ostafrika beheimatet. Seine Höhe reicht von 40 bis 180 cm. Rispenhirse ist eine einjährige krautige Pflanze mit einer Höhe von 30 – 150 cm. Das ursprüngliche Verbreitungsgebiet von Rispenhirse befindet sich in Zentralasien. Rauhafer und Sommerroggen sind in Mitteleuropa beheimatete Getreidearten aus der Familie der *Poaceae*. Rauhafer erreicht eine Höhe von 60 bis 200 cm, während Sommerroggen 40 bis 120 cm lange Stängel hat. Die Zwischenfrucht Mischungen wurden aufgrund der guten Ergebnisse einer Voruntersuchung in Bezug auf Unkrautunterdrückung, C:N-Verhältnis und Biomasseentwicklung ausgewählt (KÖPKE, unveröffentlichte Daten). Nachdem die Zwischenfrucht durch den ersten Frost Ende Oktober abgestorben war, wurden zwei verschiedene Bodenbearbeitungsmethoden getestet. Bei der MS-Bearbeitung erfolgte die Saatbettbereitung für die Hauptkultur bis zu einer Bodentiefe von 6-8 cm mit Grubber und Scheibenegge. Beim MS-Ansatz wurde die Aussaat mit der gleichen Sämaschine durchgeführt, die auch für die Aussaat der Zwischenfrüchte verwendet wurde. Beim DS-Ansatz wurde die Aussaat mit einer Cross-Slot-Maschine (Cross-Slot, HALDRUP, Deutschland) durchgeführt. Bei Futtererbse, Sorte: RESPECT, betrug die Saattiefe 5 cm mit einer Saatgutmenge von 80 Samen m², und für Ackerbohne, Sorte: FUEGO, betrug die Saattiefe 7 cm mit einer Saatgutmenge von 40 Samen m². Auf jeder Parzelle wurde der Aufgang der Deckfrucht auf einer Fläche von 1 m²

manuell bewertet. An den Standorten A1 und A2 wurde Bandur© und Fusilade Max© auf Parzellen mit chemischer Unkrautbekämpfung ausgebracht. An jedem Standort wurde das Unkraut dreimal mechanisch mit einem Rollstriegel (ANNABURGER, Deutschland) reguliert.

Probenaufbereitung und Analytik

An jedem Untersuchungsstandort wurden zu drei Zeitpunkten Bodenproben entnommen. Die Proben wurden getrennt für C:N-Verhältnis, Makronährstoffe, pH-Wert (0-30 cm Tiefe) und N_{min} (0-30, 30-60, 60-90 cm Tiefe) mit einem maschinell angetriebenen Bohrkern (Gator, NIETFELD, Deutschland) entnommen. Die Bodenproben für das C:N-Verhältnis, die Makronährstoffe und den pH-Wert wurden bei 40 °C getrocknet; Wurzeln, Pflanzenreste und sichtbare Steine wurden entfernt. Die Bodenproben für die N_{min}-Bestimmung wurden sofort für die Analysen gekühlt. Anschließend wurden die getrockneten Proben < 2 mm gesiebt und pulverisiert (Pulverisette, FRITSCH, Deutschland). Der pH-Wert des Bodens wurde in einer CaCl₂-Lösung bestimmt (pH-Instrument, WTW, Deutschland). Die Bodentextur wurde nach Köhn (DIN ISO 11277) mit einer Sedimentationsmaschine (Sedimat, UGT, Deutschland) quantifiziert. Mineral-N (N_{min}) wurde mittels kontinuierlicher Durchflussanalyse (SAN, SKALAR, Niederlande) analysiert. Die Gesamtkohlenstoffkonzentration (C_t) und der Gesamtstickstoff (N_t) wurden mit einem CN-Elementaranalysator (CN, LECO, USA) quantifiziert. Der verbleibende Bodenkern wurde zur Quantifizierung der Makronährstoffe, z. B. des pflanzenverfügbaren Kaliums (K_{DL}) und Phosphors (P_{DL}), verwendet. K_{DL} wurde gemäß VDLUFA 6.2.1.2 (Doppellaktatansatz TGL 25418/08) mit einem Flammenphotometer (FP, SHERWOOD, UK) analysiert. P_{DL} wurde ebenfalls gemäß VDLUFA 6.2.1.2 mit einem Spektralphotometer (AA3, SEAL, UK) bestimmt. Darüber hinaus wurde das Bodenwasserpotenzial in 15 cm Bodentiefe mit einem Tensiometer (Tensio100, UGT, Deutschland) quantifiziert. Alle Messungen wurden vor der Aussaat der Leguminosen und nach der Ernte der Hauptkulturen durchgeführt, um kleinräumige Heterogenität in der Bodenwasserverfügbarkeit auszuschließen (Daten nicht gezeigt). Im Dezember wurden die Zwischenfrüchte geerntet und die zugehörigen Unkräuter beprobt (erste Unkrautsammlung); im Juli und August wurden die Hauptfrüchte Futtererbse und Ackerbohne in BBCH 89 geerntet; auch hier wurden die zugehörigen Unkräuter beprobt (zweite Unkrautbonitur). Die Ernte wurde auf einer Fläche von 1 m² in der Mitte jeder Parzelle (Kerndrusch) durchgeführt, um Randeffekte zu vermeiden. Die Körner von den Hauptkulturen wurden manuell von den Hülsen getrennt. Der Ertrag wird in Körnern [t/ha] auf der Grundlage der Trockenmasse (atro) angegeben. Die Schätzung des Artenreichtums und des Unkrautbesatzes (DG) erfolgt nach Braun-Blanquet unter Verwendung eines "Göttinger Zähl- und Schätzrahmens" (Kreisrahmen). Das frisch geerntete Pflanzenmaterial wurde jeweils sofort gewogen und ein Aliquot bei 60 °C und ein weiterer aliquoter Teil bei 105 °C getrocknet, um den Wassergehalt bzw. die Trockenmasseausbeute zu bestimmen. Anschließend wurde das bei 60 °C getrocknete Pflanzenmaterial mit einer Ultra-Zentrifugalmühle (ZM, Retsch, Deutschland) auf 0,25 mm gemahlen. Das gemahlene Pflanzenmaterial wurde nach DIN 38414-S7 extrahiert und die Konzentrationen der Makronährstoffe mittels induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-OES, Agilent, USA) nach DIN ISO 15510 gemessen.

Abschätzungen des Stickstoffs in den verschiedenen Pflanzenkompartimenten

N_t und C_t wurden im Unkraut, in den verschiedenen Pflanzenkompartimenten der Zwischenfrüchte, im Mulch, im Korn und im Stängel der Hauptkulturen bestimmt. Außerdem wurden sie im Boden vor der Aussaat, während der Entwicklung und nach der Ernte bestimmt. Messungen des Gesamt-N in den verschiedenen Pflanzenkompartimenten wurden durchgeführt, um die Verteilung und das N-Fixierungspotenzial in Bezug auf die Zwischenfrüchte, die verschiedenen Bodenbearbeitungsmethoden und die verschiedenen Unkrautmanagementansätze zu quantifizieren. Die N₂-Fixierung wurde nach KOLBE und KÖHLER (unveröffentlichte Daten) berechnet. Darüber hinaus wurden die Analysen der N-Trockensubstanz genutzt, um Informationen über die Kornqualität zu erhalten (z.B. wurde die Proteinmenge mit dem Faktor 6,25 berechnet).

Statistik

Alle gemessenen Variablen, bei mechanischer, chemischer Unkrautbekämpfung sowie bei der Behandlung ohne Unkrautbekämpfung, wurden auf Normalverteilung getestet und mit Hilfe der klassischen deskriptiven Statistik, Mittelwerte und Standardabweichung (SD) charakterisiert. Die Auswirkungen der Unkrautbekämpfungsbehandlung,

der Zwischenfrüchte und der Bodenbearbeitung auf den Ertrag, die Unkrautbedeckung und die Unkrautbiomasse wurden mittels einer ANOVA unter Verwendung der kleinsten signifikanten Differenz (LSD) untersucht (siehe Anhang). Für die N-Vorräte im Oberboden verglichen wir nur die Unkrautbekämpfung und die Zwischenfruchtbehandlung zu jedem Probenahmezeitpunkt. Die Fehlerbalken in den Abbildungen stellen \pm SD dar. Statistische Analysen und Anpassungen wurden mit R 2.8.0 (NLME-Paket, DEBROY und SARKAR 2010) und SIGMAPLOT12.3 (Systat Software, San Jose, USA) durchgeführt

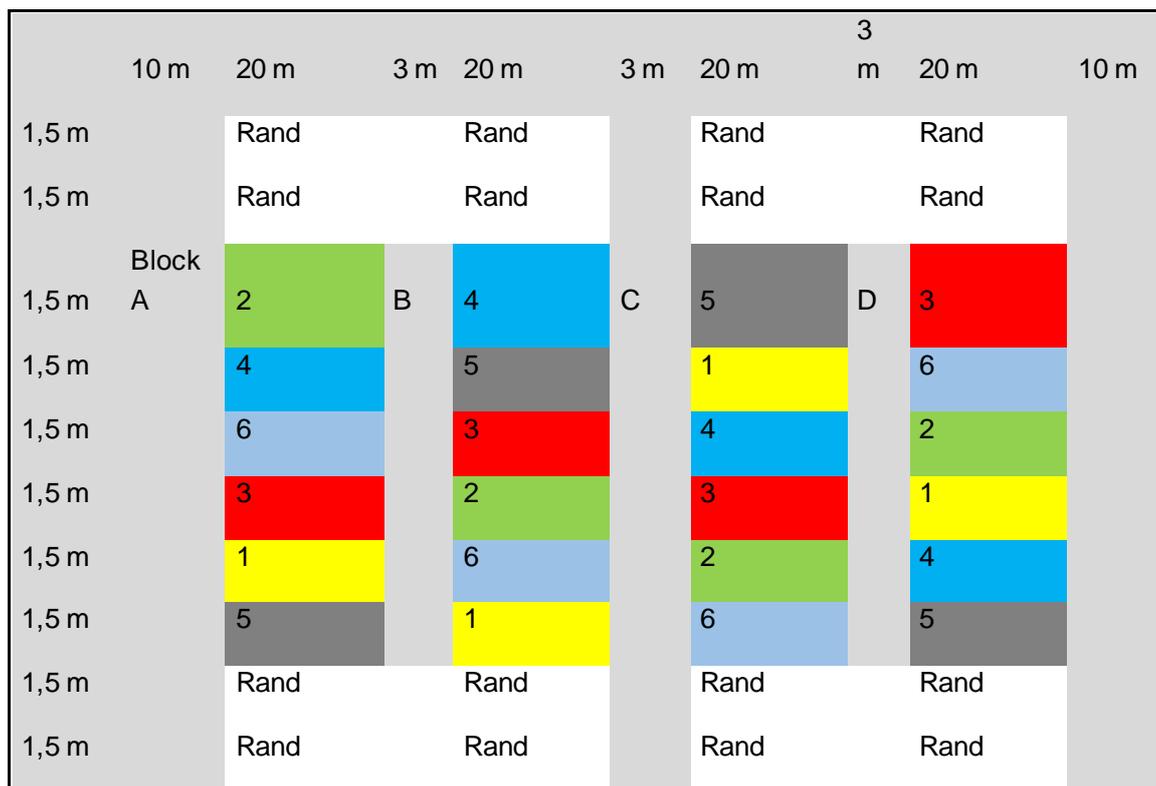
3.2 HO

Untersuchungsstandort

Der Untersuchungsstandort befindet sich in der Bodenregion der Geest und gehört zu der Bodenlandschaft der Lehmgebiete. Der Bodentyp ist ein mittlerer brauner Plaggenesch, welcher sich durch eine Unterlagerung von Braunerde auszeichnet. Die Fläche liegt auf einer Höhe von ca. 97 m ü.d.M. Für den Versuch wurde eine Fläche im Ortsteil Rulle der Gemeinde Wallenhorst genutzt. Diese liegt im Landkreis Osnabrück in Niedersachsen. In der Schlagkartei wird die Fläche unter dem Namen Rulle III geführt. Die Fläche bestand aus sandigem Lehmboden, welcher ca. 60 Bodenpunkte vorweisen konnte. In den vorherigen Jahren wurde zunächst Sommerweizen dann Hafer und zuletzt Dinkel als Hauptfrucht angebaut. Eine im Herbst ausgesäte Zwischenfrucht (Winterroggen/Sommerwicke) begrünete die Fläche über die Wintermonate bis zur Aussaat der Ackerbohne. Die Durchschnittstemperatur in der Gemeinde Wallenhorst liegt im Jahresdurchschnitt bei 8,9 °C. Hinzu kommt noch eine Niederschlagsmenge von ca. 850 mm pro Jahr.

Versuchsaufbau und -durchführung

An der Hochschule Osnabrück wurde ein vierfach wiederholter voll randomisierter Feldversuch angelegt (Versuchsbetrieb Waldhof, ökologische Bewirtschaftung), in dem die optimale Ableitung der Schadschwelle zur Unkrautregulierung im Ackerbohnenanbau getestet werden sollte. Nachstehend ist der Versuchsplan sowie die beschriebenen Versuchsvarianten aufgeführt



Variante	1	2	3	4	5	6
Mechanische Unkrautregulierung ab DG	Ohne (Kontrolle)	0,25 %	0,5 %	1,0 %	1,5 %	Volle Intensität

Abbildung 2: Versuchsplan vom Standort Rulle in 2019 mit beigefügten Versuchsvarianten

Die Vorbereitung der Versuchsanlage fand durch die Hochschule Osnabrück statt. Auf dem langjährig ökologisch genutzten Versuchsstandort in Rulle wurde als Vorfrucht ein Ölrettich (Zwischenfrucht) angebaut. Die Fläche besteht aus sandigem Lehmboden mit ca. 60 Bodenpunkten. In den vorherigen Jahren wurde zunächst Sommerweizen, dann Hafer und zuletzt Dinkel (Hauptfrucht) angebaut. Nach einer wendenden Bodenbearbeitung wurden am 15.04.19 Ackerbohnen (Sorte: TIFFANY) ausgesät. Die Parzellen wurden mit einer Breite von 1,50 m ausgedrillt. Um genügend Fläche für die Bearbeitung mit der Rollhacke zu schaffen, wurde jede Parzelle mit einer Länge von 20 m angelegt. Zwischen jedem Block wurde ein Bereich von 3 m erstellt, damit ausreichend Platz zum Absenken und Anheben der Rollhacke vorhanden war. Insgesamt wurden über 7 Wochen nach der Aussaat in einem absetzigen Verfahren Unkrautbonituren mittels H-Sensor zweimal wöchentlich durchgeführt, direkt ausgewertet und dann mit einer Rollhacke reguliert, sobald der gesetzte Unkrautdeckungsgrad erreicht wurde. In Summe wurden somit über einen Zeitraum von 6 Wochen insgesamt 13 Sensormessungen und Regulierungsmaßnahmen durchgeführt. Für die Durchführung der Hackmaßnahmen wurde von der Firma APV eine Rollhacke angefertigt und bereitgestellt (Rollhacke APV RH 150 M1). Hierbei handelte es sich um eine Sonderanfertigung für das Versuchswesen. Sie wurde im Dreipunktbau des Traktors montiert. Auf der Arbeitsbreite von 1,50 m befanden sich 12 Sternhackringe, wodurch sich eine zu bearbeitende Breite von 12,5 cm pro Hackring ergab. In Variante 1 erfolgte neben der Sensormessung keine Unkrautregulierung, da diese ausschließlich zur Kontrolle genutzt wurde, um nachvollziehen zu können, welcher bodentypische Unkrautdruck auf der Versuchsfläche vorhanden ist. Wurde in der Variante 2 der Unkrautdeckungsgrad von 0,25 % überschritten, so fand eine mechanische Bearbeitung mit der Rollhacke statt. Dasselbe erfolgte in der Variante 3 bei 0,5 %, in der Variante 4 bei 1,0 % und in der Variante 5 bei 1,5 %. Eine Hackmaßnahme erfolgte nach jeder Messung in der Variante 6, in welcher möglichst kein Unkraut wachsen sollte. Diese Variante sollte derer aus dem Vorjahr gleichgestellt werden, indem zuvor ein Herbizid ausgebracht wurde.

Technischer Umbau und Softwareentwicklung 2020

Im Versuchsjahr 2020 wurden auf dem ökologischen Versuchsbetrieb Waldhof der Hochschule Osnabrück Testparzellen auf dem Schlag Sudendey angelegt, in denen die Koppelung zwischen Sensor und Rollstriegel getestet werden konnte. In enger Absprache mit den Ingenieuren der Firma APV Technische Produkte wurde zu Jahresbeginn 2020 die vorhandene Rollhacke RH 150 M1 dahingehend umgebaut, dass diese elektrisch angesteuert werden kann und mit Hilfe einer verbauten Hydraulik ein Schnellaushub zum Ein- und Aussetzen der Rollstriegelelemente realisiert wird. In Abbildung 3 ist schematisch ein Schnellaushubmechanismus zu sehen, der bis zu einer Aushubhöhe von 320 mm automatisch die Anbauwerkzeuge im Feld aus dem Boden nehmen kann. Die Tasträder der Maschine bleiben dabei vollständig auf der Fläche. Die Ansteuerung erfolgt rein elektrisch, ohne dass der Schlepperfahrer eingreifen muss.

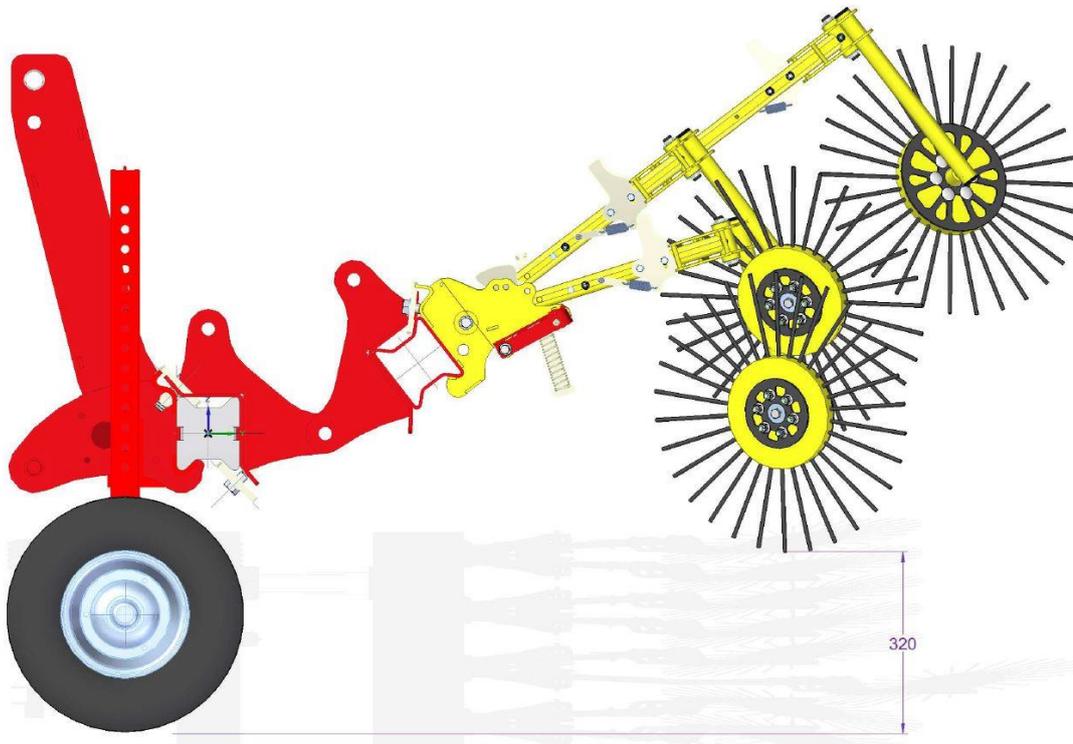


Abbildung 3: Darstellung eines Schnellaushubmechanismus

Wie in Abbildung 4 zu sehen ist, wurde im Rahmen des Umbaus ein zusätzlicher Metallrahmen mit daran angebrachten Rollstriegelementen montiert. Dieser zusätzliche Metallrahmen wird durch zwei Hydraulikstempel in einen abgesenkten bzw. ausgehobenen Arbeitszustand gebracht. Die Ansteuerung der Hydraulikstempel erfolgt mittels elektrischem Signal und Magnetventilen. Die Ein- und Aushubgeschwindigkeit ist von der Leistungsfähigkeit der Schlepperhydraulik abhängig. In der getesteten Variante auf dem Versuchsbetrieb Waldhof der Hochschule Osnabrück war die Leistungsfähigkeit der Schlepperhydraulik so hoch, dass eine Arbeitsgeschwindigkeit von 8 km/h während der Messung erreicht werden konnte. Dabei ist die entwickelte Technik in der Lage, die Empfehlung der Arbeitsgeschwindigkeit des Herstellers zu erreichen. Um das Sensorsignal in ein Steuersignal umzuwandeln, wurde speziell für diese Anforderung eine Verarbeitungssoftware entwickelt, die es ermöglicht, in Echtzeit während der Fahrt (Fahrgeschwindigkeit von ca. 6 km/h) den Schnellaushubmechanismus des Striegels anzusteuern und diesen teilflächenspezifisch ein- und aussetzen zu lassen. Um diese Verarbeitungssoftware dahingehend zu entwickeln, wurde der vorhandene H-Sensor in Betrieb genommen und das vorhandene System modifiziert. Im Folgenden konnte die Sensorkommunikation aufgezeichnet, nachgebildet und analysiert werden. Durch die Transkription der Sensordaten wurden diese extern auf spezieller IT (Raspberry Pi) nachgebildet und mittels Modulsoftware ausgewertet. Neben weiteren Modifikationen, die es ermöglichten, die Schadschwelle beispielsweise variabel einzusetzen, konnten nun auch gleitende Mittelwerte errechnet werden, damit die Ansteuerung an den Striegel auch technisch umsetzbar war. Hierfür wurden mindestens 20 Einzelmesswerte gemittelt, bevor überhaupt ein Signal erstellt werden konnten. Das war notwendig, damit der Rollstriegel nicht permanent zwischen Ein- und Aussetzen wechselte. Bei der mechanischen Beikrautregulierung kann speziell kein Bezug auf ein- oder zweikeimblättrige Beikräuter genommen werden, weil diese mit der vorhandenen Technik nicht separat reguliert werden können. Neben vieler weiterer Softwareeinstellungen konnten somit die Sensormesswerte als Ansteuerung der Aktorik umgewandelt werden. Diese gekoppelte Technik zwischen Sensor und Rollstriegel konnte erstmals im Feld als Prototyp eingesetzt werden. Im weiteren Jahresverlauf wurden bei einer Vielzahl von Feldmessungen und Tests permanent Optimierungen durchgeführt sowie Einstellparameter erweitert.

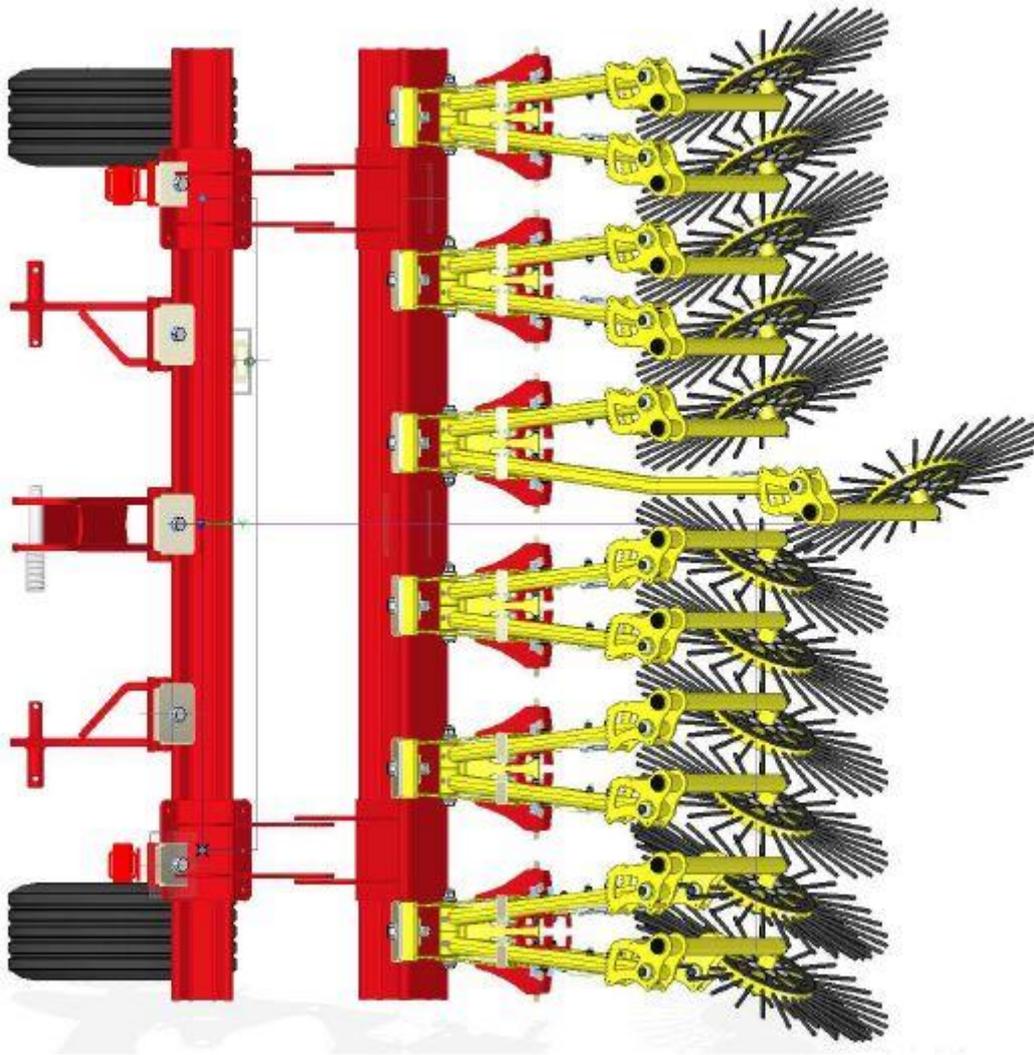


Abbildung 4: Darstellung eines doppelten Hackrahmens inkl. Drehpunkt

3.3 HTW

Untersuchungsstandort

Die Feldversuche wurden von Juli 2017 bis August 2021 an zwei diluvialen Standorten im Süden Brandenburgs durchgeführt. Hierbei fanden die Untersuchungen auf langjährig ökologisch bewirtschafteten Ackerschlägen in der Gemarkung Ogrosen sowie auf langjährig konventionell bewirtschafteten Ackerstandorten der Gemarkung Calau, Gemeinde Bolschwitz statt. Es handelten sich in der Gemarkung Ogrosen stets um Ackerschläge mit schwach-lehmigen Sanden mit Ackerzahlen zwischen ca. 18 und 22, in der Gemarkung Calau um leicht bessere Böden mit Ackerzahlen zwischen ca. 22 und 28. Kennwerte der Ackerschläge sind in Tabelle 5 zusammengestellt.

Tabelle 5: pH-Wert und Nährstoffgehalte in den Böden der Versuchsstandorte

	pH-Wert	P (mg/100 g)	K (mg/100g)	Mg (mg/100g)
Ogrosen 2017/2018	5,4	7,1	10,8	4,9
Ogrosen 2018/2019	5,8	8,9	9,6	9,8
Calau 2017/2018	5,9	8,4	15,1	9,4
Calau 20018/2019	6,8	17,7	14,4	10,9

Tabelle 6: Monatliche Durchschnittstemperatur (°C) Wetterstation Cottbus im Mittel der Jahre 1990 bis 2020 sowie in den Versuchsjahren

	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	Ø
Mittel	0,7	1,8	4,9	9,8	14,2	17,7	19,7	19,4	14,8	10,0	5,0	1,8	10,0
2017	-1,8	2,3	7,3	8,1	15,6	19,0	19,2	19,3	13,5	11,7	5,7	3,3	10,3
2018	3,6	-1,6	1,8	13,8	17,7	19,2	20,8	21,8	16,2	10,9	5,3	4,3	11,2
2019	1,0	3,8	7,1	11,0	12,5	23,1	20,2	21,0	14,9	11,3	6,5	4,5	11,4
2020	3,8	6,0	5,3	10,5	12,5	18,9	19,2	21,6	15,5	11,3	6,9	3,4	11,2
2021	0,8	0,3	4,8	6,7	12,4	20,9	20,7	17,6	16,0	10,4	5,7	1,8	9,8

Quelle www.Meteosat.de sowie www.wetterkontor.de

Tabelle 7: Monatliche Durchschnittsniederschläge Wetterstation Cottbus im Mittel der Jahre 1990 bis 2020 sowie in den Versuchsjahren

	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	Σ
Mittel	41,5	34,2	40,9	30,6	56,6	53,2	74,9	63,1	46,3	40,5	42,8	42,0	566,6
2017	27,5	40,1	43,7	23,2	23,4	56,1	128,8	64,5	43,0	76,1	42,6	52,1	621,1
2018	46,8	1,7	31,5	36,1	30,4	87,2	41,6	17,0	32,7	29,1	12,4	62,7	429,2
2019	62,1	28,5	49,4	17,1	50,0	14,7	24,4	27,5	39,5	39,8	16,8	30,4	400,2
2020	26,7	77,2	34,2	3,9	32,5	58,3	28,1	95,2	37,8	76,0	5,8	11,7	487,4
2021	66,7	32,4	30,7	33,6	77,1	40,0	52,9	93,7	13,5	12,0	52,3	33,4	538,3

Quelle www.Meteosat.de sowie www.wetterkontor.de

Versuchsaufbau und -durchführung

Die Durchführung der Versuche war geprägt durch ungewöhnlich trocken-heiße Witterungsbedingungen in den Sommern der Jahre 2018 und 2019 und eher kühl feuchte Perioden im Sommer und Herbst 2017 sowie im Frühjahr und Sommer 2021 (Tab. 6 und Tab. 7). So fielen im Jahr 2018 und 2019 mit 429 mm bzw. 400 mm nur 76% bzw. 71% des langjährigen Mittels (Tab. 7). Zugleich führten insbesondere die überdurchschnittlich hohen Temperaturen im Frühsommer 2018 und 2019 zu einer raschen Entwicklung und Reife der Erbsen, die gepaart mit geringeren Niederschlägen zu geringen Ertragsleistungen führten. Für die Etablierung und das Wachstum der Zwischenfrüchte waren insbesondere die trockenen Perioden im Juli und August 2018 und 2019 sehr nachteilig, so dass die Zwischenfrüchte nur ein geringes Wachstum entfalten konnten. Vergleichsweise hohe Niederschläge im Juli und August 2017 führten an beiden Versuchsstandorten hingegen zu einer sehr guten Etablierung und starkem Wachstum der Zwischenfrüchte. Die Zwischenfrüchte wurden nach Wintergerste-Vorfrucht, Abfuhr des Gerstenstrohs und einer Grundbodenbearbeitung mit dem Pflug (Pflugtiefe 22 bis 25 cm) und anschließendem Einsatz einer Kreiselegge (Fa. Maschino, Arbeitstiefe ca. 8 cm) in Drillsaat (Amazone mit Rollscharen RoTeC) jeweils Mitte Juli in einer randomisierten Blockanlage mit 4 Feldwiederholungen für die Direktsaat und 4 für die Mulchsaat etabliert. Die Großparzellen der Zwischenfruchtbewirtschaftung wiesen eine Fläche von 12 m mal 15 m auf. Es wurden drei verschiedene Zwischenfruchtbewirtschaftungen geprüft:

1. Gemenge aus Ramtillkraut (*Guizotia abyssinica*, Sorte: Tilly) und Rispenhirse (*Panicum miliaceum*, Sorte: Kornberger) mit einer Saatstärke von jeweils 150 keimfähigen Samen je m² (entsprechend ca. 5,6/20,0 kg je ha) RR

2. Gemenge aus Rauhafer (*Avena strigosa*, Sorte: JAPAR61) und Sommerroggen (*Secale cereale*, Sorte: KWS Arantes) mit einer Saatstärke von jeweils 150 keimfähigen Samen je m² (entsprechend ca. 27,3/63,8 kg je ha) RS

3. Unkrautbrache (UB): Begrünung durch Ausfallgetreide und Segelatflora, die nach der Bodenbearbeitung zur Zwischenfruchtaussaat sich aus Bodenvorräten entwickelte

Termine der Bodenbearbeitung und Aussaat der Zwischenfrüchte sind in Tabelle 8 zusammengestellt.

Tabelle 8: Termine der Saat-, Bewirtschaftung, Probenahme und Ernte in der Zwischenfruchtphase

	Standort Orgrosen (öko)				Standort Calau (konv.)			
	2017	2018	2019	2020	2017	2018	2019	2020
Pflug	08.07.	29.06.	06.07.	11.07.	30.06.	29.06.	06.07.	11.07.
Saatbett- bereitung & Aussaat	09.07.	30.06.	07.07.	12.07.	09.07.	30.06.	07.07.	12.07.
Nmin-Probe- nahme nach der Saat	04.08.	26.08.	09.08.	22.08.	04.08.	26.08.	09.08.	22.08.
Beerntung Pflanzen	31.10.	15.11.	05.11.	13.11.	31.10.	15.11.	05.11.	13.11.
Nmin im Herbst	02.11.	16.11.	7.11.	21.11.	02.11.	16.11.	7.11.	21.11.

Zum Ende der Vegetationszeit wurden auf 2,25 m² die Sprossmasse der Zwischenfruchtbestände einschließlich der Unkrautbiomasse von Hand geschnitten und in die Teilproben der beiden Zwischenfrüchte sowie des Unkrautes zerteilt, gewogen und bei 60° C im Trockenschrank bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. Teilproben wurden zusätzlich bis zur Gewichtskonstanz bei 105°C getrocknet, um die Restfeuchte zu erfassen. Zusätzlich wurden 10 repräsentativ ausgewählte Einzelpflanzen der Zwischenfrüchte bodennah von Hand abgeschnitten und deren gesamte Sprossmasse in die Teilkomponenten Sprossachse (Halm/Stängel) sowie Blatt und Blütenstand von Hand zerteilt und anschließend im Trockenschrank bei 60°C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. Die pflanzliche Biomasse wurde anschließend feinvermahlen und auf den Gehalt an N und C elementaranalytisch untersucht (siehe Angaben zur Analyse der Erbsensprossmasse). Zu Vegetationsende wurden zugleich in allen Großparzellen der Zwischenfrüchte der Nmin-Vorrat im Boden erneut durch entsprechende Probenahme (6 Einstiche je Großparzelle) in 0 bis 90 cm Tiefe, unterteilt in drei gleich große Tiefenabschnitte erfasst. Im März bzw. April des darauffolgenden Jahres wurde die auf der Bodenoberfläche verbliebene Mulchmasse der Zwischenfrüchte und der Unkräuter erneut auf 2,25 m² durch Entnahme von Hand erfasst und soweit möglich der N- und C-Gehalt in der erfassten Biomasse nach Trocknung bei 60° C bis zur Gewichtskonstanz analog der Verfahren in der Erbsenbiomasse erfasst. Vor Aussaat der Erbse bzw. Gerste wurde jeweils im März bzw. April der Vorrat an Nmin im Boden durch entsprechende Bodenprobenahmen erfasst.

Tabelle 9: Termine der Saat-, Bewirtschaftung, Probenahme und Ernte in der Phase des Erbsenanbaus

	Standort Orgrosen (öko)				Standort Calau (konv.)			
	2018	2019	2020	2021	2018	2019	2020	2021

Erfassung Mulchmasse Zwischenfrucht	16.03.	19.03.	10.03	16.03.	16.03	19.03.	10.03.	16.03.
Saatbettbereitung & Aussaat	30.03.	03.04	-	27.04.	30.03.	03.04.	-	28.04.
Nmin-Probenahme vor der Saat	29.03.	31.03	-	15.03.	29.03.	31.03.	-	15.03.
Ausbringung Herbizid	-	-	-	-	08.04.	09.04	-	05.05.
Unkrautregulation Teilfläche von Hand	07.04. 23.04.	03.05. 10.05.	-	19.05. 09.06.	07.04. 23.04.	03.05. 10.05.	-	19.05. 09.06.
Striegeln BBCH 10/11 BBCH 32 BBCH35	13.04. 24.04. 03.05.	15.04 23.04. 02.05.	-	08.05. 19.05. 31.05	13.04. 23.04. 23.04.	15.04 23.04. 02.05.	-	08.05. 19.05. 31.05.
Erfassung Feldaufgang Erbse	04.05.	03.05	-	09.06.	04.05.	03.05.	-	09.06.
Erfassung Anzahl Unkräuter	10.05.	03.05.	-	09.06.	11.05.	03.05.	-	09.06.
Bearntung Teilfläche Blüte Erbse	01.06.	30.05.	-	21.06.	02.06.	30.05.	-	23.06.
Bearntung Teilfläche Druchreife Erbse	27.06.	04.07.	-	19.07.	12.07.	04.07.	-	19.07.
Kernparzellendrusch	01.07.	05.07.	-	13.08.	16.07.	05.07.	-	13.08.
Nmin nach Ernte	02.07.	19.07.	-	21.08.	18.07.	19.07.	-	21.08.

Die Großparzellen mit den Zwischenfruchtbeständen wurden im Anschluss für die Aussaat in Direktsaat und Mulchsaat der Erbse und Gerste unterteilt. Die Direktsaat wurde mit einer Direktsaatparzellendrillmaschine mit Cross Slot Scharen und Reihenabständen von 16,7 cm und einer Saattiefe von ca. 5 cm durchgeführt. Die Parzellen der Mulchsaat wurden vor der Aussaat mit einem Flügelscharrgrubber und einer Bearbeitungstiefe von 12 bis 15 cm mit einem Arbeitsgang gegrubbert und anschließend zur Saatbettbereitung mit einer Kreiselegge (Fa. Maschino) ca. 8 cm tief bearbeitet. Die Aussaat der Erbse erfolgte hier mit einer Parzellendrillmaschine (Hege 80) ausgestattet mit Scheibenscharen (Typ Amazone Rollscharen RoTeC) und einem Reihenabstand von 16,7 cm in ca. 5 cm Tiefe. Die Saatstärke der Körnererbse (Sorte Respect) betrug jeweils 100 keimfähige Körner je m², die der Sommergerste (Sorte RGT Planet) 350 keimfähige Samen je m². Hierfür wurde jeweils an beiden Versuchsstandorten ökologisches erzeugtes, ungebeiztes Saatgut verwendet. Die jeweiligen Termine der Probenahmen, Aussaat und Ernte sind in Tabellen 8 und 9 verzeichnet. Die Gerste wurde jeweils mit einer Unterparzellenbreite von 1,7 m in die Großparzellen der Zwischenfruchtbewirtschaftung jeweils in Direktsaat und Mulchsaat etabliert. Ziel war es ein über die Zeit und die Bodentiefe integrierten Messwert zur verfügbaren N-Menge im Boden während der Vegetationszeit der Erbse über die in der Sprossmasse der Gerste und der Unkräuter in der Gerste akkumulierte N-Menge zu erhalten. Nach der Saat der Erbse wurden die Mittelparzellen (Faktor Zwischenfruchtbewirtschaftung und Bodenbearbeitung zur Saat) in drei Unterparzellen der Unkrautregulation unterteilt:

Unkrautfrei (ukf) bis zum Bestandesschluss

Mechanische (mec) Unkrautregulation mit zwei- bis dreimaligem Einsatz eines Rollstriegels (Typ Unihacke)

Kontrolle (Kon) ohne Unkrautregulation in den Erbsen

Auf den ökologisch bewirtschafteten Versuchsflächen des Standortes Ogrosen wurde in der Variante „ukf“ die Unkräuter von Hand bis zum Bestandesschluss soweit irgend möglich entfernt. Auf den konventionell bewirtschafteten Versuchsstandort in Calau wurde in der Versuchsvariante „ukf“ das Herbizid Bandur® (Wirkstoff

Aclonifen) mit einer Aufwandmenge in Höhe von 3 l je ha im Zeitraum von 5 Tagen nach der Aussaat der Erbse eingesetzt und mit einer Rückenspritze von Hand auf die Parzellen ausgebracht. Zur Aussaat der Erbse im Frühjahr 2020 verhängte die HTW Dresden bedingt durch die Corona-Pandemie ein generelles Verbot für Arbeiten in Feldversuchen, welches erst Mitte Mai 2020 teilweise aufgehoben wurde. Deshalb konnte die Versuchsanlagen an den Standorten Calau und Ogrosen mit Erbsen nicht ausgesät werden, so dass in diesem Bericht auch keine weiteren Ergebnisse zu Erbsen aus dem Jahr 2020 dargestellt werden können. Der Feldaufgang der Erbse wurde im Drei- bis Fünfblattstadium der Erbse in jeder Parzelle in den 8 inneren Reihen auf einer Länge von je 2 m erfasst. Die Anzahl Unkräuter wurde mit Hilfe eines Göttinger Schätzrahmen (Größe: 0,1 m²) auf 2 Teilflächen je Parzelle erfasst. Zur Quantifizierung der oberirdischen Sprossmasse der Erbse und Gerste in den Jahren 2018, 2019 und 2021 wurden die Pflanzen zum Zeitpunkt der Blüte und der Druschreife auf einer Fläche von 1,5 m × 1,35 m je Parzelle bodennah mit einer Schere geerntet. Nach der Separierung und Erfassung der Teilkomponenten Unkraut, Strohmasse bzw. Kornmasse (Waage: Denver Instrument, SI-6002, Genauigkeit ±0,01 g) der Gesamtprobe wurden alle Teilproben in einem Trockenschrank (Heraeus-Kemtron, Typ: UT 6760) bei 60°C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet und der TS-Gehalt festgestellt. Für die Ermittlung der Restfeuchte des bei 60°C getrockneten Pflanzenmaterials wurden Teilproben bei 105°C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. Der Ermittlung der Kornmasse ging ein Drusch der von den Parzellen entnommenen Hülsen der Erbse und Gerste mit einem Standdrescher (Typ Saatmeister K35) voraus. Die Strohmasse jeder Probe wurden auf eine Partikelgröße von 20 bis 30 mm zerkleinert, um eine homogene und repräsentative Teilprobe zu erhalten. Zur Feststellung der Tausendkornmasse wurden je Parzelle 4 × 100 Körner abgezählt und gewogen. Die Ermittlung der Tausendkornmasse erfolgte auf Basis der Trockenmasse der Körner bei 60°C ohne Berücksichtigung des Restfeuchtegehaltes. Für die Feststellung des Korn- und Strohertrages wurden die untersuchten Hauptfrüchte zusätzlich auf der verbliebenen Fläche der Parzellen mittels Parzellenmähdrescher (Wintersteiger Classic) geerntet, die Kornmasse durch Wiegen ermittelt und eine Teilprobe bei 105°C getrocknet. Der in den Ergebnissen dargestellte Kornertrag entspricht den Werten aus dem Handerte der Parzelle, da sie insbesondere in den von Hand unkrautfrei zu haltenden Varianten die tatsächlichen Gegebenheiten besser widerspiegeln. Die Bestimmung der Gehalte an Gesamtkohlenstoff und Gesamtstickstoff im Pflanzenmaterial erfolgte nach der DUMAS-Verbrennungsmethode mittels CNS-Analysators (Euro EA-Analyser der Firma Hekatech). Zur Blüte der Erbse wurde in den Jahren 2018 und 2019 zusätzlich die Gehalte an Phosphor und Kalium in der Sprossmasse der Erbse erfasst. Hierzu wurde die feinvermahlene Sprossmasse zunächst bei 600 °C erhitzt und oxidiert und anschließend 5 mg der Pflanzenasche in 10 ml HNO₃, 2 Vol. % gegeben. Die Proben wurden mittels ICP OES (Spectrometer Optima4300 DV, Perkin Elmer) auf den P und K Gehalt untersucht. Für die Erfassung der Nmin-Mengen im Boden wurden jeweils vor Aussaat der Zwischenfrüchte und der Erbse sowie nach der Beerntung der Zwischenfrüchte im Herbst bzw. der Erbse im Juli bzw. August je Parzelle vier gestörte Bodenproben in einer Tiefe von 0 bis 90 cm mit Hilfe eines hydraulischen angetriebenen Bodenprobenahmegerätes (Sonderanfertigung Firma Nietfeld/Peters für Schlepperanbau) bzw. von Hand mit Hilfe eines Pürckhauer Bohrstockes entnommen. Je Einschlag wurde aus dem Bohrstock Boden der Tiefenstufen 0 bis 30 cm, 30 bis 60 cm und 60 bis 90 cm entnommen und eine Mischprobe aus den vier Einzelproben je Parzelle gebildet. Die Proben wurden direkt nach der Entnahme aus dem Boden in Kühlbehältern verwahrt und nach der Probennahme bis zur Analyse bei -18 °C in einer Gefriertruhe gelagert. Die Analyse der Bodenproben auf Nitrat- und Ammoniumstickstoff erfolgte mittels Fließinjektionsanalyse photometrisch.

4 Ergebnisse

4.1 LfULG

4.1.1 2018

In den Abbildungen 5-10 werden die unterschiedlichen Standorte hinsichtlich Nmin Gehalt [kg/ha] von 0-30, 30-60, 60-90 cm dargestellt. Dabei wird differenziert zwischen „ohne Zwischenfrucht“, „mit Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse“, „mit Zwischenfrucht Sommerroggen/Rauhafer“ sowie „ohne Unkrautregulierung“, „mechanische Unkrautregulierung“ und „chemische Unkrautregulierung“. Abbildung 5 und 6 zeigen den Nmin Gehalt [kg N/ha] in Mulchsaat zu 4 Zeitpunkten in Ackerbohne und Futtererbse am Standort in Starbach (A1), die Abbildung 7 in Direktsaat zu 4 Zeitpunkten in Ackerbohne und Abbildung 4 in Mulchsaat zu 4 Zeitpunkten in Ackerbohne am Standort Kleinwaltersdorf. Die Abbildungen 9 und 10 zeigen Direktsaat und Mulchsaat zu 4 Zeitpunkten in Ackerbohne am Standort Naundorf. In keiner Parzelle wurde Stickstoff in den Unterboden (unterhalb 60 cm) verlagert. Darüber hinaus wird ersichtlich, dass alle Standorte bei der ersten Beprobung (1ter Termin) ein geringes Maß an Nmin-Heterogenität im Boden unterhalb von 30 cm aufweisen

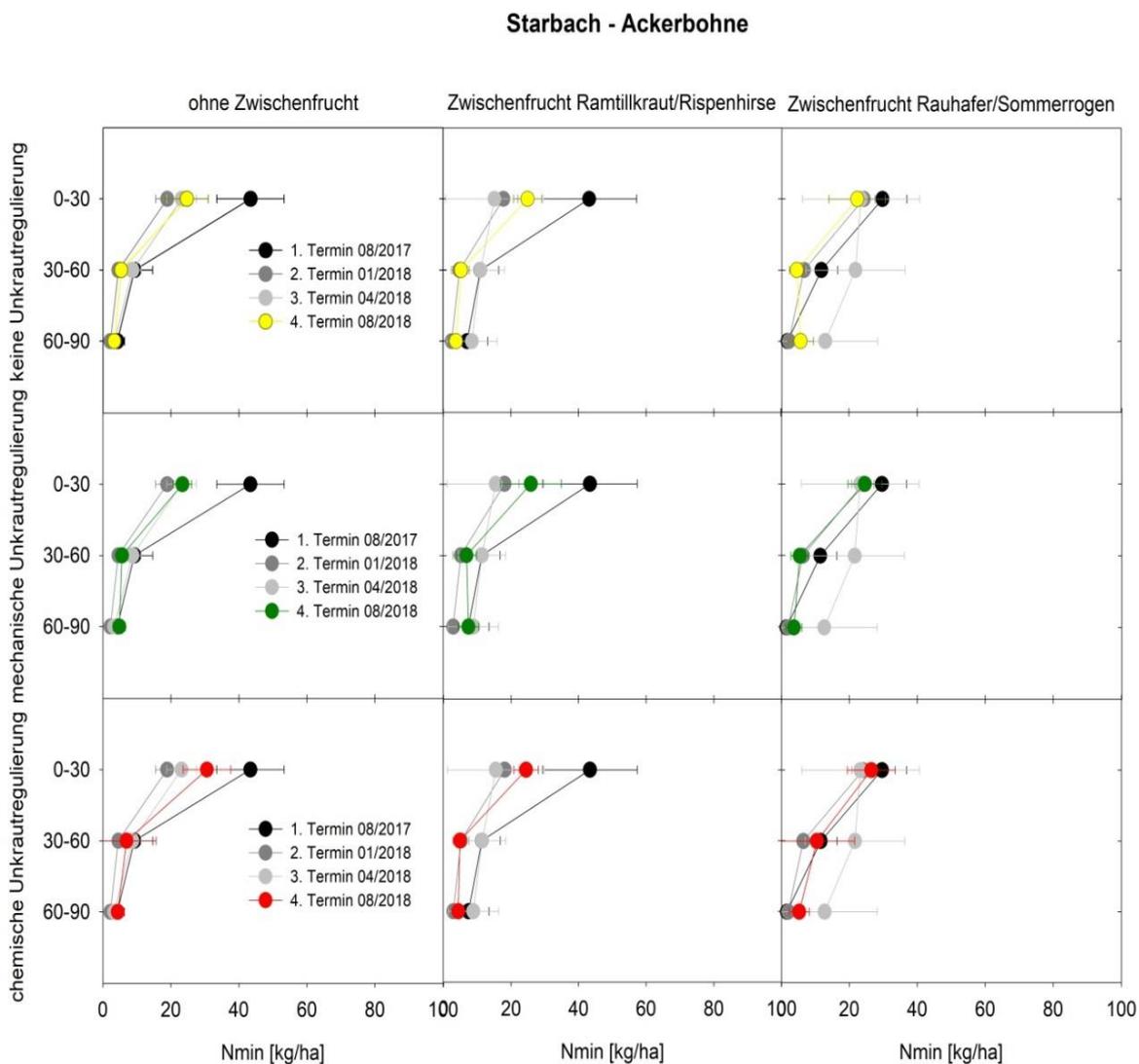


Abbildung 5: Nmin [kg N/ha] in unterschiedlichen Bodentiefen zu je 4 Zeitpunkten am Standort Starbach-Ackerbohne

Die größte Dynamik wurde im Oberboden (0-30 cm) gemessen. Als sehr variabel zeigt sich der Nmin-Ausgangswert im Oberboden auf den unterschiedlichen Standorten. Am Standort A2 wurde vor Versuchsanlage über längere Zeiträume Gülle ausgebracht, Anfang des Jahres 2017 letztmalig. Daraus resultieren relativ hohe Nmin-Ausgangswerte mit dementsprechender Heterogenität. Ein signifikanter Einfluss der Zwischenfrüchte im Vergleich ohne Zwischenfrucht auf den Nmin Gehalt konnte zu den unterschiedlichen Zeitpunkten der Beprobung nicht gezeigt werden. Dafür verantwortlich kann der mächtige Biomassezuwachs von der aufgelaufenen Ausfallgerste in der Variante „ohne Zwischenfrucht“ in den beiden konventionellen Betrieben sein.

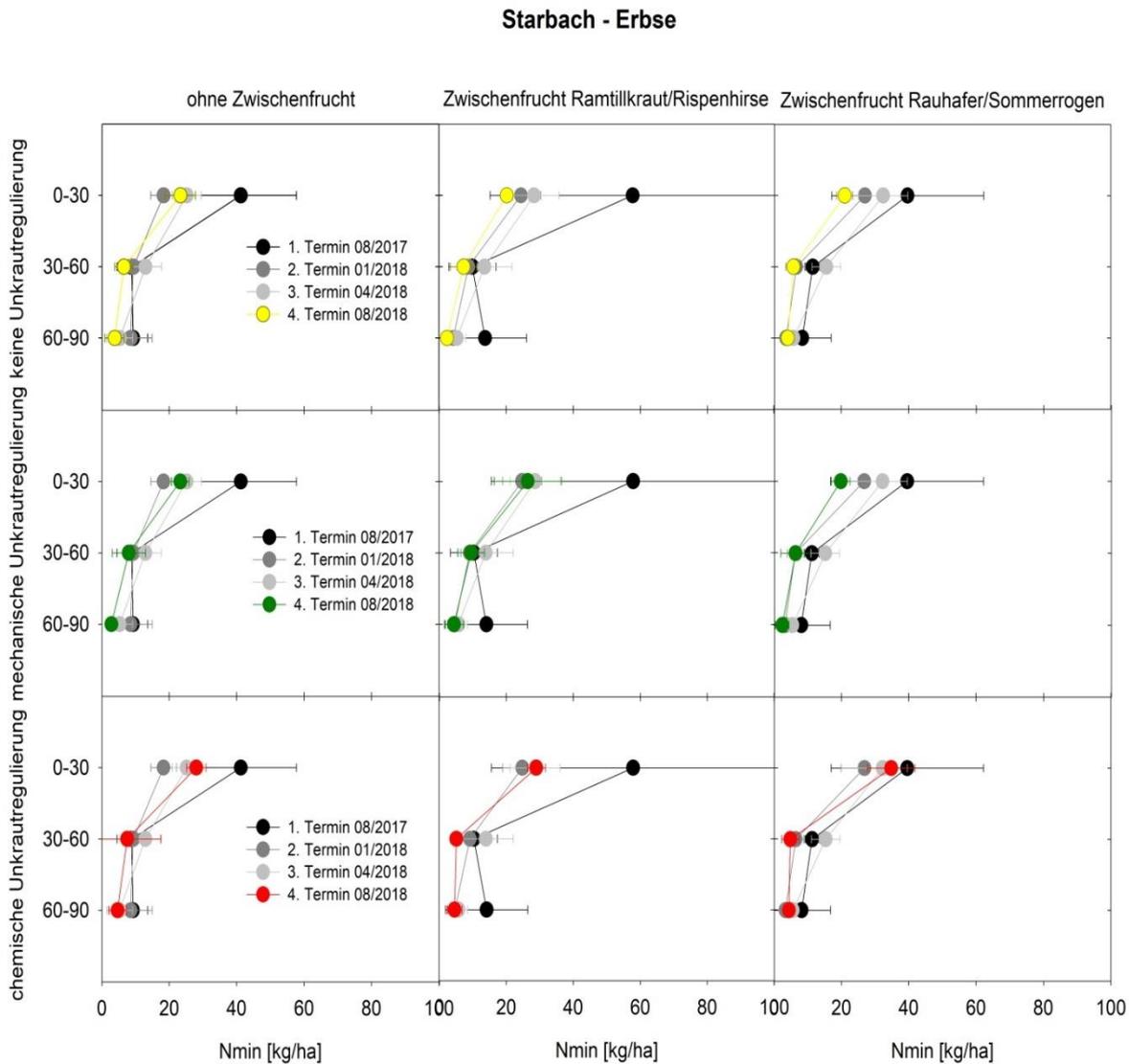


Abbildung 6: Nmin [kg N/ha] in unterschiedlichen Bodentiefen zu je 4 Zeitpunkten am Standort Starbach-Futtererbse

In Abbildung 5 und 6 wird gezeigt, dass die Szenarien ohne Zwischenfrucht und mit der Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse deutliche Unterschiede im Nmin-Gehalt im Oberboden (0-30cm) aufweisen. Das Versuchsglied ohne Unkrautregulierung zeigt die deutlichsten Effekte hinsichtlich Nmin-Reduktion. Die durchschnittliche Nmin Reduktion im Oberboden von Starbach beträgt ca. 25 kg N/ha von Termin 1 zu Termin 3, wobei keine Auswaschungsprozesse mitberücksichtigt werden konnten.

Auf dem Standort Kleinwaltersdorf (Abbildungen 7 und 8) zeigen sich ebenfalls die deutlichsten Effekte auf Nmin im Oberboden. Dabei wird der Effekt nur innerhalb der Szenarien ohne Zwischenfrucht und Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse für Mulchsaat und Direktsaat deutlich. Es konnten keine Unterschiede im Nmin zwischen Direktsaat und Mulchsaat nachgewiesen werden.

Kleinwaltersdorf - Direktsaat - Ackerbohne

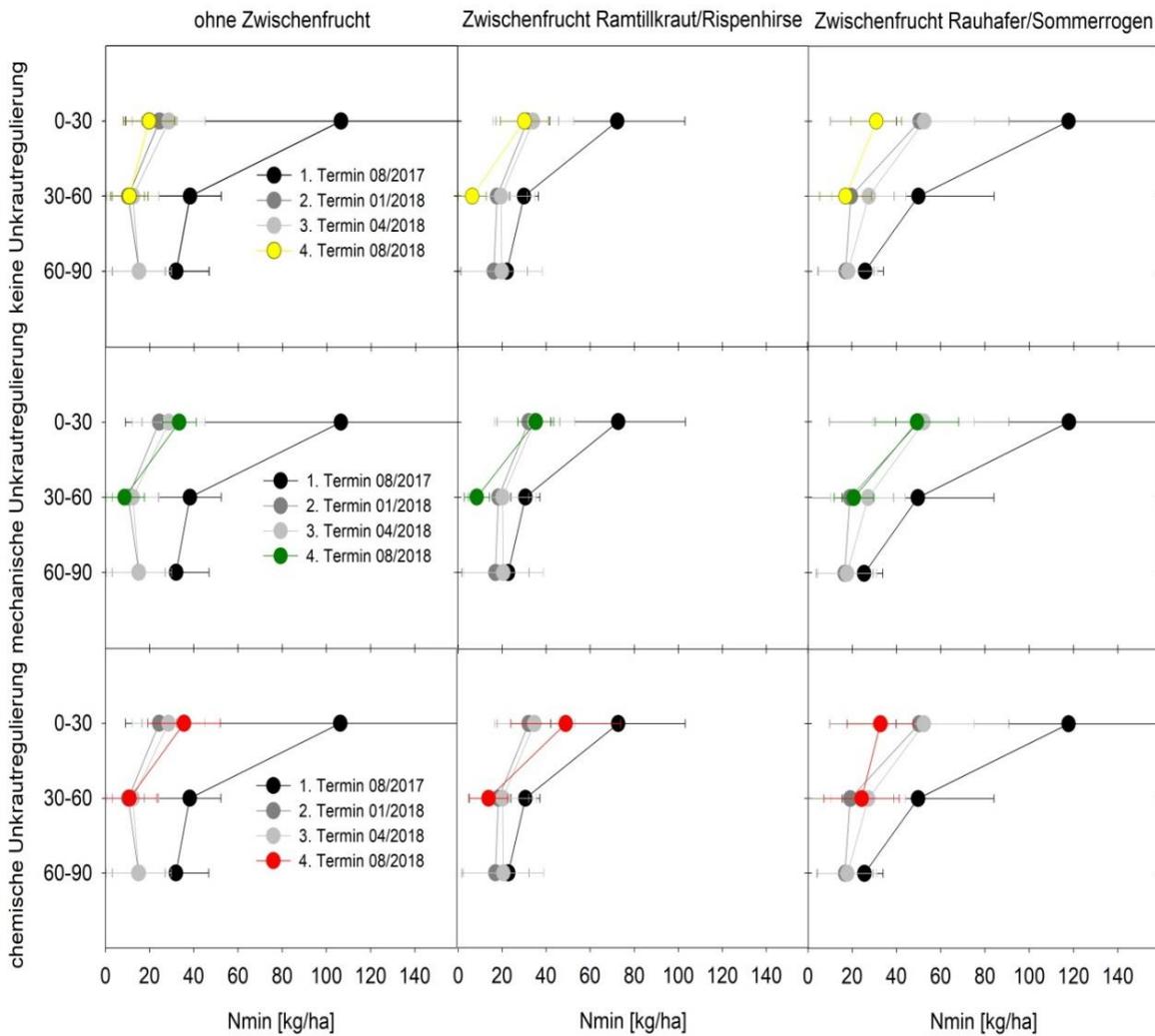


Abbildung 7: Nmin [kg N/ha] in unterschiedlichen Bodentiefen zu je 4 Zeitpunkten am Standort Kleinwaltersdorf-Ackerbohne in Direktsaat

Das Versuchsglied ohne Unkrautregulierung weist in jedem Szenario die niedrigste Stickstoffmineralisierung auf. Die durchschnittliche Nmin Reduktion im Oberboden von Termin 1 zu 3 auf A2 beträgt > 50 kg N/ha, wobei keine Auswaschungsprozesse mitberücksichtigt werden konnten. Die stärkere Nmin-Reduktion ist auf die höheren Ausgangswerte zurückzuführen. An dem ökologisch bewirtschafteten Standort Naundorf zeigt sich ein umgekehrtes Muster bezüglich der Stickstoffmineralisierung. Speziell in Abbildung 9 und Abbildung 10 wurde ein Anstieg von Nmin in der Direktsaat entlang der Beprobungstermine nachgewiesen. Dies kann auf die Fixierungsleistung der Leguminosen zurück zu führen sein, da die Nmin-Startwerte unter 15 kg N/ha lagen. VOISIN et al. (2002) zeigen, wenn der N-Gehalt in 0-40 cm Tiefe unter den Schwellenwert von < 15 kg N/ha fällt, dass eine intensive symbiotische N₂-Fixierung durch Leguminosen stattfindet.

Kleinwaltersdorf - Mulchsaat - Ackerbohne

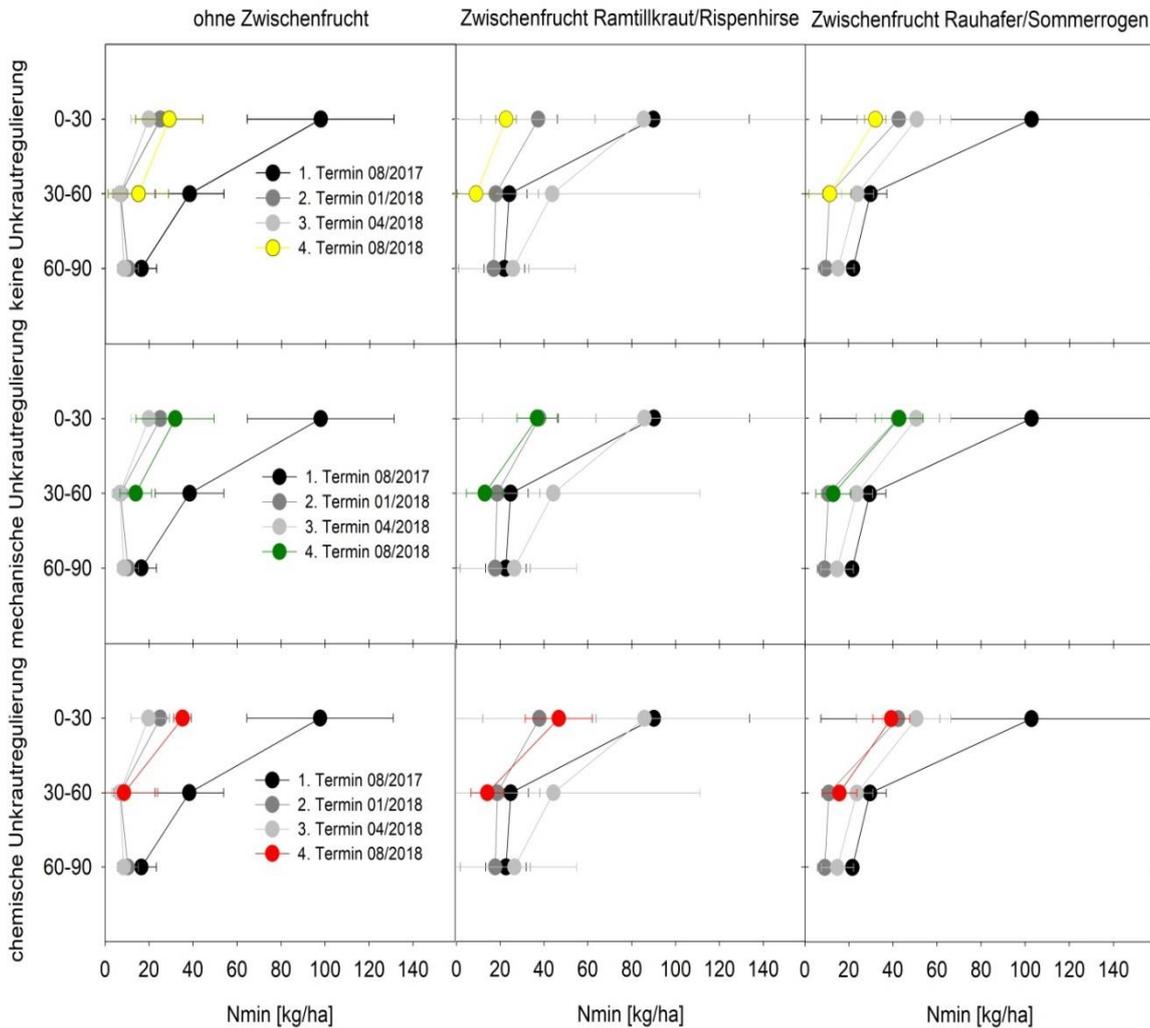


Abbildung 8: Nmin [kg N/ha] in unterschiedlichen Bodentiefen zu je 4 Zeitpunkten am Standort Kleinwaltersdorf-Ackerbohne in Mulchsaat

Weiterhin zeigt die Abbildung 11 für ausgewählte Parameter die Homogenität innerhalb der Standorte. Es gibt keine signifikanten Unterschiede innerhalb der randomisierten Parzellen hinsichtlich pH-Wert oder C:N-Verhältnis. Hingegen zeigt sich beim Vergleich der Standorte untereinander ein Maß an Varianz. Dabei variieren in den abgebildeten Parametern der pH-Wert und das C:N-Verhältnis im Boden. So weist der ökologisch bewirtschaftete Standort Naundorf aufgrund sehr geringer Stickstoffkonzentrationen im Oberboden das höchste C:N-Verhältnis auf. Die geringe Stickstoffkonzentration am Standort Naundorf resultiert aus dem Verzicht auf mineralische N-Düngung. Der höchste pH-Wert wurde am Standort A1 gemessen, dieser Löß-Standort weist die besseren Bodeneigenschaften auf.

Naundorf - Direktsaat - Ackerbohne

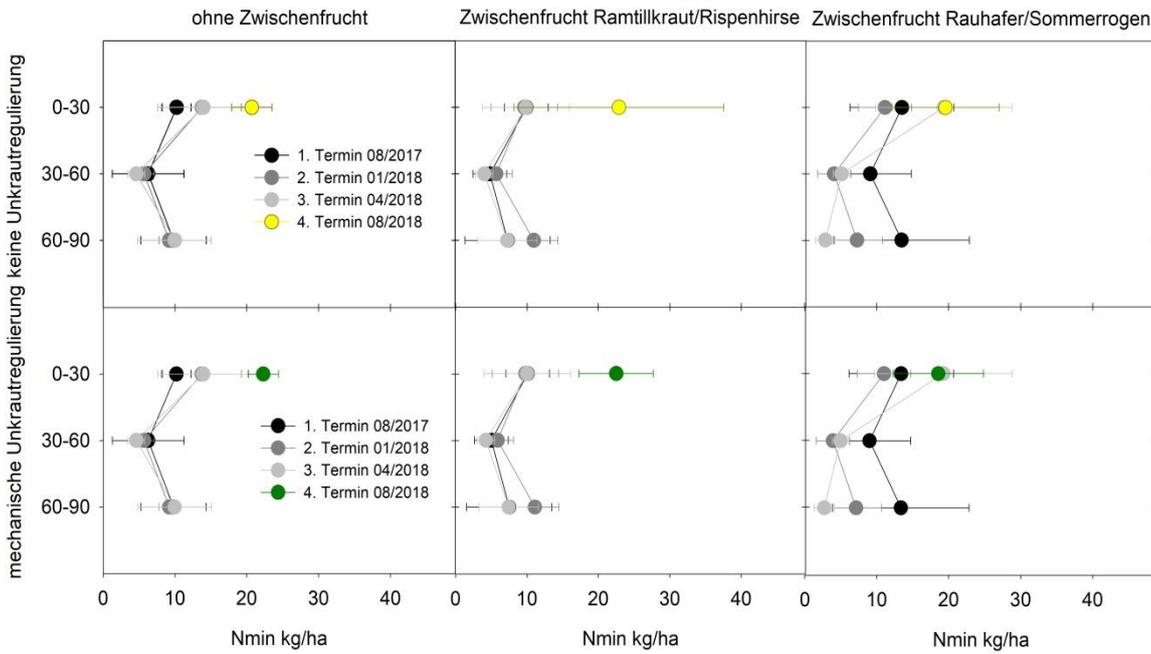


Abbildung 9: Nmin [kg N/ha] in unterschiedlichen Bodentiefen zu je 4 Zeitpunkten am Standort Naundorf-Ackerbohne (A3) in Mulchsaat; * witterungsbedingt wurde zum 4ten Termin nur der Oberboden beprobt ** das chemische Vergleichsglied entfällt auf dem ökologisch bewirtschafteten Standort

Naundorf - Mulchsaat - Ackerbohne

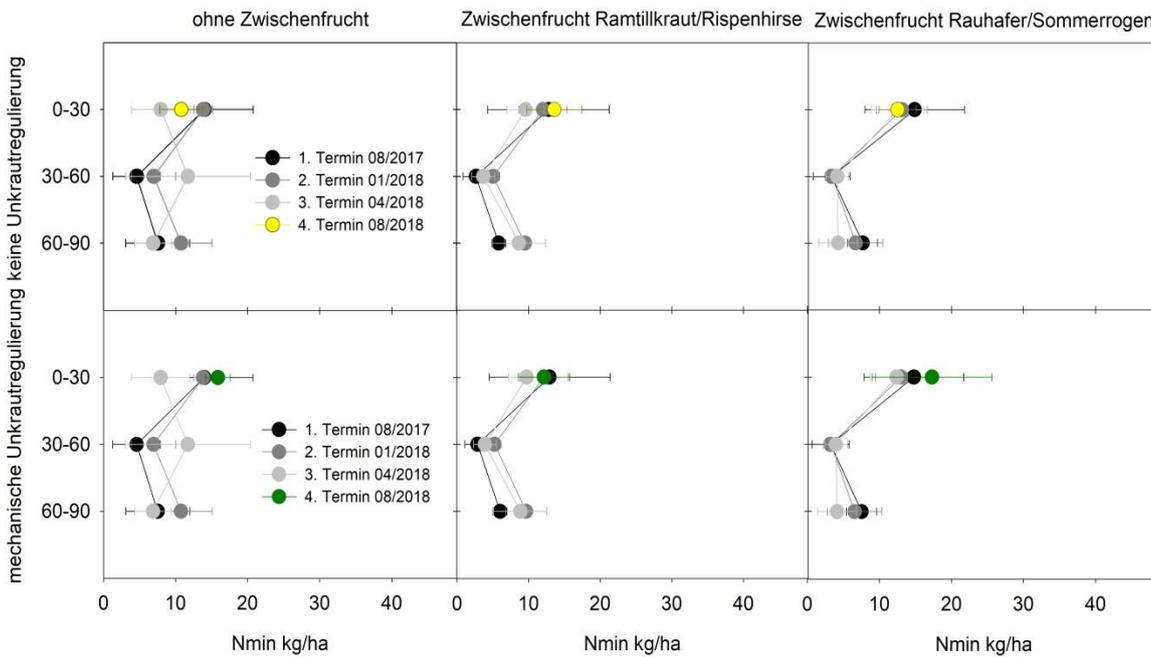


Abbildung 10: Nmin [kg N/ha] in unterschiedlichen Bodentiefen zu je 4 Zeitpunkten am Standort Naundorf-Ackerbohne (A3) in Mulchsaat; * witterungsbedingt wurde zum 4ten Termin nur der Oberboden beprobt ** das chemische Vergleichsglied entfällt auf dem ökologisch bewirtschafteten Standort

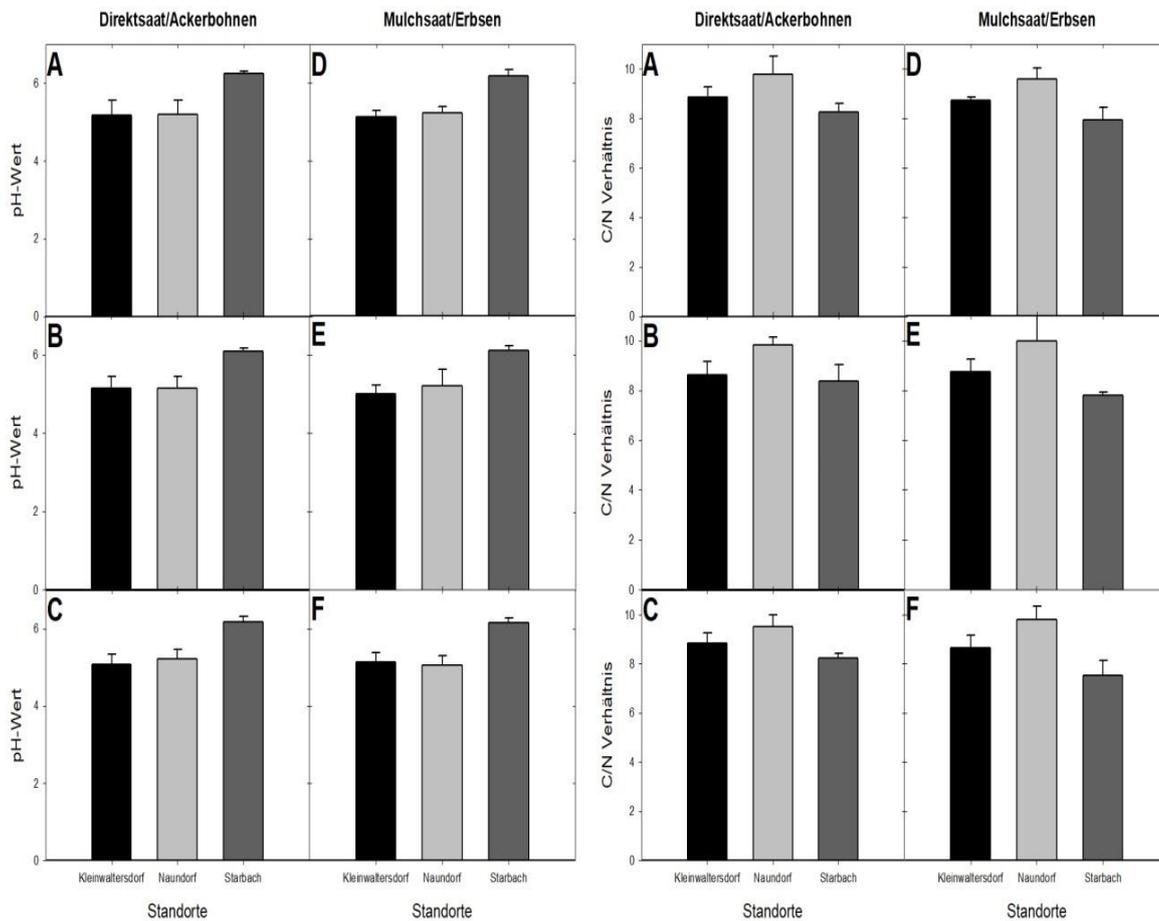


Abbildung 11: pH-Wert in 0-30 cm Bodentiefe an den Standorten 2018 sowie das C:N-Verhältnis in 0-30 cm Bodentiefe an den Standorten. A und D ohne Zwischenfrucht; B und E mit Zwischenfrucht Ramtillkraut/ Rispenhirse; C und F mit Zwischenfrucht Rauhafer/Sommerroggen

Des Weiteren wird in Abbildung 11: pH-Wert in 0-30 cm Bodentiefe an den Standorten 2018 sowie das C:N-Verhältnis in 0-30 cm Bodentiefe an den Standorten. A und D ohne Zwischenfrucht; B und E mit Zwischenfrucht Ramtillkraut/ Rispenhirse; C und F mit Zwischenfrucht Rauhafer/Sommerroggen das C:N-Verhältnis im Boden dargestellt.

Die Etablierung des Unkrautes in diesen Behandlungen lässt darauf schließen, dass genügend Stickstoff im Oberboden vorhanden ist. Die Zwischenfrucht konnte keine ausreichende unkräuterunterdrückende Wirkung erzielen. Dennoch konnte sich am Standort Starbach die ZF sehr gut entwickeln und ein C:N-Verhältnis > 25 entwickeln (Abbildung 12). Das Mulchmaterial konnte somit auch ein noch weiteres C:N-Verhältnis entwickeln und dadurch langfristig N in der Mulchbiomasse festlegen, was dem Unkraut im Frühjahr nicht zur Verfügung steht. Das begründet sich zum einen durch hohe Nmin-Ausgangswerte (siehe Abbildung 5 – 8) sowie durch einen ungünstigen Aussaatzeitpunkt der Zwischenfrucht. An den Standorten Starbach und Kleinwaltersdorf betrug der Trockenmasseertrag des Zwischenfruchtgemenges Ramtillkraut/Rispenhirse ca. 1 – 1.5 t/ha. Der Trockenmasseertrag des Zwischenfruchtgemenges Rauhafer/Sommerroggen betrug 1.9 – 3.1 t/ha in Starbach (A1) und 2.4 – 4 t/ha am Standort Kleinwaltersdorf (A2). Am ökologischen Standort Naundorf (A3) ergab sich für jedes Zwischenfruchtgemenge ein Trockenmasseertrag von etwa 0.5 t/ha.

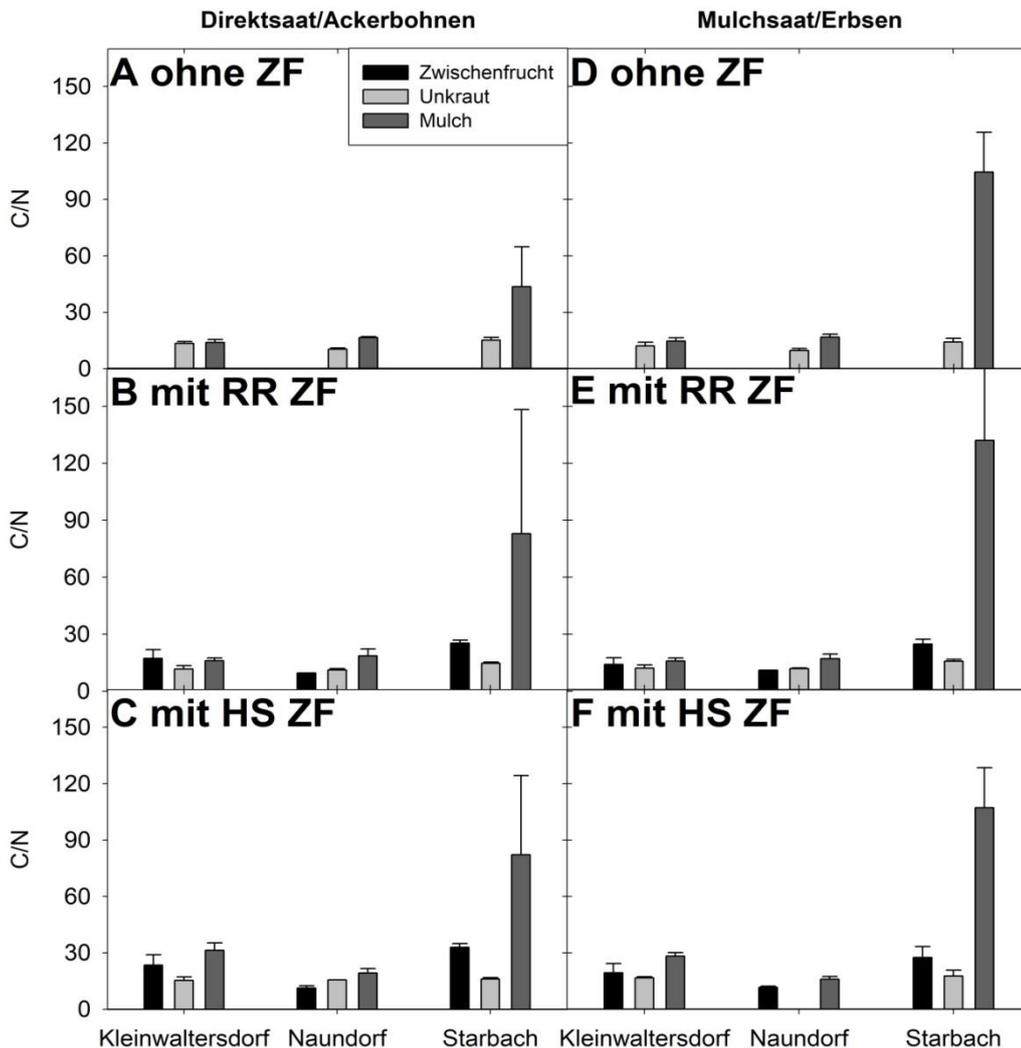


Abbildung 12: C:N-Verhältnis im Aufwuchs, differenziert nach Zwischenfrucht, Unkraut und Mulch an den Standorten. A und D ohne Zwischenfrucht; B und E mit Zwischenfrucht Ramtillkraut/ Rispenhirse; C und F mit Zwischenfrucht Sommerroggen/Rauhafer

Auf den Flächen Starbach und Kleinwalterdorf (Aussaat Juli nach Vorfrucht Wintergerste) erfolgte eine wesentlich frühere Aussaat der Zwischenfrucht als in Naundorf (Aussaat August nach Vorfrucht Wintertriticale und Strohbergung siehe Abbildung 12). Dadurch kann auch das wesentlich engere C:N-Verhältnis im somit jüngeren Aufwuchs und im Mulch in Naundorf erklärt werden. Auf den Standorten Kleinwaltersdorf und Starbach konnte die Zwischenfrucht länger wachsen und somit sowohl mehr Stickstoff binden als auch ein größeres C:N-Verhältnis aufbauen. Dennoch werden auch auf diesen Standorten deutliche Unterschiede hinsichtlich N-Fixierung aufgezeigt. Der größte Unterschied zeigt sich im C:N-Verhältnis im Mulch. In Kleinwaltersdorf zeigte die ZF HS die deutlichere Wirkung hinsichtlich Stickstoffimmobilisierung als die ZF RR. Hingegen waren auf dem Standort Starbach die größeren Effekte der Stickstoffimmobilisierung in der ZF RR zu sehen (Abbildung 12?). Weiterhin wird ersichtlich, dass am Standort Naundorf in der Mulchsaat bei Etablierung der Zwischenfrucht Sommerroggen/Rauhafer kein Unkraut zum Erntezeitpunkt vorhanden war. Alle anderen Standorte und Behandlungen weisen hingegen eine Verunkrautung auf.

Der Erbsenertrag in Starbach zeigte deutliche Unterschiede in den Behandlungen ohne Zwischenfrüchte (s. Tabelle 5). Ein Unterschied besteht in der mechanischen Unkrautregulierung und ohne Unkrautregulierung zum chemischen Unkrautbekämpfungsansatz. So wurde in der chemischen Unkrautregulierung ohne Zwischenfrüchte der höchste Kernertrag an Erbsen erzielt. Der Bohnenertrag in Starbach entwickelte sich gegenläufig. Der höchste Kernertrag von Ackerbohne in Starbach wurde mit mechanischer Unkrautbekämpfung mit ZF HS erfasst. Alleine die Verwendung von Zwischenfrüchten ergab jedoch keinen signifikanten Effekt im Trockenmasseertrag bei Futtererbse

und Ackerbohne in Starbach. Der Ertrag von Ackerbohne in Kleinwaltersdorf zeigte starke Effekte in ZF HS im Vergleich zu ZF RR und ohne ZF (siehe Tabelle 10). Es existiert kein klarer Trend zwischen den verschiedenen Unkrautregulierungsmethoden und der Verwendung von Zwischenfrüchten. So war die Bohnenernte in der chemischen Unkrautbekämpfung jeweils nicht höher als in der mechanischen Unkrautbekämpfung. Dennoch wurde in Kleinwaltersdorf der höchste Kornertag in MS und DS in der chemischen Unkrautregulierung unter Verwendung von ZF HS gemessen. Auf dem ökologischen Standort Naundorf wurden keine deutlichen Ertragseffekte erzielt. Darüber hinaus war offensichtlich kein eindeutiger Ertragstrend zwischen den verschiedenen Unkrautregulierungsmethoden sowie den verschiedenen Zwischenfruchtmischungen erkennbar.

Die Unkrauternte wurde zeitgleich mit der Haupternte durchgeführt. In Starbach bewirkte die chemische Unkrautbekämpfung die niedrigste Unkrautbiomasseproduktion, unabhängig vom Zwischenfruchtszenario, verglichen mit der mechanischen und ohne Unkrautbekämpfung (Tabelle 6). Die Unkrautbiomasse von Ackerbohne in Starbach zeigt den gleichen Trend. Ein deutlicher Unterschied wurde zwischen ohne Unkrautbekämpfung und chemischer Unkrautbekämpfung in Starbach festgestellt. Es gab jedoch keinen Effekt in der Unkrauttrockenbiomasse in Futtererbse und Ackerbohne in Starbach durch den Einsatz von Zwischenfrüchte (siehe Tabelle 11). Zusammenfassend lässt sich sagen, dass in Starbach der Unkrautbesatz in Futtererbse in jeder Behandlung höher war als bei Ackerbohne. Die Unkrautbiomasse von Ackerbohne in Kleinwaltersdorf in der Direktsaat zeigte einen deutlichen Unterschied in jeder Unkrautregulierungsmethode der ZF HS zur ZF RR und ohne ZF. In MS war nur die Wirkung der ZF RR und ohne ZF zu ZF HS innerhalb der chemischen Unkrautbekämpfung, sowie bei ZF HS in mechanischer Unkrautbekämpfung und ZF HS ohne Unkrautbekämpfung zur ZF HS bei chemischer Unkrautbekämpfung nachweisbar. In Kleinwaltersdorf war ein Trend zwischen den beiden Aussaattechniken erkennbar. DS zeigte immer eine höhere Unkrautbiomasse in jeder ZF-Variante und jeder Unkrautregulierungsmethode im Vergleich zur MS (s. Tabelle 6).

In Naundorf wurden keine Effekte in der Unkrautbiomasseproduktion gemessen und es war kein eindeutiger Trend bei der Unkrautbiomasse in den verschiedenen Aussaattechniken (MS und DS) erkennbar.

Tabelle 10: Kornertrag 2018 [t/ha atro] der Standorte hinsichtlich Unkrautregulierungsmethode, Zwischenfrucht (RR = Ramtilkraut/Rispenhirse; HS = Sommerroggen/Rauhafer) und Aussaattechnik (DS = Direktsaat; MS = Mulchsaat)

Standort	ohne ZF				RR ZF				HS ZF			
A1	MS		DS		MS		DS		MS		DS	
	Futtererbse	Ackerbohne										
ohne	4.40 ± 0.75	3.48 ± 1.21	n.a.	n.a.	4.48 ± 1.23	2.61 ± 0.58	n.a.	n.a.	4.94 ± 1.56	2.86 ± 1.40	n.a.	n.a.
mechanisch	3.70 ± 0.53	4.18 ± 1.36	n.a.	n.a.	3.90 ± 0.83	3.30 ± 0.46	n.a.	n.a.	4.06 ± 1.97	4.21 ± 0.56	n.a.	n.a.
chemisch	5.97 ± 0.77	3.15 ± 0.82	n.a.	n.a.	5.26 ± 1.21	3.19 ± 0.65	n.a.	n.a.	5.19 ± 0.48	3.48 ± 1.19	n.a.	n.a.
A2	MS		DS		MS		DS		MS		DS	
	Futtererbse	Ackerbohne										
ohne	n.a.	0.69 ± 0.21	n.a.	0.68 ± 0.21	n.a.	1.33 ± 0.58	n.a.	0.99 ± 0.30	n.a.	1.26 ± 0.60	n.a.	1.99 ± 0.21
mechanisch	n.a.	1.80 ± 0.28	n.a.	0.70 ± 0.11	n.a.	1.72 ± 0.81	n.a.	1.10 ± 0.28	n.a.	1.99 ± 0.42	n.a.	2.06 ± 0.84
chemisch	n.a.	1.73 ± 0.45	n.a.	1.30 ± 0.50	n.a.	2.26 ± 0.48	n.a.	1.59 ± 1.03	n.a.	2.59 ± 0.49	n.a.	3.20 ± 1.11
A3	MS		DS		MS		DS		MS		DS	
	Futtererbse	Ackerbohne										
ohne	n.a.	0.60 ± 0.40	n.a.	0.72 ± 0.37	n.a.	0.40 ± 0.27	n.a.	0.78 ± 0.55	n.a.	0.30 ± 0.14	n.a.	0.73 ± 0.48
mechanisch	n.a.	0.92 ± 0.79	n.a.	0.34 ± 0.34	n.a.	0.56 ± 0.29	n.a.	0.27 ± 0.23	n.a.	0.60 ± 0.51	n.a.	0.31 ± 0.16
chemisch	n.a.											

Tabelle 11: Unkrautbiomasse 2018 [t/ha atro] der Standorte hinsichtlich Unkrautregulierungsmethode, Zwischenfrucht (RR = Ramtillkraut/Rispenhirse; HS = Sommerroggen/Rauhafer) und Aussaattechnik (DS = Direktsaat; MS = Mulchsaat)

Standort	ohne ZF				RR ZF				HS ZF			
A1	MS		DS		MS		DS		MS		DS	
	Futtererbse	Ackerbohne										
ohne	1.33 ± 0.59	0.91 ± 0.62	n.a.	n.a.	1.22 ± 0.26	1.20 ± 1.17	n.a.	n.a.	1.35 ± 0.44	1.27 ± 0.80	n.a.	n.a.
mechanisch	1.00 ± 0.26	0.67 ± 0.58	n.a.	n.a.	1.41 ± 0.45	0.83 ± 0.70	n.a.	n.a.	1.29 ± 0.44	0.89 ± 0.53	n.a.	n.a.
chemisch	0.37 ± 0.34	0.18 ± 0.14	n.a.	n.a.	0.36 ± 0.18	0.17 ± 0.18	n.a.	n.a.	0.22 ± 0.09	0.16 ± 0.26	n.a.	n.a.
A2	MS		DS		MS		DS		MS		DS	
	Futtererbse	Ackerbohne										
ohne	n.a.	1.23 ± 0.42	n.a.	1.84 ± 0.25	n.a.	1.18 ± 0.42	n.a.	1.78 ± 0.42	n.a.	0.79 ± 0.11	n.a.	0.95 ± 0.37
mechanisch	n.a.	0.67 ± 0.47	n.a.	1.72 ± 0.29	n.a.	0.69 ± 0.26	n.a.	1.52 ± 0.39	n.a.	0.62 ± 0.20	n.a.	0.83 ± 0.22
chemisch	n.a.	0.77 ± 0.07	n.a.	1.05 ± 0.29	n.a.	0.52 ± 0.28	n.a.	0.98 ± 0.32	n.a.	0.22 ± 0.06	n.a.	0.42 ± 0.23
A3	MS		DS		MS		DS		MS		DS	
	Futtererbse	Ackerbohne										
ohne	n.a.	1.64 ± 0.51	n.a.	1.08 ± 0.66	n.a.	1.59 ± 0.33	n.a.	0.97 ± 0.74	n.a.	1.30 ± 0.51	n.a.	0.97 ± 0.82
mechanisch	n.a.	1.74 ± 0.43	n.a.	1.53 ± 0.17	n.a.	1.77 ± 0.13	n.a.	1.44 ± 0.69	n.a.	1.11 ± 0.20	n.a.	1.33 ± 0.55
chemisch	n.a.											

Der Unkrautdeckungsgrad wurde dreimal manuell abgeschätzt; es wird nur die letzte Bonitur herangezogen (siehe Abbildung 13). Abbildung 13 zeigt den Zusammenhang zwischen Kornertrag und (A) der manuell geernteten Unkrautbiomasse in den verschiedenen Zwischenfruchtbehandlungen und der verschiedenen Unkrautregulierungsmethodik bei der Ernte 2018 und (B) der manuell abgeschätzte Unkrautdeckungsgrad bei der letzten Bonitur am 18. Mai 2018 an jedem Standort.

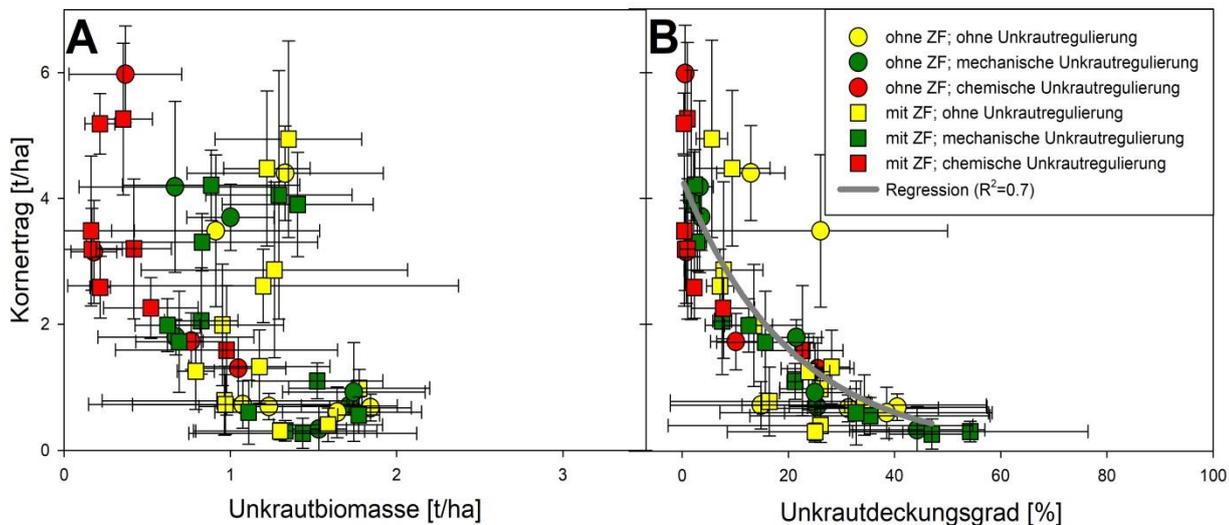


Abbildung 13: Zusammenhang zwischen dem Kornertrag [t/ha] und (A) Unkrautbiomasse bei der manuellen Ernte 2018 und (B) Unkrautdeckungsgrad [%]. Die angegebenen Daten sind Mittelwerte (n=4) für Arten (Ackerbohne und Futtererbse) in der Unkrautregulierung mit ZF und ohne ZF. Gelbe Symbole kennzeichnen die Kontrolle (gelber Kreis: ohne ZF, gelbes Quadrat: mit ZF). Grüne Symbole kennzeichnen die mechanische Unkrautbekämpfung (grüner Kreis: ohne ZF, grünes Quadrat: mit ZF). Rote Symbole kennzeichnen den Herbizideinsatz (roter Kreis: ohne ZF, rotes Quadrat: mit ZF). In (B) wurde eine exponentielle Zerfallsfunktion an die Daten angepasst ($R^2=0.7$, $P=0.001$, graue Linie, $f(x)=4.3023 \cdot \exp(-0.0488 \cdot x)$)

Abbildung 13A zeigt keinen klaren Zusammenhang zwischen Kornertrag und Unkrautbiomasse. Es ist auch kein signifikanter Unterschied zwischen chemischer und mechanischer Unkrautregulierung erkennbar. Die niedrigste Unkrautbiomasse und Unkrautdeckungsgrad sowie der höchste Kornertrag wurden jeweils in der chemischen Unkrautbekämpfung gemessen. In Abbildung 13B wurde eine Korrelation ($R^2=0.7$) zwischen Kornertrag und Unkrautabdeckung erkannt. Es besteht kein signifikanter Unterschied zwischen chemischer und mechanischer Unkrautregulierung unter Einbezug aller Standorte.

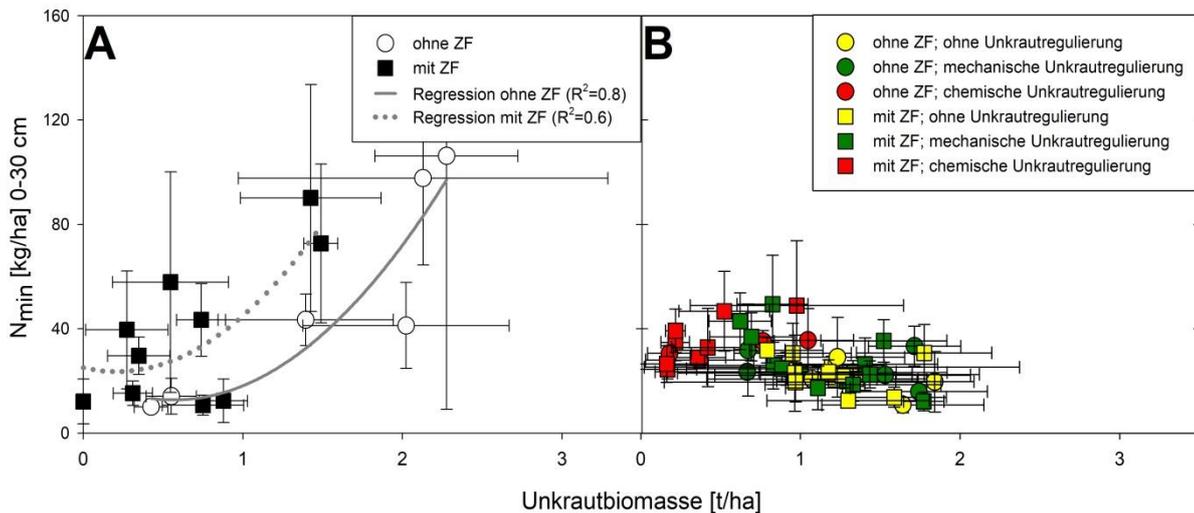


Abbildung 14: Beziehung zwischen (A) Oberboden Nmin-Veränderung im Zeitraum von 08/2017 auf 04/2018 und der atro Unkrautbiomasse zum 11/2017 und (B) Oberboden-Nmin zum 08/2017 und der atro Unkrautbiomasse zum 08/2018. Gelbe Symbole kennzeichnen die Kontrolle (gelber Kreis: ohne ZF, gelbes Quadrat: mit ZF). Grüne Symbole kennzeichnen die mechanische Unkrautbekämpfung (grüner Kreis: ohne ZF, grünes Quadrat: mit ZF). Rote Symbole kennzeichnen den Herbizideinsatz (roter Kreis: ohne ZF, rotes Quadrat: mit ZF). In (A) wurde eine einzige exponentielle Wachstumsfunktion an die Daten angepasst (graue Linien).

Abbildung 14 zeigt den Zusammenhang zwischen der Nmin-Veränderung im Oberboden (0-30cm) und der Unkrautbiomasse bei der Verwendung von ZF. Um die Nmin-Veränderung im Oberboden und der damit abnehmenden Unkrautbiomasse durch die Verwendung von ZF als Hauptindikator verantwortlich zu machen, ist die Korrelation von $R^2=0.6$ zu schwach. Grundlegend sind die Standardabweichungen relativ hoch, da der langjährig mit Gülle gedüngte konventionelle Standort Kleinwaltersdorf eine hohe N-Mineralisation aufweist. In den Varianten ohne ZF ist die Korrelation eindeutiger ($R^2=0.8$; $P=0.02$). Darüber hinaus wird in Abbildung 14B gezeigt, dass es keine Korrelation zwischen Nmin im Oberboden und Unkrautbiomasse in Abhängigkeit von der ZF gibt. Die Unkrautbekämpfungsmethode überprägt die Wirkung der ZF auf Nmin und Unkrautbiomasse. Des Weiteren kann auch die N_2 -Fixierungsleistung der angebauten Leguminosen-Hauptfrucht einen großen Einfluss haben (in der Auswertung nicht berücksichtigt).

Die Abschätzung der Unkrautdeckungsgrade erfolgte durch die manuelle Aufnahme via „Göttinger-Schätzrahmen“ (siehe Tabelle 7) für alle Behandlungen. Bei Verwendung von ZF ist lediglich ein Trend der Unkrautdeckungsgradreduktion erkennbar, statistisch aber nicht abgesichert. Einige Unterschiede wurden zwischen den Unkrautregulierungsansätzen gefunden. So weisen Flächen ohne Unkrautregulierung immer den höchsten Unkrautdeckungsgrad auf. Auffällig durch eine sehr hohe Standardabweichung (SD) war die manuelle Erhebung am 18.05. 2018 in den Varianten ohne Unkrautregulierung.

Tabelle 12: Abschätzung manueller Unkrautdeckungsgrade [%] mit Standardabweichung (SD) für Ackerbohne in Starbach

Zeitpunkt	ZF	Unkrautregulierungsmethode ohne	SD ohne	mechanisch	SD mechanisch	chemisch	SD chemisch
23.04.2018	ohne	0.35	0.17	0.25	0.10	0.25	0.06
	RR	0.28	0.05	0.18	0.05	0.23	0.10
	HS	0.15	0.06	0.13	0.10	0.13	0.10
07.05.2018	ohne	3.95	2.75	0.28	0.10	1.10	0.73
	RR	1.10	1.00	0.25	0.03	0.48	0.41
	HS	1.23	0.25	0.21	0.00	0.10	0.00
18.05.2018	ohne	26.05	23.91	3.28	2.57	0.78	0.40
	RR	7.13	2.59	2.83	1.72	0.53	0.43
	HS	7.78	7.41	2.38	0.85	0.40	0.20

Tabelle 13: Abschätzung Unkrautdeckungsgrade [%] mittels H-Sensor mit Standardabweichung (SD) für Ackerbohne alle Behandlungen in Starbach

Zeitpunkt	ZF	Unkrautregulierungsmethode ohne	SD ohne	mechanisch	SD mechanisch	chemisch	SD chemisch
23.04.2018	ohne	0.39	0.02	0.35	0.13	0.32	0.10
	RR	0.30	0.14	0.27	0.06	0.32	0.02
	HS	0.21	0.07	0.18	0.06	0.18	0.04
07.05.2018	ohne	2.30	1.15	1.04	0.23	0.81	0.32
	RR	1.93	0.34	0.76	0.20	1.07	0.75
	HS	1.40	0.45	0.61	0.19	0.45	0.17
18.05.2018	ohne	1.68	0.22	1.60	0.51	1.81	0.98
	RR	2.19	0.64	1.52	0.30	0.84	0.26
	HS	2.11	0.62	1.21	0.44	0.70	0.20

Simultan erfolgte die digitale Erfassung mittels H-Sensor (siehe Tabelle 13). Auch hier zeigt sich der Trend, dass Flächen ohne Unkrautregulierung den höchsten Unkrautdeckungsgrad aufweisen. Die Unterschiede wurden überwiegend in Varianten ohne Unkrautregulierungsansatz gefunden. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass der H-Sensor sich sehr gut eignet, den Unkrautdeckungsgrad im Anfangsentwicklungsstadium schnell und wesentlich präziser zu bestimmen, als es durch die manuelle Abschätzung möglich ist. Im späteren Entwicklungszyklus des Beikrautes kann der H-Sensor nur bedingt reliabel Ergebnisse liefern. Der in diesem Projekt eingesetzte Algorithmus der Kulturpflanzenerkennung basiert auf der Nutzpflanze Raps. Dadurch kann es zu einer fehlerhaften Ermittlung kommen, da z.B. der Deckungsgrad von DurchwuchsrapS dann dem Deckungsgrad der Kulturpflanze angerechnet wird. Darüber hinaus wurden die gewonnenen Ertragsdaten mit den korrespondierenden Unkrautdeckungsgraden genutzt, um spezifische Grenzwerte abzuleiten, welche im Folgeversuch zur Anwendung kommen sollen.

4.1.2 2019

Im Untersuchungsjahr 2019 konnte der Zwischenfruchtanbau keine signifikante Reduktion des N_{min}-Gehaltes im Vergleich zu ohne Zwischenfrucht erreichen. Dennoch zeigt sich die größte N_{min} Dynamik im Oberboden (0-30 cm). Als besonders auffällig wurden die sehr geringen N_{min} Ausgangswerte zum 1ten Termin – 07/2018 auf den Standorten Rhäsa (< 20 kg N/ha) und teilweise in Kleinwaltersdorf eingestuft (siehe Abb. 15 – 18). Hingegen zeigt der ökologisch bewirtschaftete Standort Naundorf ungewöhnlich hohe Ausgangswerte (> 50 kg/ha) (Abbildungen 19 und 20). Grundlegend wurden an diesem Standort die höchsten N_{min}-Ausgangswerte im Oberboden nachgewiesen, was vermutlich auf einen späteren Beprobungszeitraum und auf ein intensives Niederschlagsereignis zurückzuführen ist (Abbildungen 19 und 20).. Darüber hinaus konnte auf dem Standort Naundorf eine deutliche N_{min} Reduktion in der 2ten Beprobung festgestellt werden. Leider steht dieses Resultat zum Widerspruch zur Arbeitshypothese, da die ZF sich am Standort Naundorf nahezu nicht entwickelt konnte und somit zu keiner N_{min} Reduktion im Boden beitragen konnte. Somit könnte als Grund für die N_{min} Reduktion zum 2ten Termin, eine zu „zeitige“ Beprobung bzw. ein ungünstiger klimatischer Zeitpunkt, angenommen werden. Darüber hinaus kann aber auch die einsetzende Rotte der Getreidestoppeln zu einer deutlichen N_{min} Reduktion beigetragen haben. Weiterhin kann gezeigt werden, dass es zu leichten N-Verlagerungsprozesse in den Unterboden im Frühjahr kommt (2ter Termin – 03/2019).

Die Verlagerung kann nur bedingt begründet werden. Eine Annahme ist, dass sich die ZF sehr schlecht entwickelt hat und somit kaum N binden konnte und sich dieses in den Unterboden verlagert hat. Eine weitere Annahme begründet sich aus den „sehr trockenen“ Bodenverhältnissen, wodurch eine N-Mineralisierung unterbunden wurde und erst im Frühjahr durch etwas Wasser im System initial beginnen konnte. Möglich ist auch, dass nach längeren Trockenphasen die N-Mineralisation besonders stark einsetzt, so bald ausreichend Bodenwasser verfügbar ist. Auffällig ist, dass die N-Verlagerung in den Unterboden (60-90 cm) unter der ZF HS teilweise abgeschwächt ist. Dies könnte damit begründet werden, dass sich der Aufwuchs der ZF HS sich auch wie im Vorgänger-Jahr 2018 am besten etablierte und somit den Verlagerungsprozess trotz geringer Biomassebildung durch N-Aufnahme und Reduktion der Sickerwasserbildung beeinflusst (Abbildungen 19 und 20).

Rhäsa - Bohne

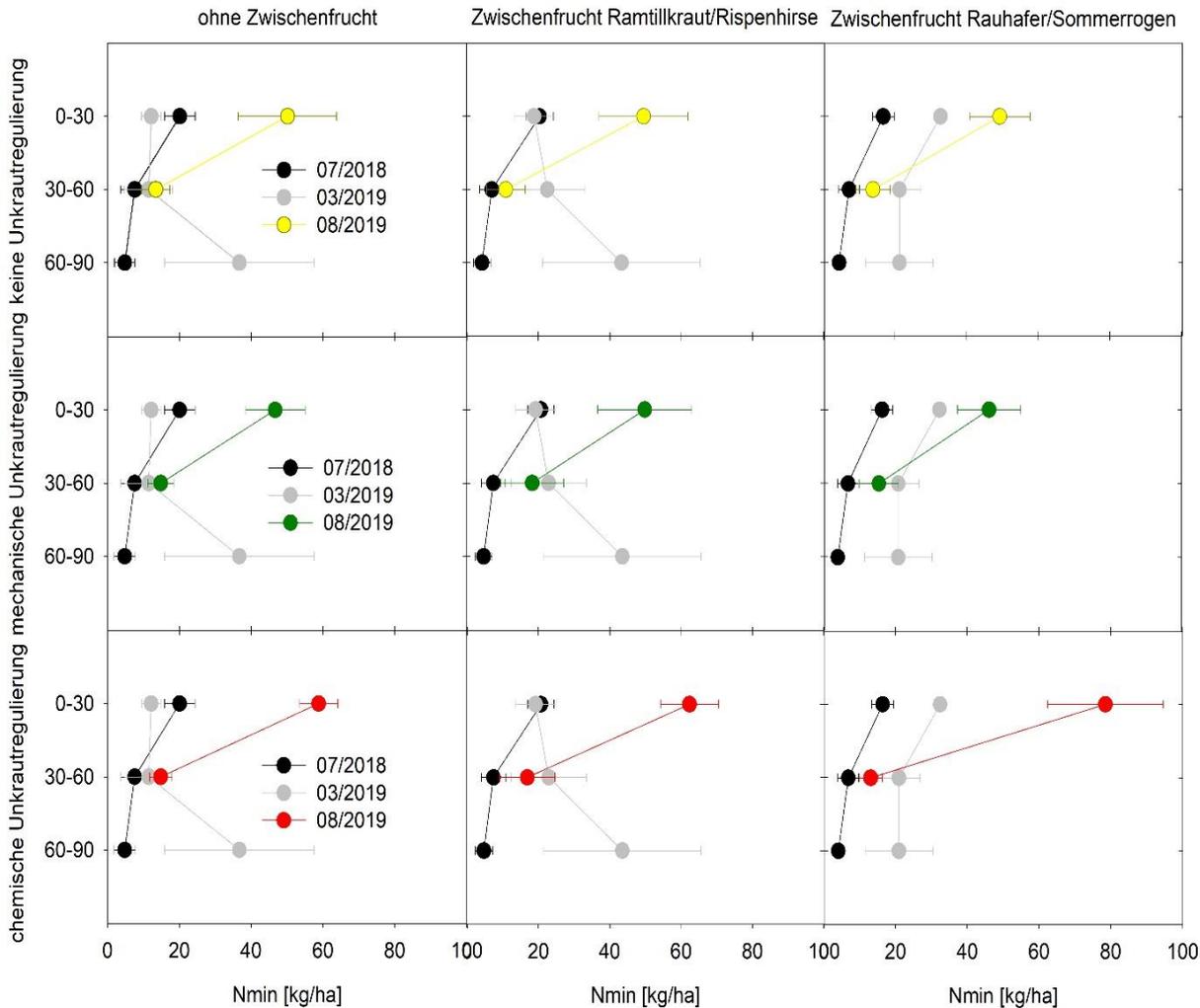


Abbildung 15: Nmin [kg N/ha] in unterschiedlichen Bodentiefen zu je 3 Zeitpunkten am Standort Starbach-Ackerbohne

Aufgrund der Trockenheit konnte 2019 leider nicht jeder Standort in allen Tiefenstufen hinsichtlich der Nmin Abschlusserhebung beprobt werden. Darüber hinaus wird ersichtlich, dass alle Standorte bei der ersten Beprobung (1ter Termin) ein geringes Maß an Nmin-Heterogenität im Unterboden (unterhalb 30 cm) aufweisen. Auffällig jedoch scheinen die erhöhten Nmin Werte im Versuchsglied „chemische Unkrautregulierung“ in der Abschlussbeprobung (08/2019). Hier könnte vielleicht der N-Entzug durch Unkräuter in der nicht chemischen den Effekt begünstigen.

Die Abbildung 21 zeigt für ausgewählte Parameter die Homogenität innerhalb der Standorte. Es gibt keine signifikanten Unterschiede innerhalb der randomisierten Parzellen hinsichtlich pH-Wert oder C:N-Verhältnis. Den höchsten pH-Wert 2019, mit durchschnittlich 6.5, weist der Standort Rhäsa auf. Der niedrigste pH-Wert 2019 wurde in Kleinwaltersdorf gemessen (5.1) (Abbildung 21). Auch wie in 2018 weist der Boden des ökologischen Standortes Naundorf mit Abstand das höchste C:N-Verhältnis in 2019 auf (siehe Abbildung 21). Des Weiteren wird in Abbildung 21 deutlich, dass der Standort Naundorf am heterogensten ist, dennoch wurden hier keine signifikanten Unterschiede in den einzelnen Behandlungen (A – F) festgestellt.

Rhäsa - Erbse

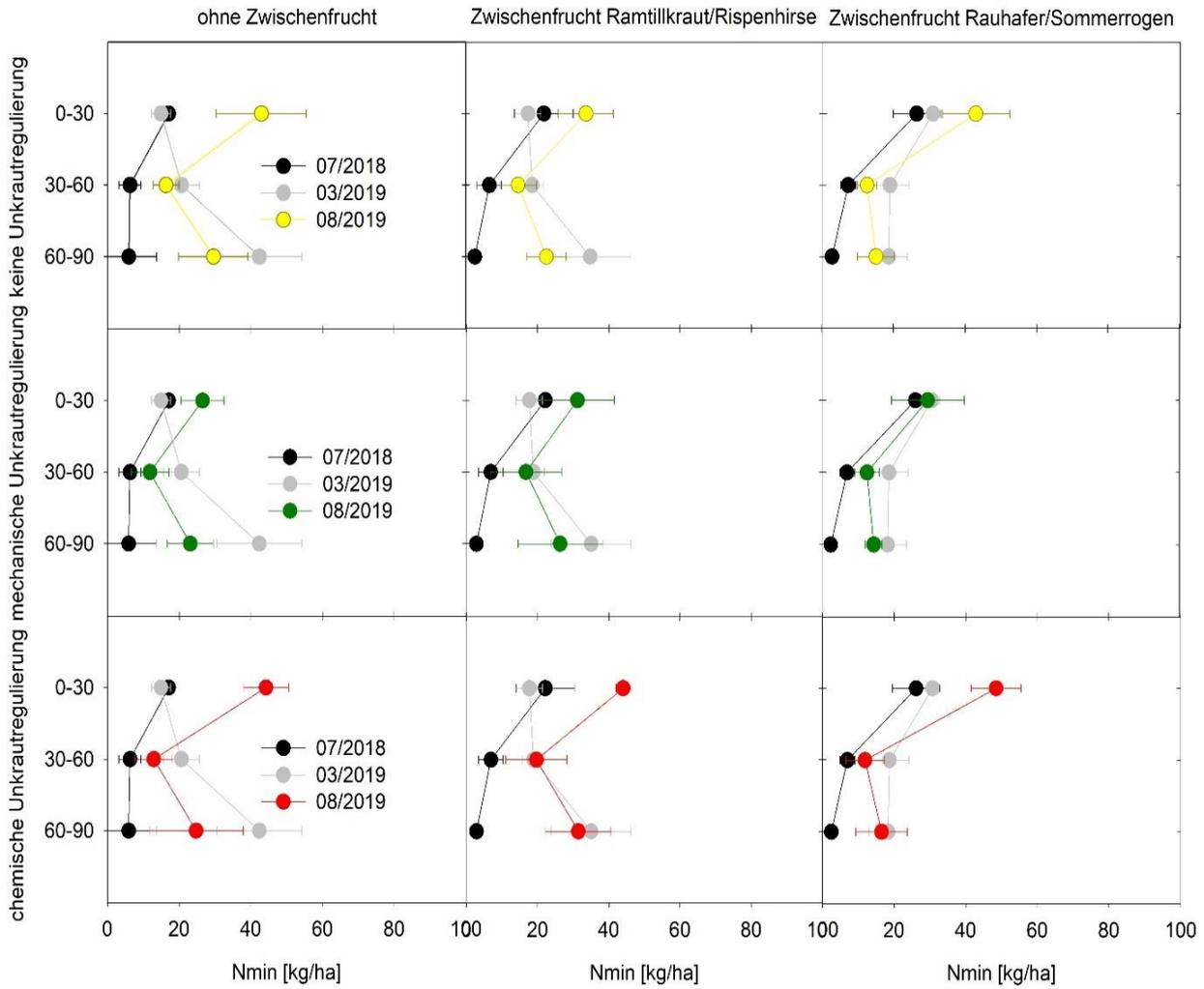


Abbildung 16: Nmin [kg N/ha] in unterschiedlichen Bodentiefen zu je 3 Zeitpunkten am Standort Starbach-Futtererbse

Kleinwaltersdorf - Direktsaat - Ackerbohne

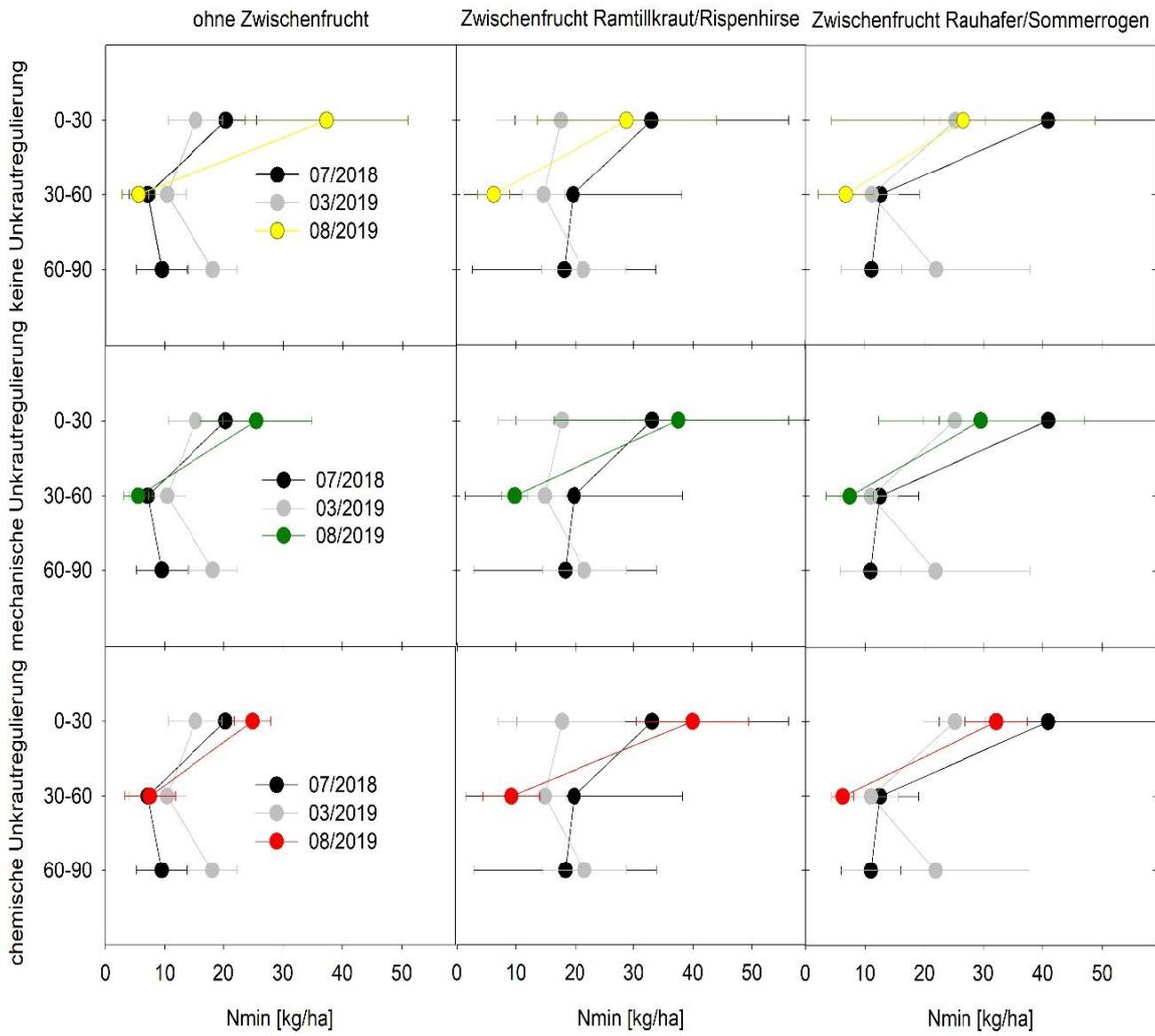


Abbildung 17: Nmin [kg N/ha] in unterschiedlichen Bodentiefen zu je 3 Zeitpunkten am Standort Kleinwaltersdorf-Ackerbohne in Direktsaat

Kleinwaltersdorf - Mulchsaat - Ackerbohne

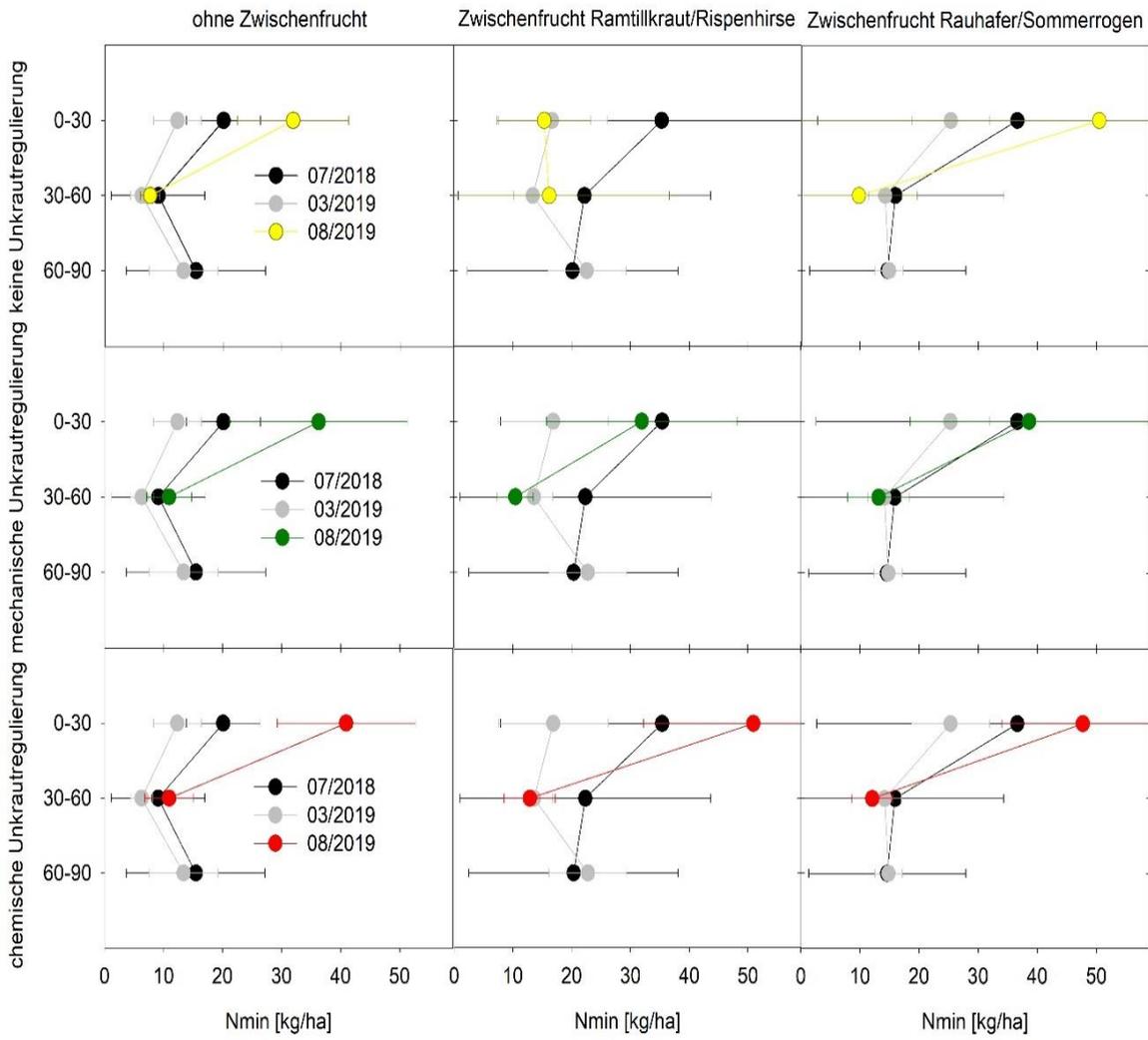


Abbildung 18: Nmin [kg N/ha] in unterschiedlichen Bodentiefen zu je 3 Zeitpunkten am Standort Kleinwaltersdorf-Ackerbohne in Mulchsaat

Naundorf - Direktsaat - Ackerbohne

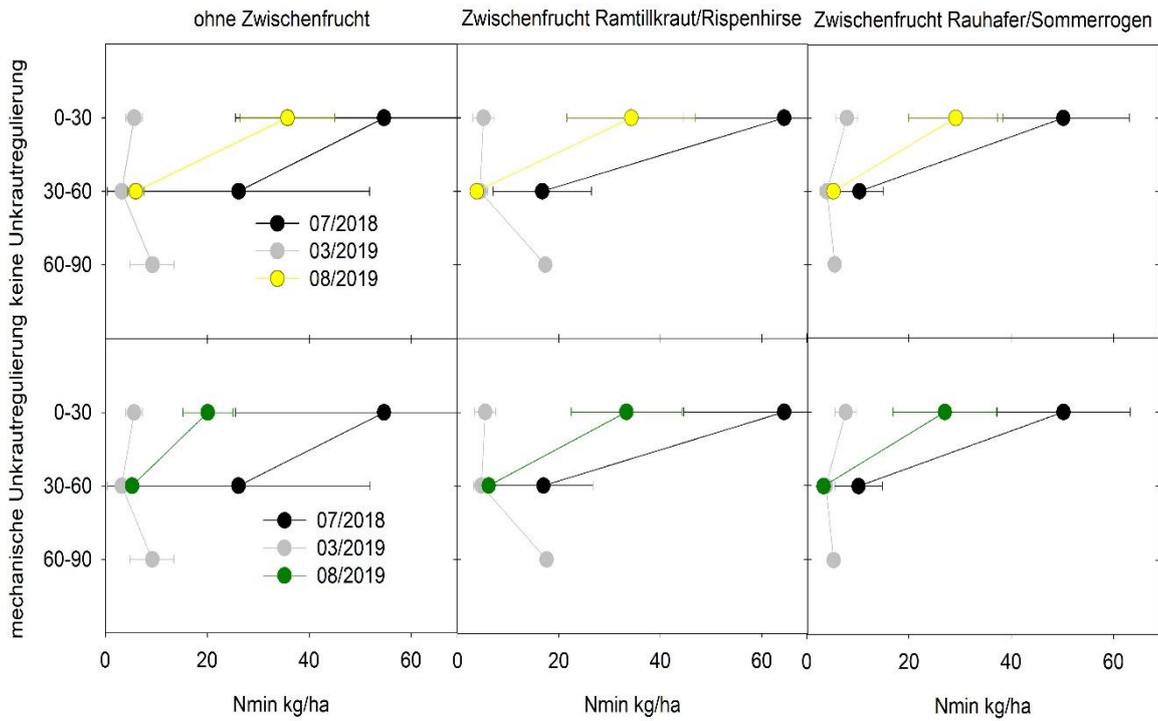


Abbildung 19: Nmin [kg N/ha] in unterschiedlichen Bodentiefen zu je 3 Zeitpunkten am Standort Naundorf-Ackerbohne in Direktsaat

Naundorf - Mulchsaat - Ackerbohne

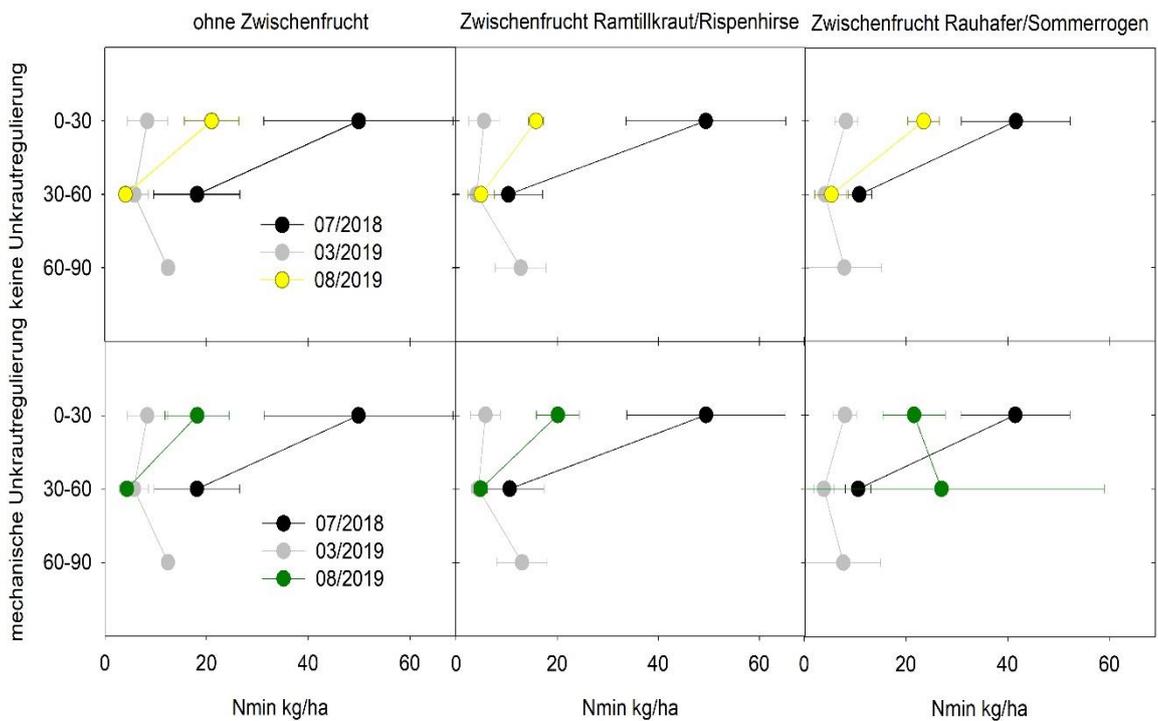


Abbildung 20: Nmin [kg N/ha] in unterschiedlichen Bodentiefen zu je 3 Zeitpunkten am Standort Naundorf-Ackerbohne in Mulchsaat

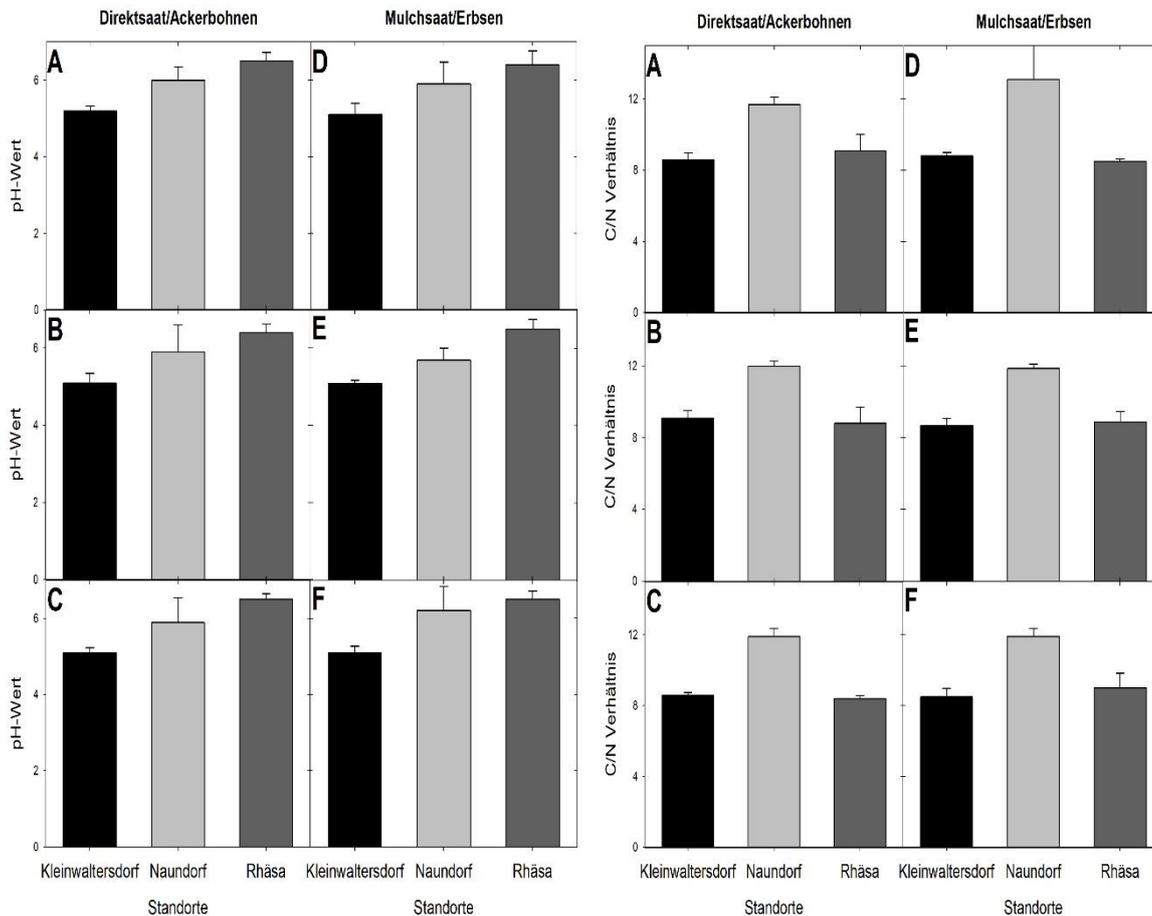


Abbildung 21: pH-Wert in 0-30 cm Bodentiefen an den Standorten 2018 sowie das C:N-Verhältnis in 0-30 cm Bodentiefen an den Standorten. A und D ohne Zwischenfrucht; B und E mit Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse; C und F mit Zwischenfrucht Sommerroggen/Rauhafer

In Abbildung 22 wird ersichtlich, dass alle Standorte und Behandlungen eine Verunkrautung aufweisen. Die Etablierung des Unkrautes in diesen Behandlungen lässt darauf schließen, dass genügend Stickstoff im Oberboden vorhanden ist. Durch die Zwischenfrucht konnte nicht per se eine ausreichende unkrautunterdrückende Wirkung erzielt werden. Das begründet sich überwiegend durch einen ungünstigen klimatischen Aussaatzeitpunkt/Verlauf (ausgedehnte Trockenphasen) der Zwischenfrucht. Unterstützt wird die Aussage nicht nur durch das niedrige C:N-Verhältnis (< 25) der Zwischenfrucht, sondern auch durch das im Mulchmaterial. Beides zeigt, dass die Zwischenfrüchte in relativ jungen Entwicklungsstadien abgefroren sind. Der Standort Naundorf weist in der Zwischenfrucht das niedrigste C:N-Verhältnis auf, da dort die ZF zuletzt ausgesät wurde (Abbildung 22).

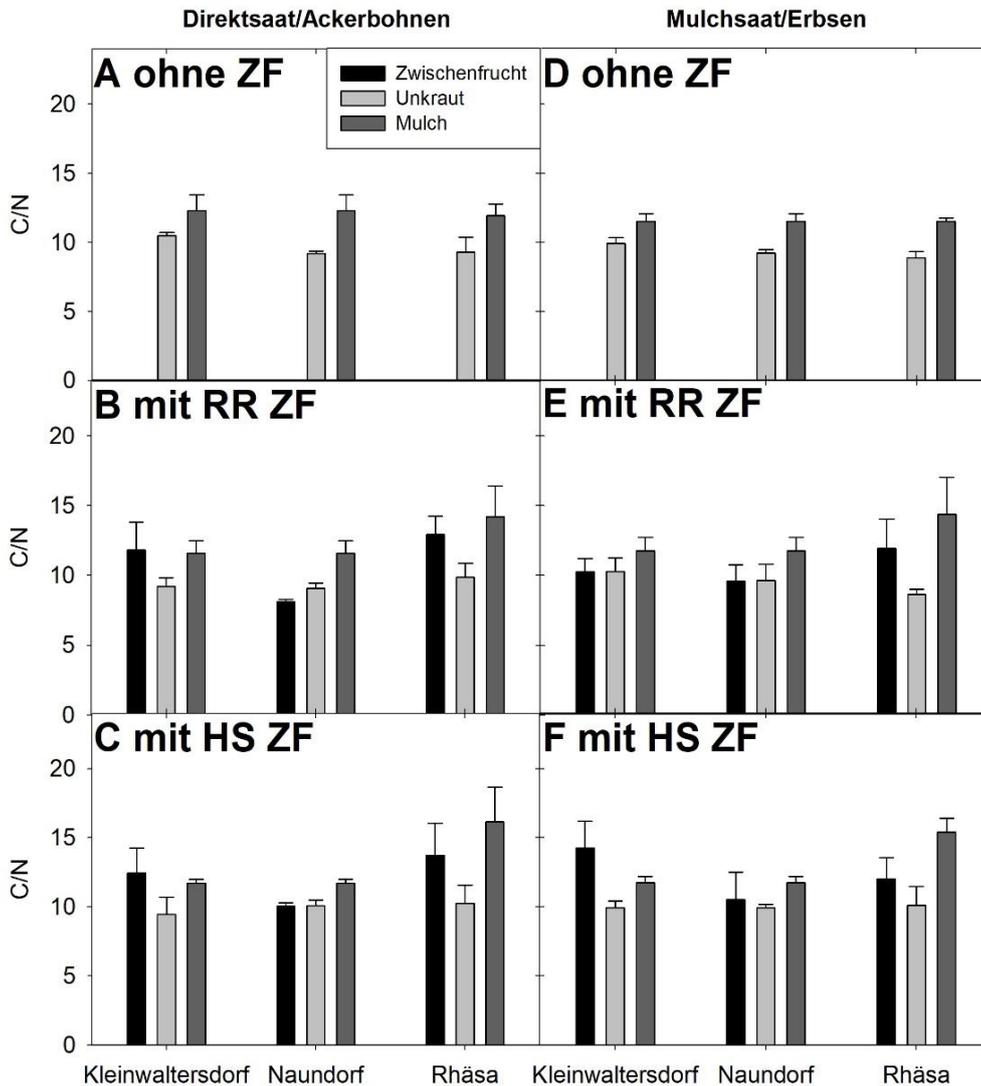


Abbildung 22: C:N-Verhältnis im Aufwuchs, differenziert nach Zwischenfrucht, Unkraut und Mulch an den Standorten. A und D ohne Zwischenfrucht; B und E mit Zwischenfrucht Ramtillkraut/ Rispenshirse; C und F mit Zwischenfrucht Sommerroggen/Rauhafer

In der Tabelle 9 sind für 2019 der Kornertrag der Untersuchungsstandorte in Abhängigkeit von der Unkrautregulierungsmethode, vom Zwischenfruchtanbau und der eingesetzten Aussaattechnik dargestellt. Danach wurde in der chemischen Unkrautregulierung mit ZF RR wurde der höchste Erbsen-Kornertrag (3.38 t/ha) ermittelt (Tabelle 9). Der höchste Kornertrag (3.20 t/ha) von Ackerbohne 2019 wurde auch wie im Jahr 2018 im mechanischen Ansatz mit ZF HS erfasst. Es gab keinen eindeutigen Effekt im Trockenmasseertrag bei Futtererbse und Ackerbohne in Rhäsa durch die Verwendung von Zwischenfrüchten. Der Ertrag von Ackerbohne in Kleinwaltersdorf zeigt keine klaren Effekte, ob mit oder ohne Zwischenfrucht bzw. ob Mulchsaat oder Direktsaat (Tabelle 9). Dadurch lässt sich auch kein klarer Trend zwischen den verschiedenen Unkrautregulierungsmethoden in Kleinwaltersdorf erkennen. Der höchste Kornertrag (2.59 t/ha) in MS in Kleinwaltersdorf wurde in der mechanischen Unkrautregulierung unter Verwendung von ZF RR erzielt. Auch in Naundorf 2019 wurde der höchste Kornertrag (1.30 t/ha) in MS in der mechanischen Unkrautregulierung unter Verwendung von ZF RR erzielt (s. Tabelle 9).

Tabelle 14: Kornertrag 2019 [t/ha atro] der Standorte hinsichtlich Unkrautregulierungsmethode, Zwischenfrucht (RR = Ramtilkraut/Rispenhirse; HS = Sommerroggen/Rauhafer) und Aussaattechnik (DS = Direktsaat; MS = Mulchsaat)

Standort	ohne ZF				RR ZF				HS ZF			
A1	MS		DS		MS		DS		MS		DS	
	Futtererbse	Ackerbohne										
ohne	2.01 ± 1.05	3.19 ± 0.68	n.a.	n.a.	1.67 ± 0.83	2.49 ± 0.30	n.a.	n.a.	2.88 ± 0.82	2.53 ± 0.71	n.a.	n.a.
mechanisch	1.65 ± 0.32	2.82 ± 1.04	n.a.	n.a.	2.28 ± 0.84	2.47 ± 0.52	n.a.	n.a.	3.09 ± 0.06	3.20 ± 1.04	n.a.	n.a.
chemisch	2.28 ± 0.63	2.93 ± 0.85	n.a.	n.a.	3.38 ± 0.67	2.70 ± 0.73	n.a.	n.a.	1.99 ± 0.92	2.95 ± 0.45	n.a.	n.a.
A2	MS		DS		MS		DS		MS		DS	
	Futtererbse	Ackerbohne										
ohne	n.a.	2.00 ± 0.28	n.a.	1.34 ± 0.66	n.a.	1.71 ± 0.58	n.a.	0.83 ± 0.53	n.a.	1.56 ± 0.66	n.a.	1.40 ± 0.27
mechanisch	n.a.	1.86 ± 0.74	n.a.	1.00 ± 0.22	n.a.	2.59 ± 0.78	n.a.	1.68 ± 0.43	n.a.	1.87 ± 0.46	n.a.	1.02 ± 0.42
chemisch	n.a.	2.02 ± 0.84	n.a.	1.09 ± 0.63	n.a.	1.73 ± 0.39	n.a.	1.42 ± 0.58	n.a.	1.94 ± 0.42	n.a.	1.90 ± 0.33
A3	MS		DS		MS		DS		MS		DS	
	Futtererbse	Ackerbohne										
ohne	n.a.	1 ± 0.14	n.a.	0.87 ± 0.23	n.a.	0.86 ± 0.25	n.a.	0.57 ± 0.36	n.a.	0.78 ± 0.33	n.a.	0.92 ± 0.27
mechanisch	n.a.	0.93 ± 0.37	n.a.	0.78 ± 0.19	n.a.	1.30 ± 0.39	n.a.	0.79 ± 0.57	n.a.	0.93 ± 0.23	n.a.	0.59 ± 0.48
chemisch	n.a.											

Tabelle 15: Unkrautbiomasse 2019 [t/ha atro] der Standorte hinsichtlich Unkrautregulierungsmethode, Zwischenfrucht (RR = Ramtilkkraut/Rispenhirse; HS = Sommerroggen/Rauhafer) und Aussaattechnik (DS = Direktsaat; MS = Mulchsaat)

Standort	ohne ZF				RR ZF				HS ZF			
A1	MS		DS		MS		DS		MS		DS	
	Futtererbse	Ackerbohne										
ohne	0.59 ± 0.47	1.52 ± 1.58	n.a.	n.a.	0.87 ± 0.58	0.54 ± 0.36	n.a.	n.a.	0.41 ± 0.22	1.02 ± 0.75	n.a.	n.a.
mechanisch	1.22 ± 0.80	1.18 ± 0.49	n.a.	n.a.	0.83 ± 0.86	0.95 ± 0.94	n.a.	n.a.	0.75 ± 0.42	0.58 ± 0.27	n.a.	n.a.
chemisch	0.03 ± 0.02	1.26 ± 1.54	n.a.	n.a.	0.01 ± 0.02	0.91 ± 1.70	n.a.	n.a.	0.11 ± 0.19	0.01 ± 0.01	n.a.	n.a.
A2	MS		DS		MS		DS		MS		DS	
	Futtererbse	Ackerbohne										
ohne	n.a.	1.23 ± 0.87	n.a.	1.70 ± 0.91	n.a.	1.34 ± 0.50	n.a.	2.41 ± 1.18	n.a.	1.59 ± 0.77	n.a.	2.65 ± 0.64
mechanisch	n.a.	1.76 ± 0.98	n.a.	2.38 ± 0.14	n.a.	1.01 ± 0.46	n.a.	2.55 ± 0.42	n.a.	0.89 ± 0.62	n.a.	3.34 ± 0.59
chemisch	n.a.	0.53 ± 0.46	n.a.	2.61 ± 0.67	n.a.	0.47 ± 0.60	n.a.	2.26 ± 1.21	n.a.	0.45 ± 0.23	n.a.	2.19 ± 1.05
A3	MS		DS		MS		DS		MS		DS	
	Futtererbse	Ackerbohne										
ohne	n.a.	2.33 ± 0.62	n.a.	3.04 ± 0.11	n.a.	2.31 ± 0.55	n.a.	3.62 ± 1.20	n.a.	2.51 ± 0.54	n.a.	3.51 ± 0.34
mechanisch	n.a.	1.68 ± 0.21	n.a.	2.58 ± 0.77	n.a.	1.68 ± 0.24	n.a.	3.07 ± 1.44	n.a.	2.35 ± 0.63	n.a.	3.81 ± 1.68
chemisch	n.a.											

Die Erfassung des Unkrautes (Unkrautbiomasse) wurde zeitgleich mit der Haupternte durchgeführt (s. Tabelle 10). In Rhäsa und Kleinwaltersdorf wurde in der chemischen Unkrautbekämpfung für Bohne und Erbse die niedrigste Unkrautbiomasse ermittelt. Einzige Ausnahme bildet hier die mechanische Unkrautbehandlung ohne ZF für Bohne in Rhäsa. Des Weiteren konnte in Rhäsa und Kleinwaltersdorf für MS ein Trend hinsichtlich der Verwendung von Zwischenfrüchten und der damit zusammenhängenden Reduktion der Unkrautbiomasse gezeigt werden. In Naundorf konnte kein Trend aufgezeigt werden. Selbiges gilt für die DS Aussaat am Standort Kleinwaltersdorf und Naundorf (s. Tabelle 10).

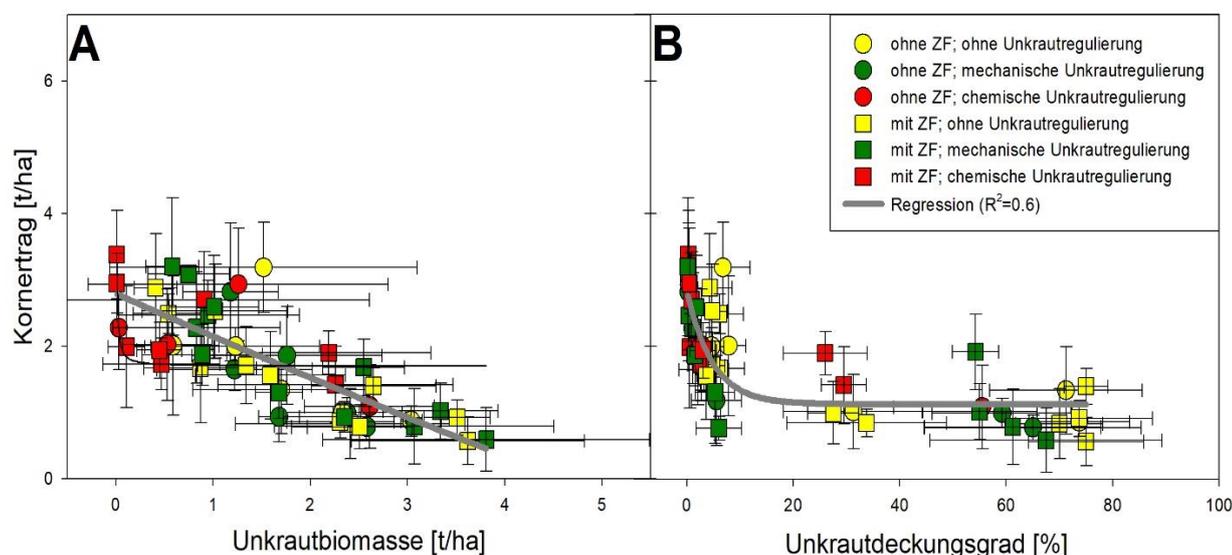


Abbildung 23: Zusammenhang zwischen dem Kornertrag [t/ha] und (A) Unkrautbiomasse bei der manuellen Ernte 2019 bzw. (B) Unkrautdeckungsgrad [%]. Die angegebenen Daten sind Mittelwerte (n=4) für Arten (Ackerbohne und Futtererbse) in der Unkrautregulierung mit ZF und ohne ZF. Gelbe Symbole kennzeichnen die Kontrolle (gelber Kreis: ohne ZF, gelbes Quadrat: mit ZF). Grüne Symbole kennzeichnen die mechanische Unkrautbekämpfung (grüner Kreis: ohne ZF, grünes Quadrat: mit ZF). Rote Symbole kennzeichnen den chemischen Unkrautbekämpfungsansatz (roter Kreis: ohne ZF, rotes Quadrat: mit ZF). In (A) wurde eine lineare Polynomfunktion an die Daten angepasst ($R^2=0.6$, $P=0.001$, graue Linie, $f(x)=2.772-0.6167*x$), in (B) eine exponentielle Zerfallsfunktion ($R^2=0.6$, $P=0.001$, graue Linie, $f(x)=16.6589+19.4524*\exp(-0.0336*x)$).

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Unkrautbiomasse aber auch der Unkrautdeckungsgrad bis zu einem bestimmten Maß Einfluss auf den Kornertrag haben können (Abbildung 23). In Abbildung 23B ist deutlich zu erkennen, dass der größte (exponentiell) Einfluss auf den Kornertrag durch den Unkrautdeckungsgrad bei < 10 % gegeben ist. Ab einem Unkrautdeckungsgrad von > 20 % wird der Kornertrag nur noch wenig beeinflusst. Dennoch kann es zu vereinzelt Kornertragsschwankungen kommen. Es können ca. 60 % ($R^2=0.6$) der Werte erklärt werden. Ein ähnliches Muster (linear) konnte in 2019 auch für den Zusammenhang Kornertrag und Unkrautbiomasse gezeigt werden (siehe Abbildung 23A). Jedoch ist die Standardabweichung (n=4) relativ hoch, wodurch maßgeblich kein Grenzwert abgeleitet werden kann. Bei einer gleichen Menge an Unkrautbiomasse z.B. 0.5 t/ha kann der Ertrag dennoch um ca. 2t/ha schwanken. Somit kann nicht nur die Unkrautbiomasse als einziger Parameter herangezogen werden hinsichtlich Beeinflussung des Ertrags. In Abbildung 23A können dennoch 70 % der Werte erklärt werden. Grundlegend werden mit mechanischer Unkrautregulierung dem Herbizideinsatz vergleichbare Kornerträge trotz höherer Unkrautbiomasse und höheren Unkrautdeckungsgraden erzielt.

Direktsaat führte bei der Ackerbohne in jeder Behandlung zu einer höheren Unkrautbiomasse im Vergleich zur Mulchsaat (Tabelle 10). In Naundorf wurde kein Effekt des Zwischenfruchtanbaus auf die

Unkrautbiomasseproduktion sichtbar. Der höchste Unkrautbiomasseaufwuchs (3.81 t/ha) wurde in Naundorf bei Ackerbohnen nach Direktsaat und Verwendung der ZF HS ermittelt (Tabelle 10).

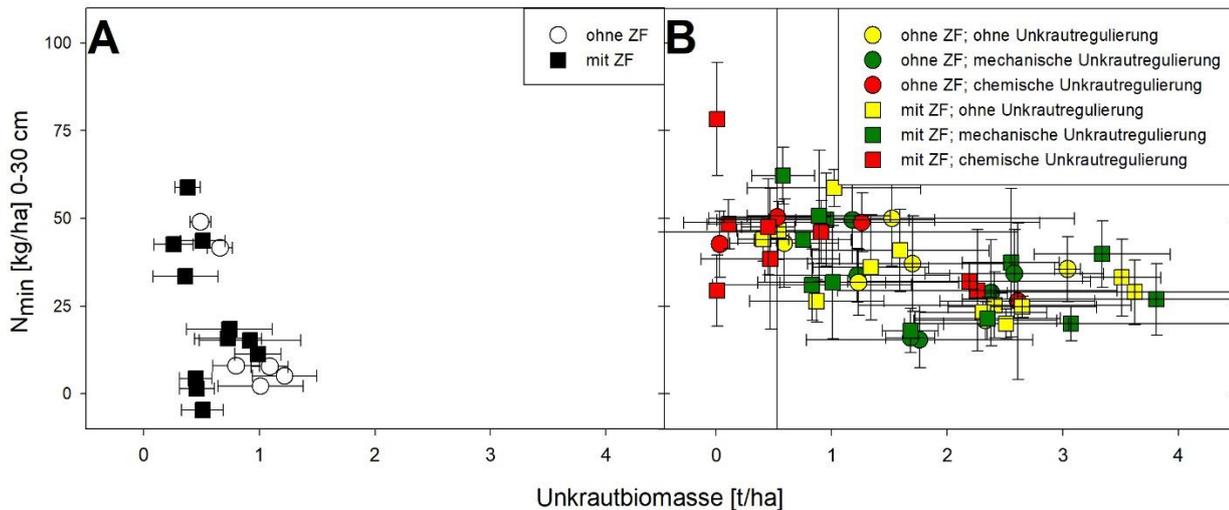


Abbildung 24: Beziehung zwischen der (A) Nmin-Veränderung im Oberboden im Zeitraum von 07/2018 auf 03/2019 und der atro Unkrautbiomasseerhebung zum 11/2017 und (B) Oberboden-Nmin-Gehalt zum 08/2019 und der atro Unkrautbiomasse zum 08/2019. Gelbe Symbole kennzeichnen die Kontrolle (gelber Kreis: ohne ZF, gelbes Quadrat: mit ZF). Grüne Symbole kennzeichnen die mechanische Unkrautbekämpfung (grüner Kreis: ohne ZF, grünes Quadrat: mit ZF). Rote Symbole kennzeichnen den chemischen Unkrautbekämpfungsansatz (roter Kreis: ohne ZF, rotes Quadrat: mit ZF).

Abbildung 24A zeigt keinen Zusammenhang zwischen der ermittelten Nmin-Veränderung im Oberboden (0-30cm) und der Unkrautbiomasse bei der Verwendung von ZF. Im Gegenteil, die Abbildung 24A suggeriert, dass Nmin ansteigt bei abnehmender Unkrautbiomasse. Somit wird in Abbildung 24A deutlich, dass die Ermittlung von der Nmin-Veränderung im Oberboden einen Schwachpunkt aufweist. Da Nmin überwiegend auch von der Temperatur beeinflusst wird, der Entnahmezeitpunkt der 2ten Nmin-Beprobung im Jahr 2019 jedoch sehr ungünstig gewählt wurde (zu früh beprobt, dadurch sehr niedrige Bodentemperaturen), können diese Werte leider nicht als plausibel erachtet werden. In Abbildung 24B wird wie auch im Jahr 2018 gezeigt, dass es keine Korrelation zwischen Nmin im Oberboden und Unkrautbiomasse in Abhängigkeit von der ZF nach der Ernte der HF gegeben ist. Die Unkrautbekämpfungsmethode überprägt eine Wirkung der ZF auf Nmin im Oberboden und die Unkrautbiomasse. Des Weiteren kann auch die N₂-Fixierungsleistung der angebauten Leguminosen-Hauptfrucht einen großen Einfluss haben. Die N₂-Fixierungsleistung wurde leider nicht berücksichtigt.

Im weiteren Projektverlauf erfolgte eine detaillierte Analyse (Daten von 2018 und 2019) hinsichtlich der Beurteilung der manuell geschätzten Unkrautdeckungsgrade im Vergleich zu den sensorisch erfassten Daten (siehe Abbildung 25). Wie u.a. in Tabelle 12 und Tabelle 13 gezeigt, ergibt sich eine starke Diskrepanz ab einem BBCH Stadium der Kulturpflanze von > 51 zwischen manuell ermitteltem und sensorisch erfasstem Deckungsgrad. Außerdem wird deutlich, dass es zu leichten Unterschätzungen des Deckungsgrades durch die manuelle Erfassung bis zu einem BBCH < 35 kommt.

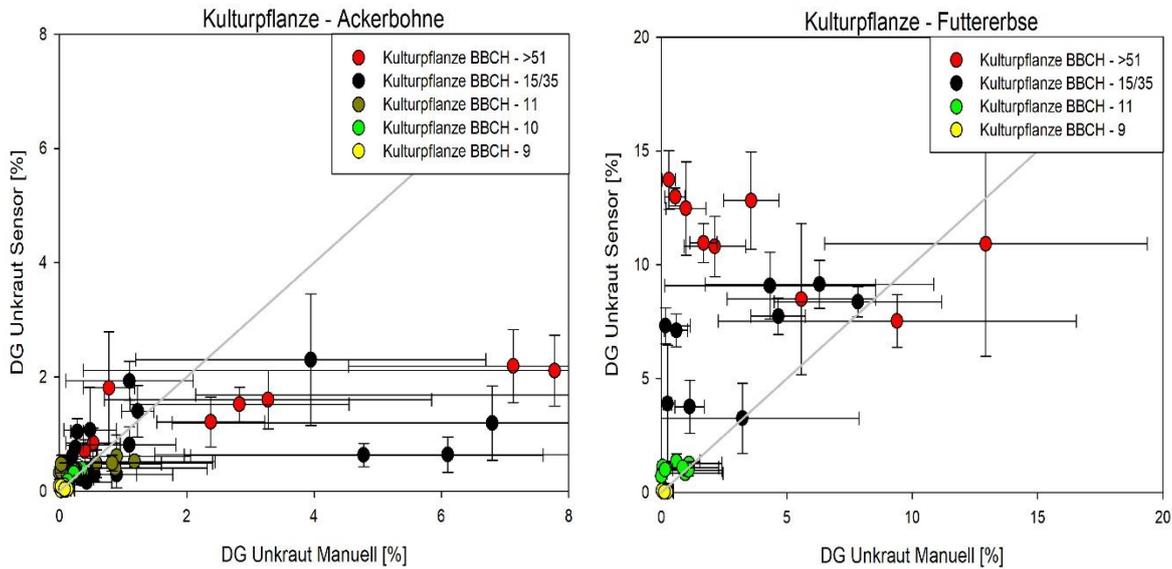


Abbildung 25:A) Verhältnis zwischen sensorisch und manuell erfassten Deckungsgraden [%] in unterschiedlichen BBCH-Stadien der Kulturpflanze Ackerbohne sowie B) Verhältnis zwischen sensorisch und manuell erfassten Deckungsgraden in unterschiedlichen BBCH-Stadien der Kulturpflanze Futtererbse.

Des Weiteren wurden durch unterschiedliche Striegelintensitäten „spezifische Grenzwerte“ ermittelt und hinsichtlich des Ertrages bewertet (s. Abbildung 26). Grundlegend ist mindestens ein 3-facher Striegeleinsatz erforderlich, um relevante Ertragsausfälle zu vermeiden. Für Erbse ergab sich ein Ertragsoptimum von 6 – 7 Striegelgängen, für Bohne 3 – 5 Striegelgängen (standortabhängig). Weiterhin wurden folgende dynamische Grenzwerte für den Unkrautdeckungsgrad abgeleitet: für ein BBCH-Stadium 9 – 11 ein Unkraut-DG 0.5 % und für ein BBCH 15 – 35 Unkraut-DG 1 %. Zur Ernte können durchaus Unkrautdeckungsgrade bis zu 2 % bei Erbse und bis zu 1 % bei Bohne etabliert sein ohne signifikante Ertrags- und Qualitätsverluste zu erzielen.

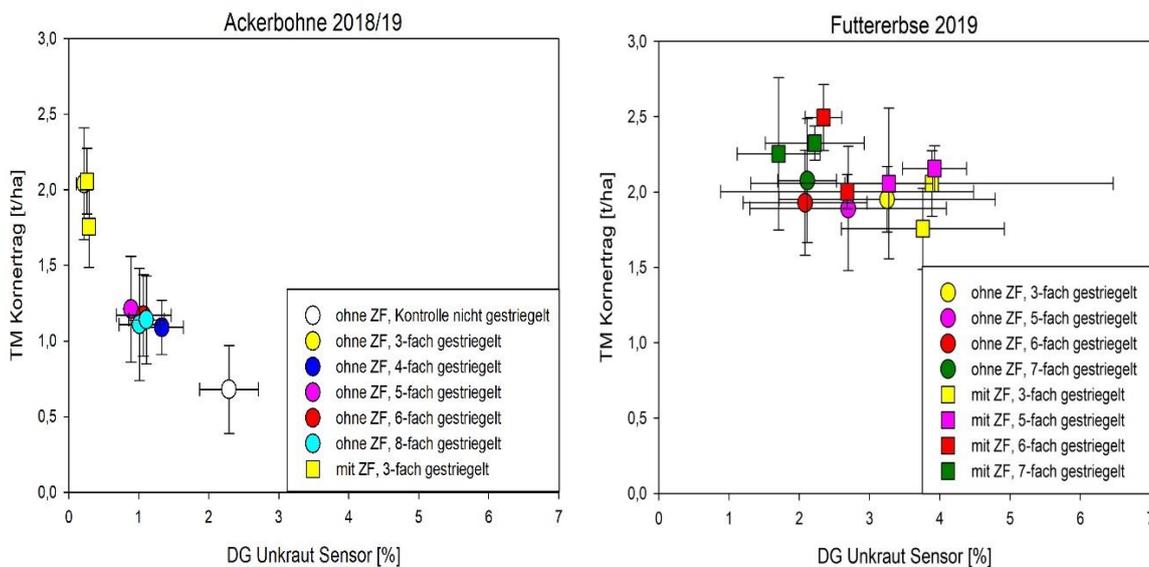


Abbildung 26:A) Verhältnis zwischen sensorisch erfassten Deckungsgrad [%] und TM-Kornertrag [t/ha] in Abhängigkeit von Rollstriegeleinsatz und Zwischenfruchtanbau für Ackerbohne sowie B) für Futtererbse.

Mit den bisherigen im Bericht dargestellten Teilergebnissen aus dem Projekt herbfreiErbAB konnte somit gezeigt werden, dass der kombinierte Ansatz mit speziellen Zwischenfruchtgemenge (RR und HS) und der zusätzlichen mechanischen Unkrautregulierung (Minimum von 3 Rollstriegeleinsätze) beim pfluglosem Anbau (MS und DS) von

den Nutzpflanzen Ackerbohne und Futtererbse, eine effiziente Alternative zur Optimierung des Ertrages im Vergleich zur herkömmlichen Herbizidanwendung darstellt (siehe Anhang). Jedoch wurde im 2ten Versuchsjahr auch deutlich, dass die im Projekt ausgewählten ZF teilweise nicht geeignet sind, wenn ungünstige klimatische Begegnungen sowie unzureichendes Management (versäumter Saatzeitpunkt) einhergehen.

4.1.3 2020

Durch die Corona Pandemie kam es teilweise zu Einschränkungen.

Im Untersuchungsjahr 2020 konnte durch den Anbau der Zwischenfruchtgemenge keine signifikante Reduktion des Nmin-Gehaltes im Vergleich zu ohne Zwischenfruchtanbau erreicht werden (s. Abbildung 27). Aufgrund intensiver Trockenheit, zwischen Juni und Oktober 2019, konnte sich die ZF sehr schlecht entwickeln (Aufbau von Biomasse) somit auch kaum Stickstoff aus den Bodenpool aufnehmen und binden. Grundlegend wurde in allen Behandlungen eine Reduktion von ca. 10 kg N/ha erzielt, unabhängig ob eine ZF berücksichtigt wurde oder nicht.

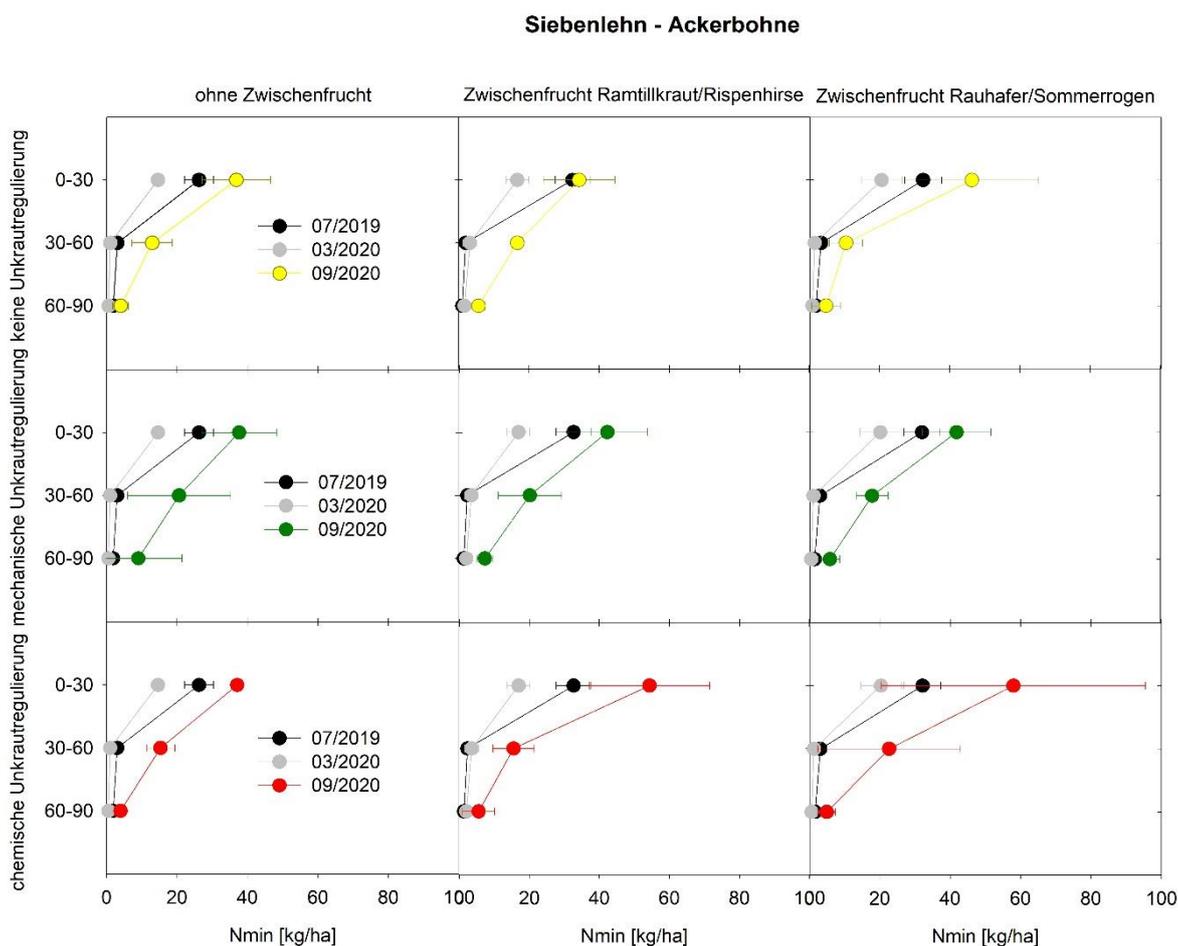


Abbildung 27: Nmin [kg N/ha] in unterschiedlichen Bodentiefen zu je 3 Zeitpunkten am Standort Siebenlehn-Ackerbohne

In keiner Parzelle am Standort Siebenlehn wurde unter Ackerbohne Stickstoff in den Unterboden (unterhalb 60 cm) verlagert (s. Abbildung 27). Darüber hinaus wird ersichtlich, dass alle Standorte bei der ersten Beprobung (07/2019) ein geringes Maß an Nmin-Heterogenität im Boden unterhalb von 30 cm aufweisen. Die größte Dynamik wurde im Oberboden (0-30 cm) gemessen (Abbildung 27).

Siebenlehn - Erbse

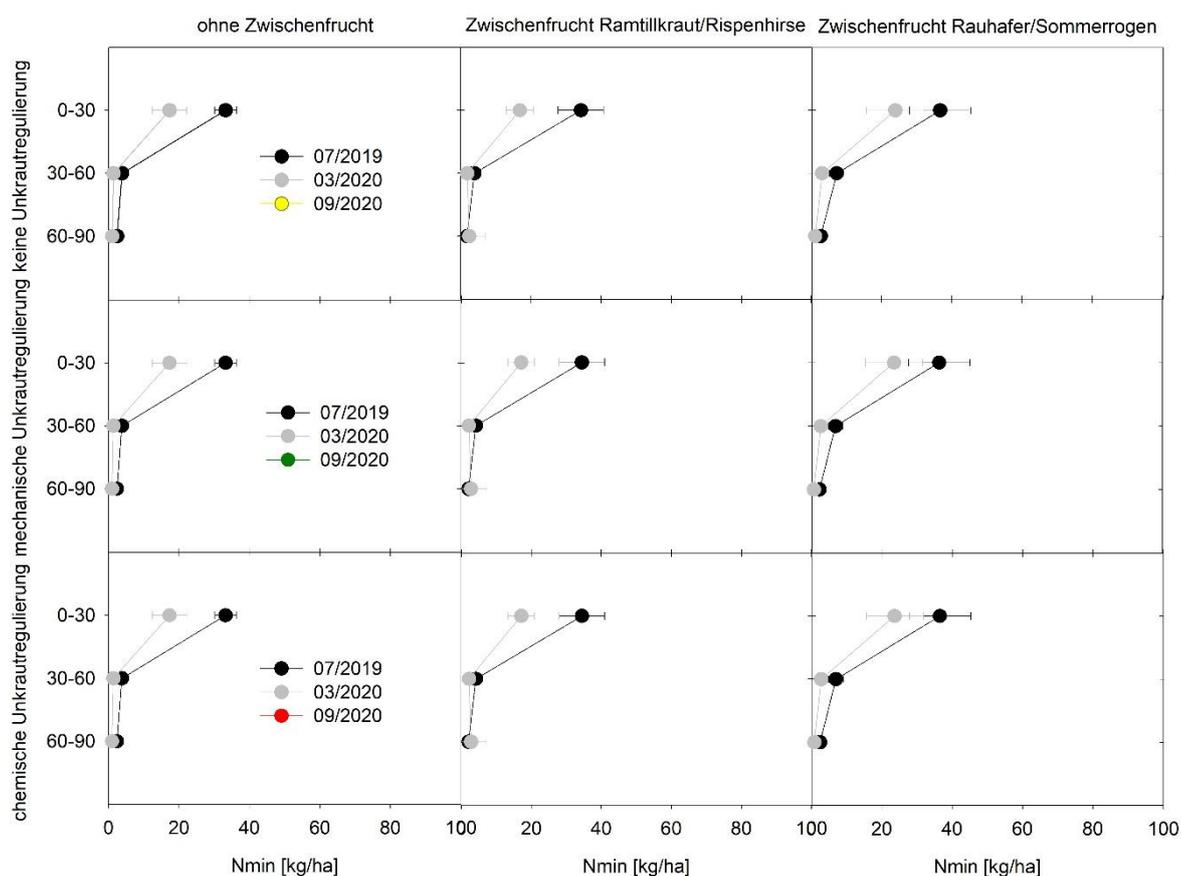


Abbildung 28: Nmin [kg N/ha] in unterschiedlichen Bodentiefen zu je 2 Zeitpunkten am Standort Siebenlehn-Futtererbse

Auf dem Standort Siebenlehn-Futtererbse (Abbildung 28) konnte keine Abschlussbeprobung im September 2020 durchgeführt werden, da der Bodenkörper zu trocken war und das Material bei jeder Entnahme aus dem Bohrstock gefallen ist. Eine spätere Beprobung war aufgrund der Corona Pandemie nicht möglich.

Auf dem Standort Kleinwaltersdorf zeigen sich die deutlichsten Effekte von Mulch- und Direktsaat auf den Nmin-Gehalt im Oberboden (Abbildungen 29 und 30). Es konnten weder ein Einfluss der Zwischenfrucht noch ein Unterschied im Nmin zwischen DS und MS nachgewiesen werden. Auffällig und nicht eindeutig begründbar sind die Zunahmen im Nmin im Unterboden (60-90 cm) beginnend im Juli 2019 unter der intensiven Trockenheit bis hin zum Frühjahr 2020. Weiterhin auffällig ist eine erhöhte Mineralisation im Oberboden nach dem Erntezeitpunkt in Kleinwaltersdorf (Abbildung 29). Auf dem Standort Naundorf wurden durch Corona-Pandemie lediglich die Startuntersuchung durchgeführt (nicht gezeigt).

Die Abbildung 31 zeigt für ausgewählte Bodenparameter die Homogenität innerhalb der Standorte. Es gibt keine signifikanten Unterschiede innerhalb der randomisierten Parzellen hinsichtlich pH-Wert und C:N-Verhältnis. Der höchsten pH-Wert 2020, mit pH 6.5 wurde am Standort Naundorf gemessen. Der niedrigste pH-Wert in 2020 wurde wie in 2019 in Kleinwaltersdorf gemessen (pH-Wert 5.5). Auch wie in 2018 und 2019 weist der ökologische Standort Naundorf das höchste C:N-Verhältnis in 2020 auf, Grund dafür ist der hohe Anteil an organischer Bodensubstanz und systembedingt eine geringere Stickstoff Versorgung (Abbildung 32).

Kleinwaltersdorf - Direktsaat - Ackerbohne

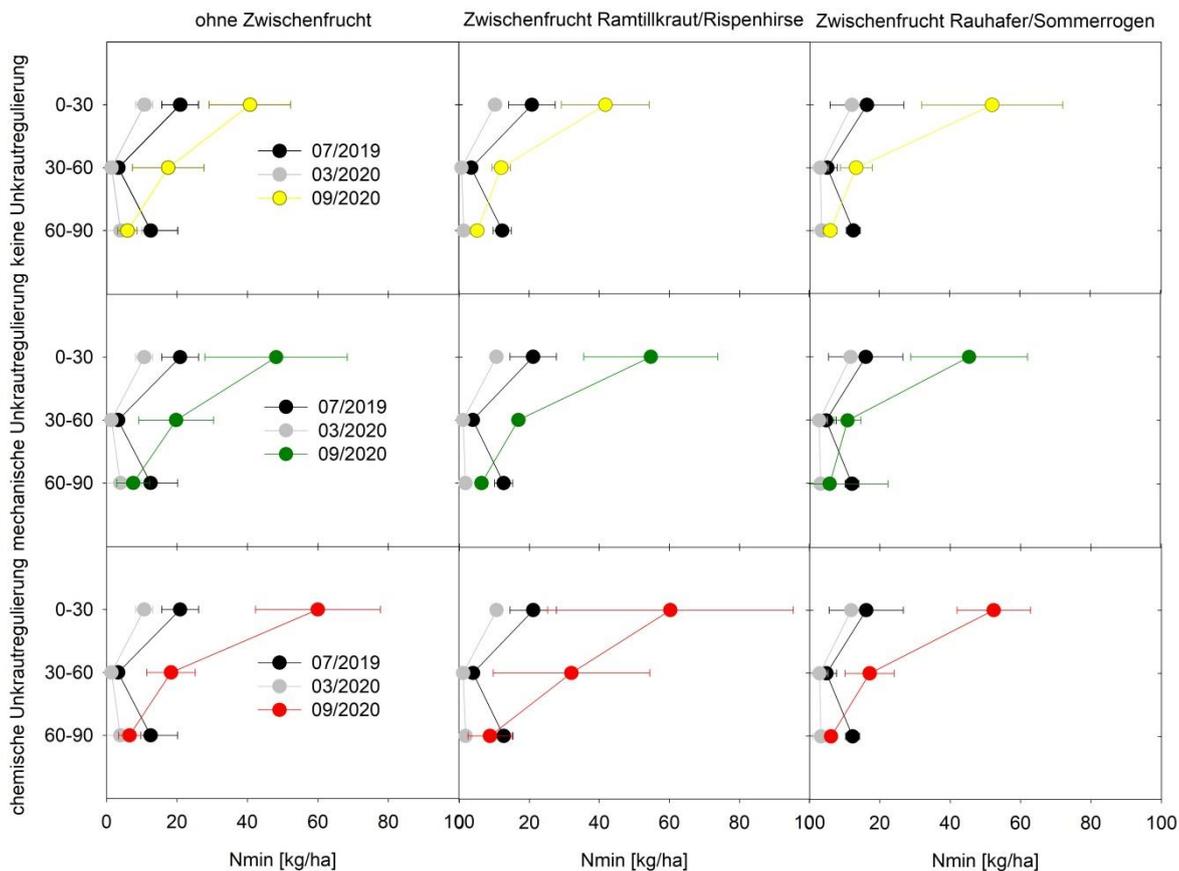


Abbildung 29: Nmin [kg N/ha] in unterschiedlichen Bodentiefen zu je 3 Zeitpunkten am Standort Kleinwaltersdorf-Ackerbohne in Direktsaat

In Abbildung 32 wird ersichtlich, dass die Zwischenfrucht kein ausreichend weites C:N-Verhältnis entwickeln konnte. Wünschenswert wäre ein durchschnittliches C:N-Verhältnis > 30 , da ab diesem Wert von einer zunehmend schweren Abbaubarkeit ausgegangen werden kann. Die Ergebnisse sind ähnlich dem Untersuchungsjahr 2019. Das geringe C:N-Verhältnis begründet sich überwiegend durch einen ungünstigen klimatischen Aussaatzeitpunkt und dem entsprechenden Verlauf (ausgedehnte Trockenphasen von Juli bis Oktober, kaum Biomasseaufbau der ZF) der Zwischenfruchtentwicklung (siehe Tabelle 3). Weiterhin wird auch deutlich, dass das Mulchmaterial nur niedrige C:N-Verhältnis etablieren konnte und somit schnell durch das Edaphon mineralisiert werden kann. Beides zeigt, dass die Zwischenfrüchte in relativ jungen Entwicklungsstadien abgefrören sind. Der Standort Naundorf wurde durch die Corona-Pandemie nicht durchgängig beprobt sodass keine Aussage getroffen werden kann.

Kleinwaltersdorf - Mulchsaat - Ackerbohne

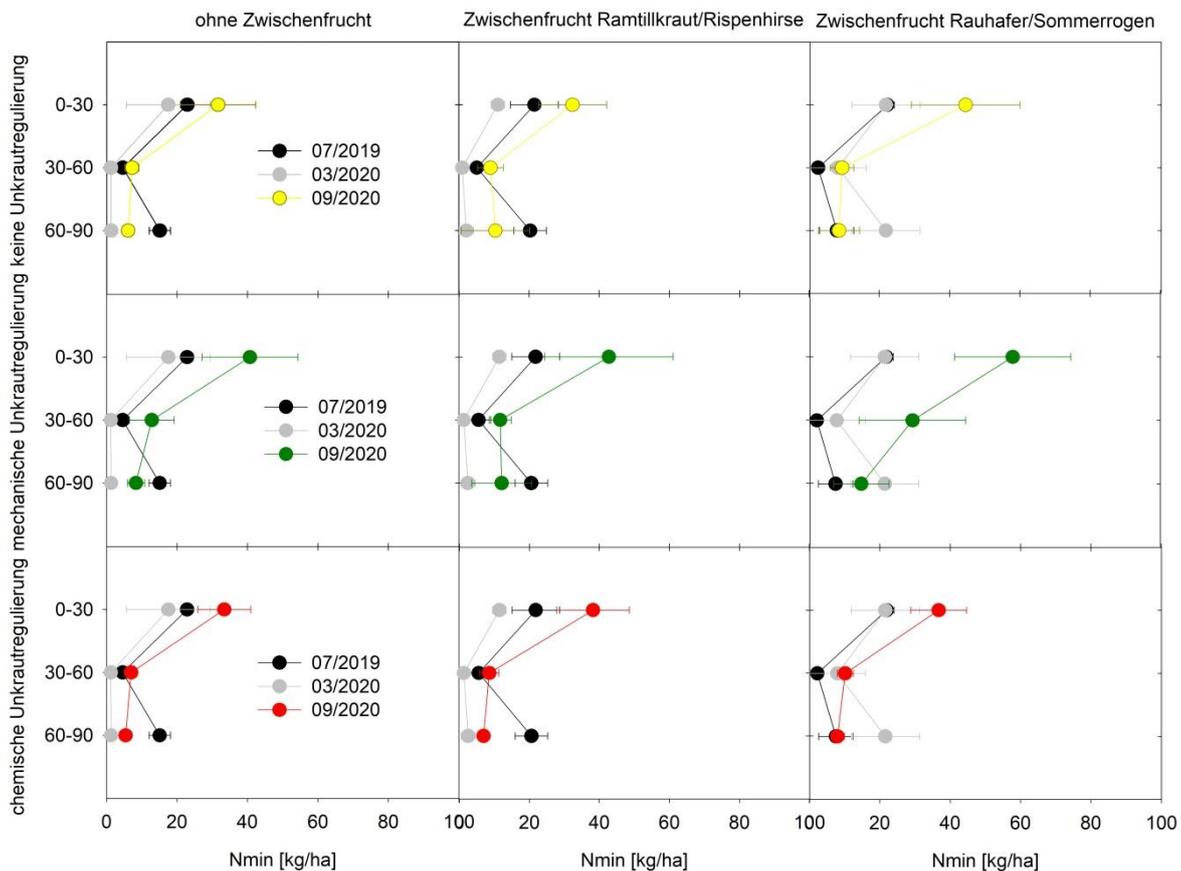


Abbildung 30: Nmin [kg N/ha] in unterschiedlichen Bodentiefen zu je 3 Zeitpunkten am Standort Kleinwaltersdorf-Ackerbohne in Mulchsaat

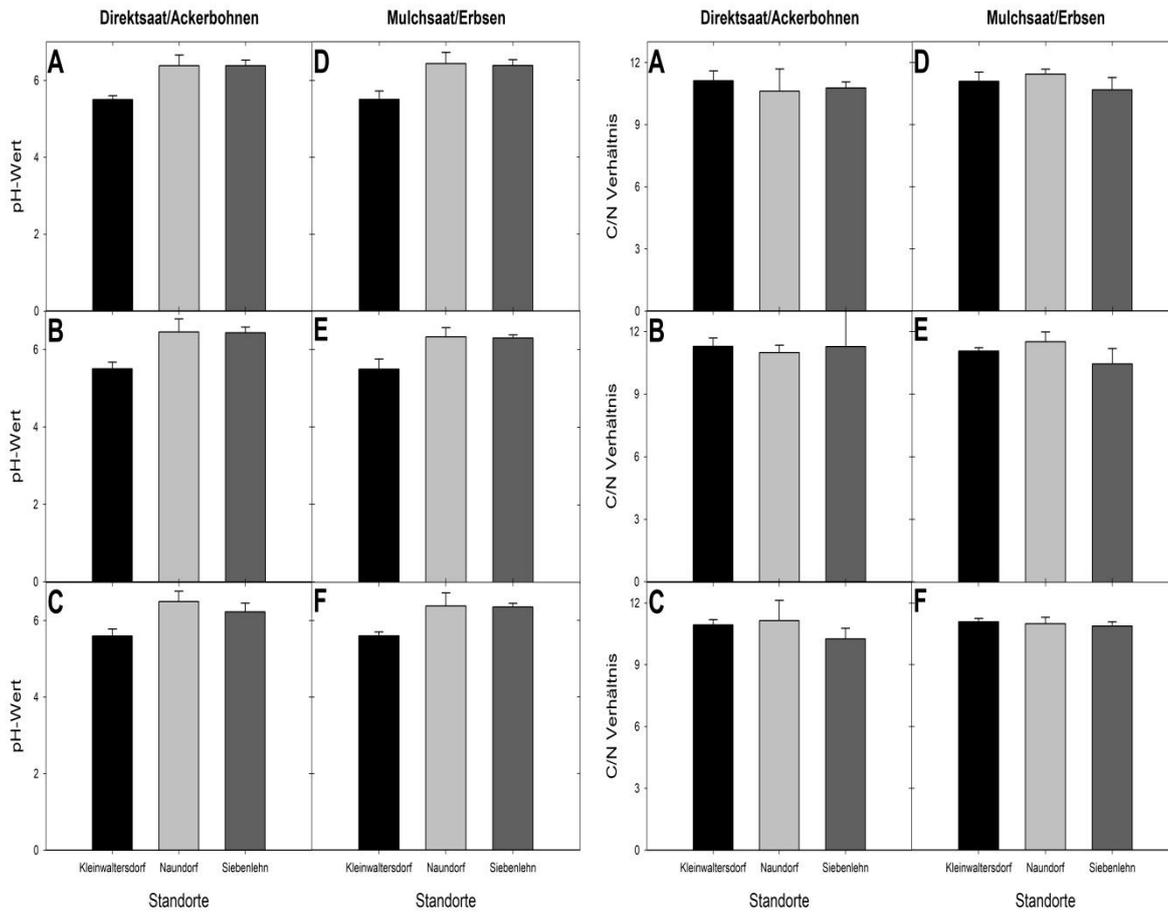


Abbildung 31: pH-Wert in 0-30 cm Bodentiefen an den Standorten 2020 sowie das C:N-Verhältnis in 0-30 cm Bodentiefen an den 3-Praxisstandorten. A und D ohne Zwischenfrucht; B und E mit Zwischenfrucht Ramtillkraut/ Rispenhirse; C und F mit Zwischenfrucht Rauhafer/Sommerroggen

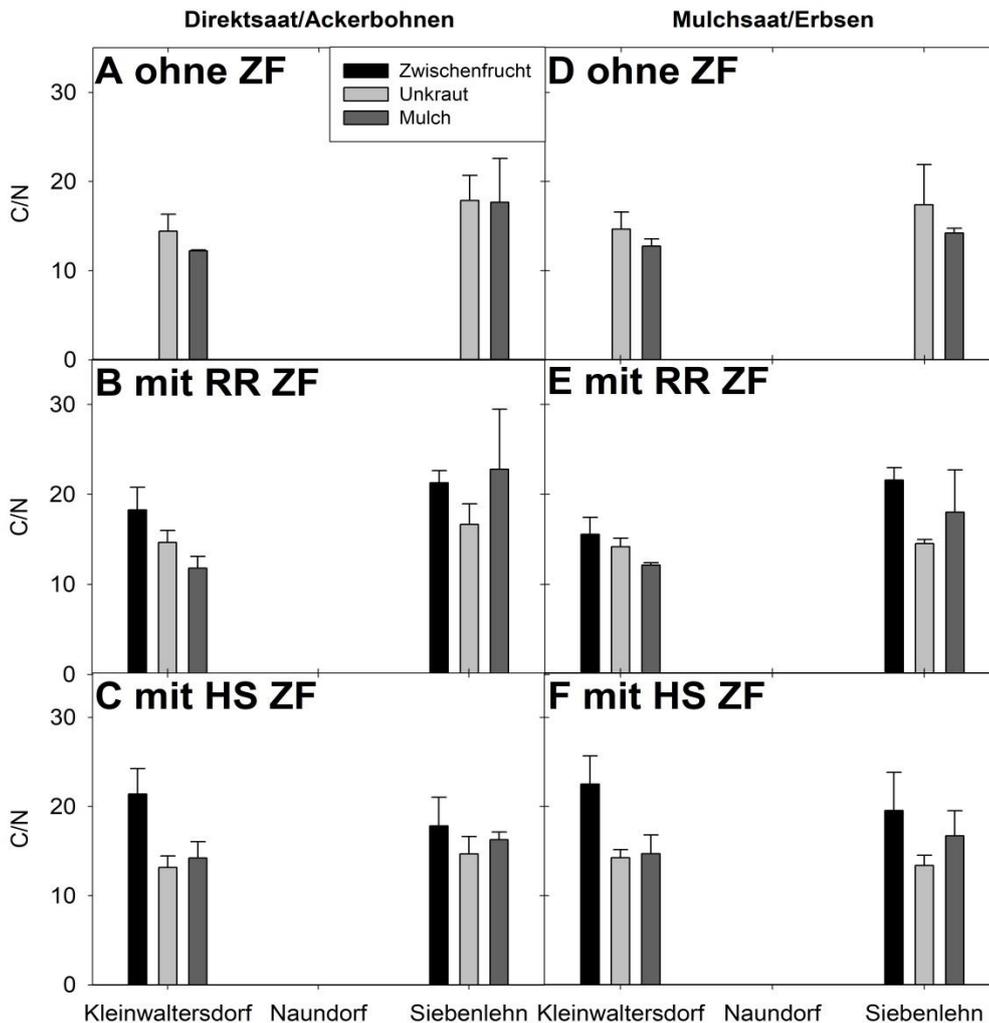


Abbildung 32: C/N-Verhältnis im Aufwuchs, differenziert nach Zwischenfrucht, Unkraut und Mulch an den Standorten. A und D ohne Zwischenfrucht; B und E mit Zwischenfrucht Ramtillkraut/ Rispenshirse; C und F mit Zwischenfrucht Sommerroggen/Rauhafer

In der chemischen Unkrautregulierung mit ZF HS wurde der höchste Erbsen-Kornertrag (4.34 t/ha) ermittelt (Tabelle 11). Der höchste Ackerbohnen-Kornertrag (3.96 t/ha) in 2020 wurde in der Kontrolle ermittelt (ohne ZF ohne Unkrautregulierung, Tabelle 11). Ähnlich dem Jahr 2019 gab es 2020 auch keinen eindeutigen Effekt im Trockenmasseertrag bei Futtererbse und Ackerbohne in Siebenlehn und Kleinwaltersdorf durch die Verwendung von Zwischenfrüchten (Tabelle 11). Der Ertrag von Ackerbohne in Kleinwaltersdorf war in der DS in jedem Prüfglied niedriger als im Vergleich zur MS. Des Weiteren lässt sich kein klarer Trend zwischen den verschiedenen Unkrautregulierungsmethoden in Kleinwaltersdorf erkennen. Der höchste Kornertrag (3.51 t/ha) in Kleinwaltersdorf wurde in der mechanischen Unkrautregulierung unter Verwendung von ZF HS im Mulchsaatsystem erzielt (Tabelle 11). Am Standort Naundorf konnten aufgrund der Corona Pandemie 2020 keine Ertragsergebnisse erfasst werden (siehe Tabelle 16 und Tabelle 17).

Tabelle 16: Kornertrag 2020 [t/ha atro] der Standorte hinsichtlich Unkrautregulierungsmethode, Zwischenfrucht (RR = Ramtilkraut/Rispenhirse; HS = Sommerroggen/Rauhafer) und Aussaattechnik (DS = Direktsaat; MS = Mulchsaat)

Standort	ohne ZF				RR ZF				HS ZF			
A1	MS		DS		MS		DS		MS		DS	
	Futtererbse	Ackerbohne										
ohne	3.68 ± 1.34	3.96 ± 1.37	n.a.	n.a.	3.83 ± 1.25	3.37 ± 0.65	n.a.	n.a.	4.21 ± 0.61	2.40 ± 0.24	n.a.	n.a.
mechanisch	4.07 ± 1.67	3.74 ± 0.44	n.a.	n.a.	3.76 ± 1.12	3.28 ± 1.30	n.a.	n.a.	3.27 ± 0.82	3.33 ± 0.22	n.a.	n.a.
chemisch	3.77 ± 0.66	3.75 ± 0.68	n.a.	n.a.	3.39 ± 0.68	3.44 ± 0.41	n.a.	n.a.	4.34 ± 1.09	3.48 ± 0.89	n.a.	n.a.
A2	MS		DS		MS		DS		MS		DS	
	Futtererbse	Ackerbohne										
ohne	n.a.	2.25 ± 0.67	n.a.	1.28 ± 0.55	n.a.	2.00 ± 0.83	n.a.	1.07 ± 0.42	n.a.	2.68 ± 1.21	n.a.	1.31 ± 0.52
mechanisch	n.a.	2.57 ± 1.04	n.a.	1.55 ± 0.65	n.a.	3.41 ± 0.89	n.a.	1.67 ± 0.43	n.a.	3.50 ± 1.32	n.a.	1.63 ± 0.45
chemisch	n.a.	1.88 ± 0.31	n.a.	1.19 ± 0.50	n.a.	2.10 ± 0.37	n.a.	1.66 ± 1.07	n.a.	2.85 ± 1.20	n.a.	1.19 ± 0.32
A3	MS		DS		MS		DS		MS		DS	
	Futtererbse	Ackerbohne										
ohne	n.a.											
mechanisch	n.a.											
chemisch	n.a.											

Tabelle 17: Unkrautbiomasse 2020 [t/ha atro] der Standorte hinsichtlich Unkrautregulierungsmethode, Zwischenfrucht (RR = Ramtilkkraut/Rispenhirse; HS = Sommerroggen/Rauhafer) und Aussaattechnik (DS = Direktsaat; MS = Mulchsaat)

Standort	ohne ZF				RR ZF				HS ZF			
A1	MS		DS		MS		DS		MS		DS	
	Futtererbse	Ackerbohne										
ohne	1.73 ± 0.41	1.50 ± 0.71	n.a.	n.a.	1.44 ± 0.89	0.93 ± 0.4	n.a.	n.a.	1.38 ± 0.23	1.79 ± 1.35	n.a.	n.a.
mechanisch	0.68 ± 0.17	0.52 ± 0.23	n.a.	n.a.	0.92 ± 1.27	1.03 ± 0.77	n.a.	n.a.	1.12 ± 0.34	0.43 ± 0.09	n.a.	n.a.
chemisch	1.41 ± 0.70	1.15 ± 0.93	n.a.	n.a.	0.96 ± 0.63	1.46 ± 0.94	n.a.	n.a.	1.64 ± 0.62	1.69 ± 1.1	n.a.	n.a.
A2	MS		DS		MS		DS		MS		DS	
	Futtererbse	Ackerbohne										
ohne	n.a.	2.78 ± 1.24	n.a.	3.32 ± 1.01	n.a.	2.39 ± 1.25	n.a.	2.46 ± 0.33	n.a.	2.16 ± 0.53	n.a.	3.25 ± 0.58
mechanisch	n.a.	1.90 ± 0.88	n.a.	2.76 ± 1.05	n.a.	1.46 ± 1.11	n.a.	2.27 ± 0.56	n.a.	0.70 ± 0.29	n.a.	3.32 ± 1.06
chemisch	n.a.	2.06 ± 1.38	n.a.	2.94 ± 0.61	n.a.	2.60 ± 1.49	n.a.	3.14 ± 0.62	n.a.	2.59 ± 0.49	n.a.	3.27 ± 1.08
A3	MS		DS		MS		DS		MS		DS	
	Futtererbse	Ackerbohne										
ohne	n.a.											
mechanisch	n.a.											
chemisch	n.a.											

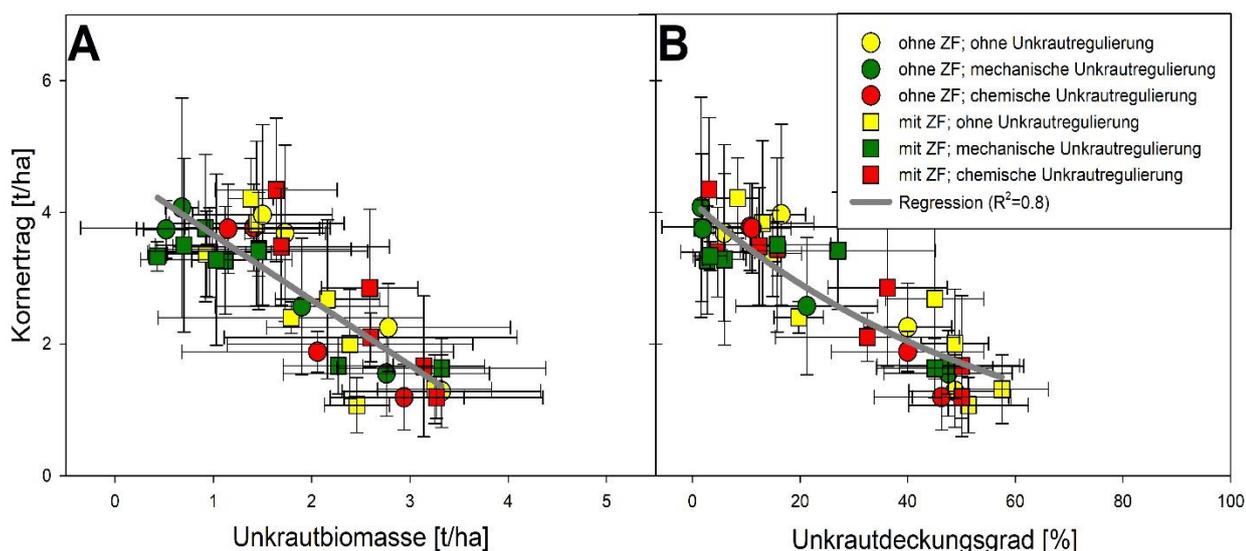


Abbildung 33: Zusammenhang zwischen dem Kornertrag [t/ha] und (A) Unkrautbiomasse bei der manuellen Ernte 2020 bzw. (B) Unkrautdeckungsgrad [%]. Die angegebenen Daten sind Mittelwerte (n=4) für Arten (Ackerbohne und Futtererbse) in der Unkrautregulierung mit ZF und ohne ZF. Gelbe Symbole kennzeichnen die Kontrolle (gelber Kreis: ohne ZF, gelbes Quadrat: mit ZF). Grüne Symbole kennzeichnen die mechanische Unkrautbekämpfung (grüner Kreis: ohne ZF, grünes Quadrat: mit ZF). Rote Symbole kennzeichnen den chemischen Unkrautbekämpfungsansatz (roter Kreis: ohne ZF, rotes Quadrat: mit ZF). In (A) wurde eine lineare Polynomfunktion an die Daten angepasst ($R^2=0.75$, $P=0.001$, graue Linie, $f(x)=4.649-0.9906 \cdot x$), in (B) eine exponentielle Zerfallsfunktion ($R^2=0.8$, $P=0.001$, graue Linie, $f(x)=4.1542 \cdot \exp(-0.0178 \cdot x)$).

Auch im Jahr 2020 kann gezeigt werden, dass die Unkrautbiomasse und auch der Unkrautdeckungsgrad bis zu einem bestimmten Maß Einfluss auf den Kornertrag haben. In Abbildung 33B wird deutlich, dass der größte (exponentiell) Einfluss auf den Kornertrag durch den Unkrautdeckungsgrad bei < 25 % gegeben ist. Ab einem Unkrautdeckungsgrad von > 25 % wird der Kornertrag nur noch wenig beeinflusst. Dennoch treten vereinzelte Kornertragungsschwankungen sowie statistische Ausreißer auf. Dennoch konnten im Jahr 2020 ca. 80 % ($R^2=0.8$) der Werte erklärt werden. Ein ähnliches Muster (linear) konnte in 2020 auch für den Zusammenhang Kornertrag und Unkrautbiomasse gezeigt werden (siehe Abbildung 33A). Grundlegend werden auch im Untersuchungsyear 2020 durch die mechanische Unkrautregulierung im Vergleich zum Herbizideinsatz vergleichbare Kornerträge erzielt. DS führte in jedem Prüfglied zu einer höheren Unkrautbiomasse im Vergleich zur MS. Ein deutlicher Einfluss der Zwischenfrucht auf die Unkrautbiomasse und den Unkrautdeckungsgrad konnte nicht gezeigt werden. Als Grund dafür wird auch wie im Jahr 2018 die geringen Niederschläge von Juli bis Oktober 2019 (Etablierung der Zwischenfrucht) angesehen. Der höchste Unkrautbiomasseaufwuchs (3,32 t/ha) wurde in Kleinwaltersdorf im Direktsaatsystem ohne Unkrautregulierung und ohne ZF ermittelt.

Ökonomische Betrachtung

Weiterhin wurde eine ökonomische Begutachtung durchgeführt. Dabei wurden überwiegend Schätzwerte z.B. Maschinenkosten und Arbeitszeitaufwand von der KTBL berücksichtigt. Am Standort Starbach/Rhäsa schneidet der Anbau der Erbse in den Jahren 2018/2019 mit Herbizideinsatz am ökonomischsten ab (siehe Tabelle 13 und Tabelle 19). Grundlegend wurde festgestellt, dass beim Anbau der Erbsen im Betrachtungszeitraum 2018/2019 sich Zwischenfruchtanbau bewährt, besonders durch die Förderungsprämien. Die ökonomische Auswertung DAL zeigt für Ackerbohne an dem Standort Starbach/Rhäsa nahezu keine Unterschiede in der mechanischen

Unkrautbekämpfungsvariante. Ein Zwischenfruchtanbau in der Fruchtfolge Ackerbohne erscheint nur sinnvoll im Jahr 2018 für die Standorte Starbach/Rhäsa.

Dasselbe Muster kann für den Standort Kleinwaltersdorf abgeleitet werden. 2018 ist der Anbau von Zwischenfrüchte ökonomisch sinnvoll, insbesondere durch die Förderung, jedoch für 2019 existiert kein vorteilhafter Zwischenfruchteffekt. Weiterhin wird deutlich, dass nur geringe ökonomische Unterschiede zwischen DS und MS bestehen, da die DS viele Möglichkeiten der Förderung bietet. Darüber hinaus wird auch gezeigt, dass im Jahr 2018 und 2019 am Standort Kleinwaltersdorf die mechanische Unkrautbekämpfung vorteilhafter gegenüber der chemischen Unkrautbekämpfung ist (siehe Tabelle 20 und Tabelle 21). Am Standort Naundorf schneidet die DS 2018 und 2019 ökonomisch am besten ab. In der DS und MS zeigt die Unkrautbekämpfung keine deutlichen Effekte (siehe Tab. 16 und 17).

Tabelle 18: Ökonomische Auswertung [€/ha], Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung (DAL) mit Prämien für den Standort Starbach (A1) für Futtererbse und Ackerbohne in Mulchsaat (MS) in 2018 hinsichtlich Unkrautregulierungsmethode (ohne; m = mechanisch; c = chemisch), Zwischenfrucht (ohne ZF = ohne Zwischenfrucht; RR = Ramtillkraut/Rispenhirse; HS = Sommerroggen/Rauhafer)

Kultur	Futtererbse									Ackerbohne								
Jahr/Aussaat	2018/MS									2018/MS								
Zwischenfrucht	ohne ZF			RR ZF			HS ZF			ohne ZF			RR ZF			HS ZF		
Unkrautregulierung	ohne	m	c	ohne	m	c	ohne	m	c	ohne	m	c	ohne	m	c	ohne	m	c
Marktleistung	872	738	1182	893	780	1048	986	801	1027	811	953	748	643	776	754	691	953	804
Ausgleichszahlung	0	78	0	78	78	78	78	78	78	0	0	0	78	78	78	78	78	78
Verfahrenskosten	671	665	814	731	759	848	833	880	974	574	627	665	644	701	758	740	804	852
DAL mit Prämien	201	73	369	240	99	279	230	-1	131	237	326	83	76	153	74	29	227	30

Tabelle 19: Ökonomische Auswertung, Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung (DAL) mit Prämien für den Standort Rhäsa für Futtererbse und Ackerbohne in Mulchsaat (MS) in 2019 hinsichtlich Unkrautregulierungsmethode (ohne; m = mechanisch; c = chemisch), Zwischenfrucht (ohne ZF = ohne Zwischenfrucht; RR = Ramtillkraut/Rispenhirse; HS = Sommerroggen/Rauhafer)

Kultur	Futtererbse									Ackerbohne								
Jahr/Aussaat	2019/MS									2019/MS								
Zwischenfrucht	ohne ZF			RR ZF			HS ZF			ohne ZF			RR ZF			HS ZF		
Unkrautregulierung	ohne	m	c	ohne	m	c	ohne	m	c	ohne	m	c	ohne	m	c	ohne	m	c
Marktleistung	458	376	520	381	520	770	656	704	454	708	626	651	551	549	600	560	711	655
Ausgleichszahlung	0	0	0	78	78	78	78	78	78	0	0	0	78	78	78	78	78	78
Verfahrenskosten	593	646	697	674	765	819	797	870	871	611	652	702	678	733	786	773	849	889
DAL mit Prämien	-135	-270	-178	-215	-167	29	-63	-88	-340	98	26	-51	-49	-107	-108	-135	-60	-156

Tabelle 20: Ökonomische Auswertung, Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung (DAL) mit Prämien für den Standort Kleinwaltersdorf (A2) für Ackerbohne in Direkt- (DS) und Mulchsaat (MS) in 2018 hinsichtlich Unkrautregulierungsmethode (ohne; m = mechanisch; c = chemisch), Zwischenfrucht (ohne ZF = ohne Zwischenfrucht; RR = Ramtillkraut/Rispenhirse; HS = Sommerroggen/Rauhafer)

Kultur	Ackerbohne									Ackerbohne								
Jahr/Aussaat	2018/DS									2018/MS								
Zwischenfrucht	ohne ZF			RR ZF			HS ZF			ohne ZF			RR ZF			HS ZF		
Unkrautregulierung	ohne	m	c	ohne	m	c	ohne	m	c	ohne	m	c	ohne	m	c	ohne	m	c
Marktleistung	131	136	249	188	210	304	383	393	612	133	348	326	258	332	431	238	372	492
Ausgleichszahlung	80	80	80	158	158	158	158	158	158	0	0	0	78	78	78	78	78	78
Verfahrenskosten	476	515	672	572	613	768	695	735	894	506	581	710	612	658	816	699	779	947
DAL mit Prämien	-265	-300	-343	-226	-245	-306	-155	-184	-124	-373	-234	-384	-276	-248	-308	-383	-329	-377

Tabelle 21: Ökonomische Auswertung, Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung (DAL) mit Prämien für den Standort Kleinwaltersdorf (A2) für Ackerbohne in Direkt- (DS) und Mulchsaat (MS) in 2019 hinsichtlich Unkrautregulierungsmethode (ohne; m = mechanisch; c = chemisch), Zwischenfrucht (ohne ZF = ohne Zwischenfrucht; RR = Ramtillkraut/Rispenhirse; HS = Sommerroggen/Rauhafer)

Kultur	Ackerbohne									Ackerbohne								
Jahr/Aussaat	2019/DS									2019/MS								
Zwischenfrucht	ohne ZF			RR ZF			HS ZF			ohne ZF			RR ZF			HS ZF		
Unkrautregulierung	ohne	m	c	ohne	m	C	ohne	m	c	ohne	m	c	ohne	m	c	ohne	m	c
Marktleistung	298	233	241	184	373	315	311	227	423	444	415	326	380	575	431	346	415	492
Ausgleichszahlung	80	80	80	158	158	158	158	158	158	0	0	0	78	78	78	78	78	78
Verfahrenskosten	557	718	644	628	718	747	734	770	858	654	695	710	742	805	816	828	805	947
DAL mit Prämien	-180	-187	-273	-285	-187	-273	-265	-385	-277	-210	-279	-384	-284	-152	-308	-404	-152	-377

Tabelle 22: Ökonomische Auswertung, Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung (DAL) mit Prämien für den Standort Naundorf (A3) für Ackerbohne in Direkt- (DS) und Mulchsaat (MS) in 2018 hinsichtlich Unkrautregulierungsmethode (ohne; m = mechanisch; c = chemisch), Zwischenfrucht (ohne ZF = ohne Zwischenfrucht; RR = Ramtillkraut/Rispenhirse; HS = Sommerroggen/Rauhafer)

Kultur	Ackerbohne									Ackerbohne								
Jahr/Aussaat	2018/DS									2018/MS								
Zwischenfrucht	ohne ZF			RR ZF			HS ZF			ohne ZF			RR ZF			HS ZF		
Unkrautregulierung	ohne	m	c	ohne	m	c	ohne	m	c	ohne	m	c	ohne	m	c	ohne	m	c
Marktleistung	335	329	n.a.	345	338	n.a.	324	367	n.a.	323	359	n.a.	322	358	n.a.	311	335	n.a.
Ausgleichszahlung	310	310	n.a.	388	388	n.a.	388	388	n.a.	230	230	n.a.	308	308	n.a.	308	308	n.a.
Verfahrenskosten	547	585	n.a.	639	677	n.a.	726	769	n.a.	575	618	n.a.	666	708	n.a.	754	795	n.a.
DAL mit Prämien	98	54	n.a.	94	49	n.a.	-14	-14	n.a.	-22	-29	n.a.	-36	-29	n.a.	-135	-153	n.a.

Tabelle 23: Ökonomische Auswertung, Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung (DAL) mit Prämien für den Standort Naundorf (A3) für Ackerbohne in Direkt- (DS) und Mulchsaat (MS) in 2019 hinsichtlich Unkrautregulierungsmethode (ohne; m = mechanisch; c = chemisch), Zwischenfrucht (ohne ZF = ohne Zwischenfrucht; RR = Ramtillkraut/Rispenhirse; HS = Sommerroggen/Rauhafer

Kultur	Ackerbohne									Ackerbohne								
Jahr/Aussaat	2019/DS									2019/MS								
Zwischenfrucht	ohne ZF			RR ZF			HS ZF			ohne ZF			RR ZF			HS ZF		
Unkrautregulierung	ohne	m	c	ohne	m	c	ohne	m	c	ohne	m	c	ohne	m	c	ohne	m	c
Marktleistung	335	329	n.a.	345	338	n.a.	324	367	n.a.	323	359	n.a.	322	358	n.a.	311	335	n.a.
Ausgleichszahlung	310	310	n.a.	388	388	n.a.	388	388	n.a.	230	230	n.a.	308	308	n.a.	308	308	n.a.
Verfahrenskosten	547	585	n.a.	639	677	n.a.	726	769	n.a.	575	618	n.a.	666	708	n.a.	754	795	n.a.
DAL mit Prämien	98	54	n.a.	94	49	n.a.	-14	-14	n.a.	-22	-29	n.a.	-36	-29	n.a.	-135	-153	n.a.

4.1.4 2021

Im Untersuchungsjahr 2021 wurde ein "praxisnahes Upscaling" an drei weiteren Standorten durch das LfULG vorgenommen und auf die teilflächenspezifische Unkrautregulierung mit einem Zinkenstriegel durchgeführt. Die folgenden Fragestellungen standen im Fokus der Untersuchung: i) kann eine teilflächenspezifische Unkrautregulierung den Unkrautdeckungsgrad weiter absenken z.B. durch effektive Nesterbekämpfung, weniger Anregung der Keimung durch verminderten Lichtreiz und somit zu einem höheren Ertrag führen als eine ganzflächige Unkrautregulierung, ii) kann durch einen weiteren Faktor Arbeitsintensität (z.B. Zinkendruck) eine effizientere Unkrautregulierung stattfinden. Dahingehend wurden am Standort Köllitsch zwei Flächen etabliert. Der Standort K1 (820 x 24 m) wurde mit Winter-Ackerbohne bestellt und als Streifenversuch angelegt, der Standort K2 (620 x 72 m) mit Futtererbse bestellt. Am Standort Nossen wurde eine Fläche von 50 x 198 m mit Ackerbohne etabliert. Der Faktor "Zinkendruck" konnte nur auf dem Standort in Nossen berücksichtigt werden und wurde im Versuch in "normal", "stark" (praxisüblich) und eine "dynamische" Variante klassifiziert. Die dynamische Variante definiert sich aus einem festgelegten Grenzwert, der den Deckungsgrad der Verunkrautung angibt. Wird dieser Grenzwert überschritten verändert sich der "normale" Zinkendruck in einen "starken" Zinkendruck. Die Auswertung der Flächen erfolgte mittels Geoinformationssystem (ArcGIS 10.5.1)

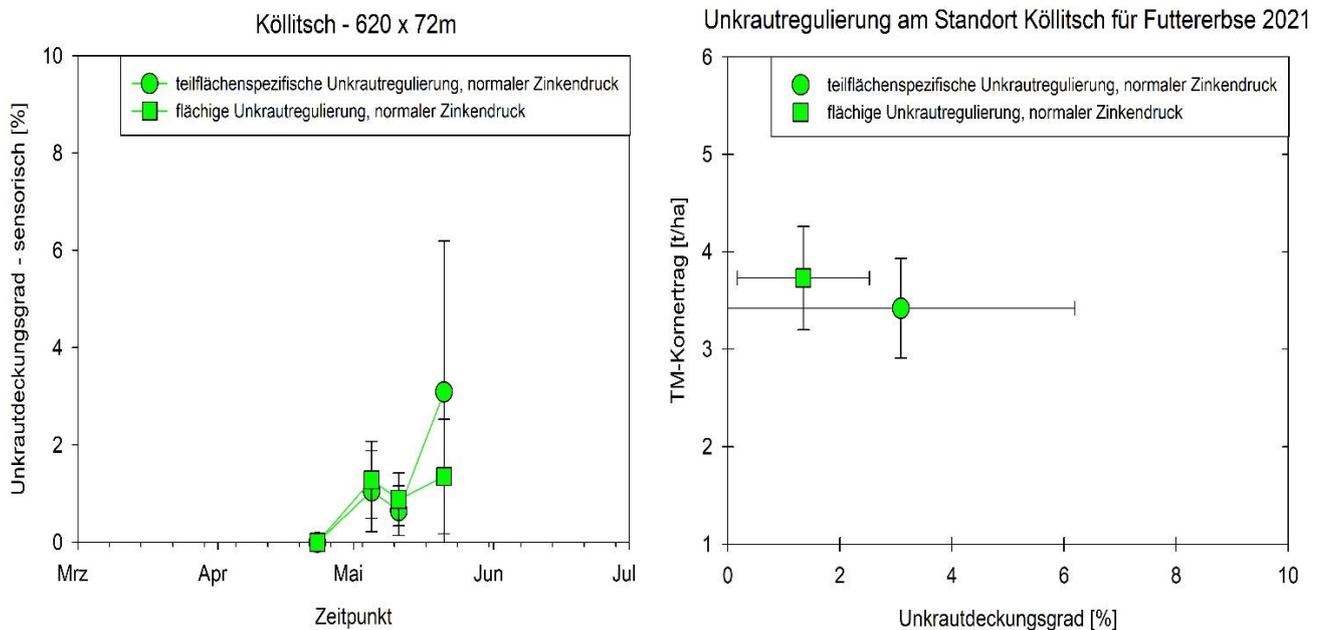


Abbildung 34:A) zeitlicher Verlauf der Verunkrautung (sensorisch) am Standort K2 und B) Verhältnis zwischen TM-Kornertrag (Mittelwert aus n=500) und Unkrautdeckungsgrad (Mittelwert aus n=3500), für teilflächenspezifische (hellgrüner Kreis) und flächige Unkrautregulierung (hellgrünes Quadrat) in Futtererbse

Am Standort K1 konnte kein Unterschied zwischen teilflächiger und flächiger Unkrautregulierung hinsichtlich DG und Ertrag festgestellt werden. Im Herbst 2020 erfolgte hier keine Unkrautregulierung. Aufgrund des gut entwickelten Bestand der Winterbohne (BBCH > 15, 22.04.2021) konnten nur 2 Striegelgänge realisiert werden. 2 Striegelgänge reichen per se nicht aus um signifikante Unterschiede zu generieren (Daten nicht gezeigt). In der Winter-Ackerbohne dominierten annuelle Unkräuter wie Taubnessel, Vogelmiere und Kamille.

Am Standort K2 (Abbildung 34) konnte nach 3 Striegelgängen auch kein signifikanter Unterschied, zwischen teilflächiger und flächhafter Unkrautregulierung hinsichtlich DG und Ertrag festgestellt werden. Auffällig war die in Abbildung 34 ersichtliche Spätverunkrautung im Versuchsglied teilflächenspezifische Unkrautregulierung. Aufgrund

dieser hohen zeitlich, variablen Dynamik empfiehlt sich die Berücksichtigung eines "dynamischen" Grenzwertes, der mit dem BBCH der Kulturpflanze ansteigt.

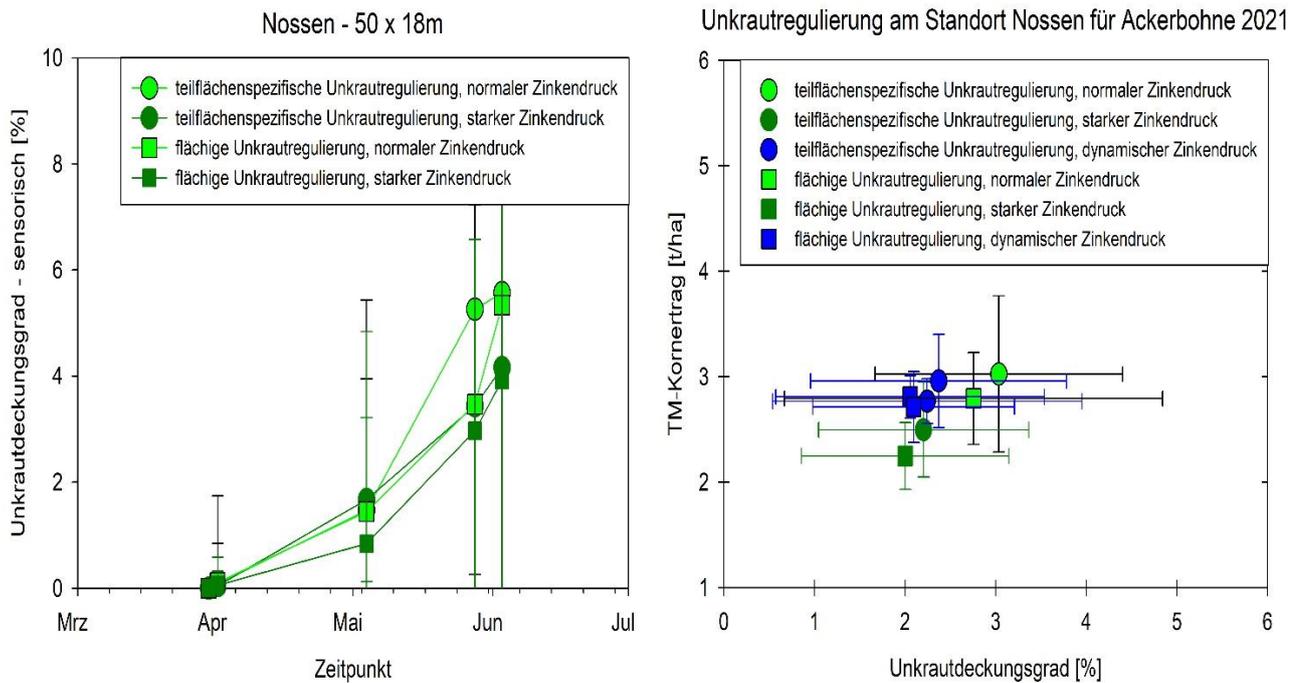


Abbildung 35:A) zeitlicher Verlauf der Verunkrautung (sensorisch) am Standort Nossen und B) Verhältnis zwischen TM-Kornertrag (Mittelwert aus n=4) und Unkrautdeckungsgrad (Mittelwert aus n=1000), für teilflächenspezifische Unkrautregulierung (hellgrüner Kreis), flächige Unkrautregulierung normaler Zinkendruck (hellgrünes Quadrat) und für teilflächenspezifische Unkrautregulierung (dunkelgrüner Kreis), flächige Unkrautregulierung starker Zinkendruck (dunkelgrünes Quadrat) und für teilflächenspezifische Unkrautregulierung (blauer Kreis), flächige Unkrautregulierung dynamischer Zinkendruck (blaues Quadrat) in Ackerbohne

Am Standort Nossen konnten ebenfalls keine signifikanten Unterschiede, nach 5 Striegelgängen zwischen teilflächiger und flächhafter Unkrautregulierung hinsichtlich Deckungsgrad und Ertrag festgestellt werden (Abbildung 35). Auch auf diesem Standort etablierte sich eine deutliche Spätverunkrautung. Grundlegend lässt sich jedoch der Trend ableiten, dass beim Einsatz eines starken Zinkendrucks mit einer Ertragsminderung zu rechnen ist. Am schlechtesten schneiden Systeme ab, die ganzflächig mit starkem Zinkendruck Unkraut regulieren. Ursache dafür dürften Verletzungen und Verluste der Kulturpflanze durch die aggressiv arbeitenden Zinken sein. Am effektivsten arbeiten Systeme mit einer teilflächigen Unkrautregulierung und einem variablen/dynamischen Zinkendruck.

Grundlegend konnte gezeigt werden, dass eine teilflächenspezifische Unkrautregulierung in Echtzeit auf großen praxishen heterogenen Schlägen (Upscaling) möglich und auf andere mechanische Arbeitsgeräte übertragbar ist (Zinkenstriegel). Darüber hinaus konnte eine weitere Optimierung umgesetzt werden z.B. Berücksichtigung eines dynamischen Zinkendrucks in Echtzeit.

4.2 HO

4.2.1 2018

Im Folgenden werden die gewonnenen Erkenntnisse und Ergebnisse der Auswertung der Daten aus der sensorischen Erfassung des Beikrautdeckungsgrades beschrieben. In Abbildung 36 ist der Unkrautdeckungsgrad am 08.05. und am 17.05. sowohl in Ackerbohne als auch in Erbse dargestellt. Es ist deutlich zu erkennen, dass das natürliche Unkrautunterdrückungspotential der Ackerbohne höher liegt als das der Erbse. Die Behandlungsstufen (Zwischenfrucht sowie Beikrautregulierung) wurden hierbei für Ackerbohne und Erbse gemittelt. Schon am 08.05. (ca. vier Wochen nach der Aussaat) betrug der Unkrautdeckungsgrad bei einheitlicher Vorbewirtschaftung 1,1 % in der Ackerbohne und 6,9 % in der Erbse. 10 Tage später erhöhte sich der Unkrautdeckungsgrad in der Ackerbohne nur leicht auf ca. 1,5 % und in der Erbse deutlich auf 11,8 %. Die natürliche Neigung zur Verunkrautung ist somit bei der Erbse vielfach höher. Durch die typische Blattmorphologie mit wenig Beschattung können die vorliegenden Ergebnisse den Stand des Wissens bestätigen. Die Differenzierung von mono- und dikotylen Beikräutern ergab bei beiden Terminen in der Ackerbohne keine großen Unterschiede. Bei der Erbse dagegen nahmen die monokotylen zum zweiten Messtermin deutlich zu. Am 08.05. lag das Verhältnis bei 70/30 (dikotyl/monokotyl), am 17.05. dagegen wechselten die Verhältnisse auf 30/70. Bei vier auswertbaren Sensormessterminen vom 19.04. – 17.05. wurde zu jedem Zeitpunkt eine Handbonitur mittels Göttinger Schätzrahmen durchgeführt. Die Vergleichsergebnisse zwischen Sensorbeprobung und Handbonitur sind im Folgenden dargestellt (Abbildung 37). Bei den beiden ersten Beprobungsterminen (19.04. und 23.04.2018) 7 bzw. 11 Tage nach der Aussaat wurden die Beikrautdeckungsgrade auf einem sehr geringen Niveau bonitiert. Diese lagen am 19.04. bei ca. 0,2 % und stiegen zum 23.04. auf 0,4 % an. Durch die Sensormessung konnten selbst bei niedrigen Werten bereits deutliche Unterschiede zwischen Erbse und Ackerbohne ermittelt werden. Bei der Handbonitur war dies zu diesem frühen Stadium noch nicht möglich. 14 Tage später konnten am 08.05. bei der sensorischen Erfassung höhere Beikrautdeckungsgrade in der Erbse (5,8 %) gegenüber der Ackerbohne (1 %) ermittelt werden. Die durch die Handbonitur erhobenen Werte lagen bei der Ackerbohne im selben Bereich bei 1,1 %, bei der Erbse aber niedriger bei 0,9 %. Bei der am 17.05. durchgeführten sensorischen Messung konnten sich die zuvor ermittelten Unterschiede zwischen Ackerbohne und Erbse bei höherem Unkrautdeckungsgrad bestätigen. Auch bei der Handbonitur lagen die Unkrautdeckungsgrade am 17.05. deutlich höher als am 08.05. Auffällig war, dass die ermittelten Werte der Handbonitur genau wie am 08.05. bei der Ackerbohne höher bonitiert wurden als bei der Erbse. Somit wurde der Unkrautdeckungsgrad der Handbonitur gegenüber der Sensorbeprobung unterschätzt. Durch die sehr enge Messabfolge des Sensors (10 Bilder pro Sekunde) ist die erfasste Datenmenge um einiges höher als bei der Handbonitur. Somit ist die niedrigere Standardabweichung zu erklären.

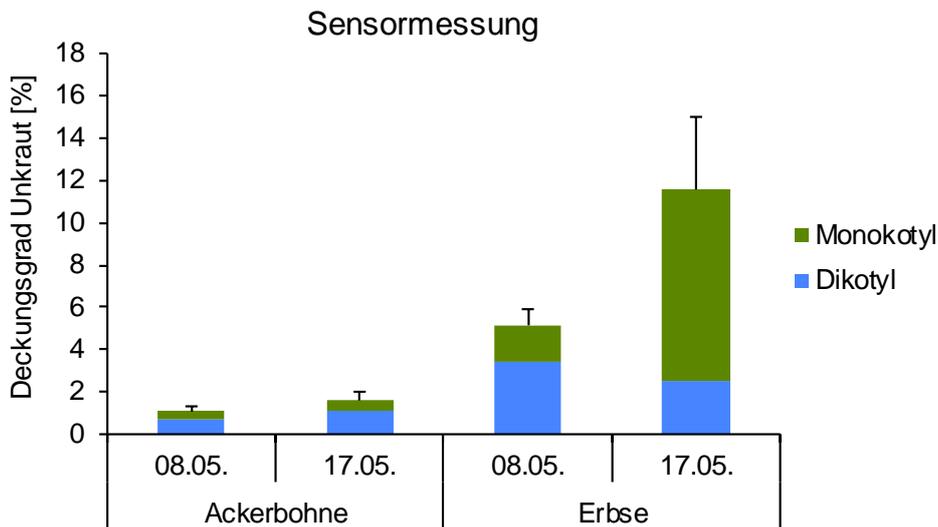


Abbildung 36: Mittelwerte der Unkrautdeckungsgrade bei zwei Messterminen (08.05 und 17.05 2018) in Ackerbohne und Erbse

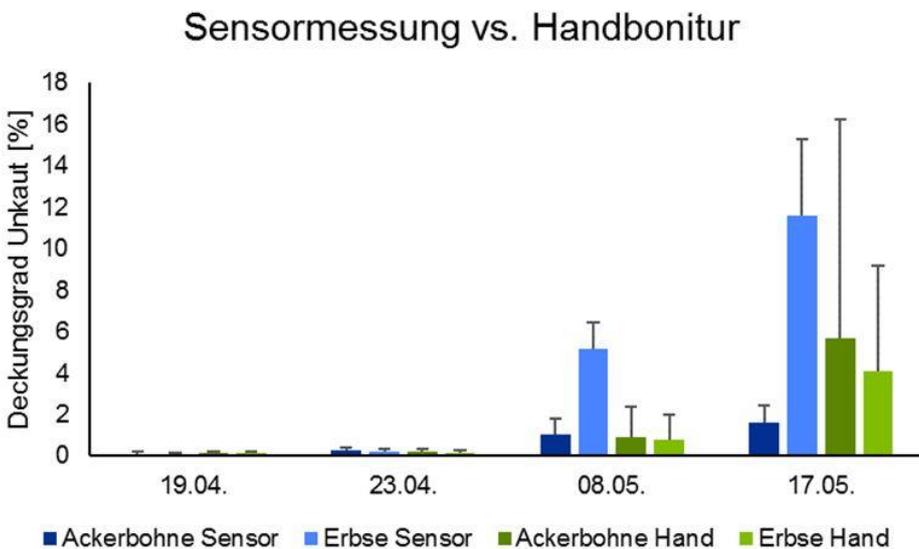


Abbildung 37: Mittelwerte der Unkrautdeckungsgrade bei vier Messterminen in Ackerbohne und Erbse verglichen mit Handbonitur

In der nachfolgenden Abbildung 38 ist die Beikraut unterdrückende Vorfruchtwirkung von insgesamt drei Versuchsvarianten dargestellt. Bei allen vier Messterminen ist der ermittelte Beikrautdruck in der Variante ohne Zwischenfrucht am höchsten. Der Anbau des Gemenges mit RR vor der Ackerbohne bzw. Futtererbse führte zu einer Reduktion des gemessenen Unkrautdrucks in der Versuchsfläche und damit auch der Unkrautdeckungsgrade. Zur wirksamsten Reduktion des Unkrautdeckungsgrades führte das Gemenge aus Hafer und Sommerroggen. Hierbei konnten zu allen vier Beprobungsterminen Vorteile gegenüber den ohne Zwischenfrucht eingesäten Versuchsvarianten gemessen werden. Auch wie der folgenden Abbildung 37 zu entnehmen ist, konnten die Ergebnisse mit der Handbonitur bestätigt werden. Sowohl bei der Sensormessung als auch der Handbonitur zeigt die Variante ohne Zwischenfrucht den höchsten Unkrautdeckungsgrad, gefolgt von den Varianten RR und HS. Des Weiteren ist anzumerken, dass hier das Unkrautwachstum in beiden Varianten mit Zwischenfrucht niedriger ist. Bei der Handbonitur ist die Abstufung der drei Prüfglieder deutlich differenzierter. Der Unkrautdeckungsgrad wurde bei der Handbonitur gegenüber den Ergebnissen der Sensormessung tendenziell unterschätzt. Hierbei sind aufgrund der wesentlich kürzeren Messintervalle auch niedrigere Standardabweichungen zu erkennen.

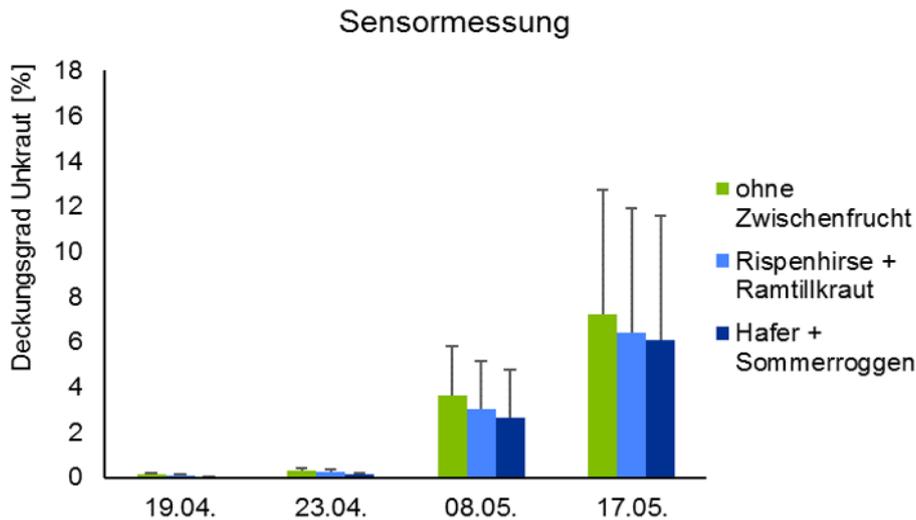


Abbildung 38: Mittelwerte der Unkrautdeckungsgrade bei vier Messterminen bezogen auf drei unterschiedliche Vorfrüchte (Messdurchführung mittels Sensor)

Des Weiteren ist in der Abbildung 39 die Differenzierung in mono- und dikotyle Beikräuter zu sehen. Bei dem Leguminosenanbau ohne vorherige Zwischenfrucht liegt das Verhältnis bei der Messung am 08.05 bei 30 % monokotylen und 70 % dikotylen Beikräutern. In der gleichen Variante ändert sich das Verhältnis bei der Messung am 17.05. in 70 % monokotyle und 30 % dikotyle Beikräuter. Auch in den weiteren beiden Vorfruchtvarianten (RR und HS) ist ein ganz ähnliches Verhältnis bei den beiden Messterminen (08.05. und 17.05.) zu beobachten. Signifikante Unterschiede zwischen den Versuchsvarianten konnten in Bezug auf mono- und dikotyle Unkräuter nicht festgestellt werden.

In der folgenden Abbildung 40 ist der Unkrautdeckungsgrad von Ackerbohne und Erbse zu zwei Sensormessterminen (08.05. und 17.05.) bei drei Unkrautregulierungsvarianten zu erkennen. Der Deckungsgrad in der Ackerbohne (0,5 – 1,8 %) ist am 08.05 wesentlich niedriger als der Deckungsgrad der Erbse (5,1 - 6,0 %) zum selben Zeitpunkt. Sowohl am 08.05 als auch am 17.05. ist in der Ackerbohne der Unkrautdeckungsgrad der Kontrollvariante höher als bei der Striegel- oder der Herbizidvariante. Letztere zeigt zu diesem Zeitpunkt die niedrigsten Beikrautdeckungsgrade. Die gleiche Variantenabstufung ergibt sich in der zweiten Messung am 17.05. in der Ackerbohne auf einem minimal höheren Beikrautniveau. Bei der Messung am 08.05. in der Erbse liegen die Deckungsgrade deutlich höher bei 4-6 %. Auch hier liegen die Deckungsgrade der Kontrollvariante am höchsten. Die geringste Beikrautdichte wurde am 08.05. in der Striegelvariante erfasst. Der Unkrautdeckungsgrad war in der Herbizidvariante tendenziell höher als in der Striegelvariante, was aber nicht statistisch abgesichert werden konnte. Am 17.05. lag der Unkrautdeckungsgrad im Erbsenbestand in der Herbizidvariante bei über 15 %. Zeitgleich liegt er bei der Handbonitur zum selben Zeitpunkt bei unter einem Prozent. Somit liegt die Vermutung nahe, dass zum späten Boniturzeitpunkt die Erbse sensorisch nicht vom Unkraut unterschieden werden kann. Bei der Ackerbohne ist dies nicht der Fall.

Wahrscheinlich konnte der in den Messungen verwendete Algorithmus für Raps die Futtererbse in fortgeschrittenem BBCH-Stadium (>35) nicht mehr erkennen, die Ackerbohne hingegen etwas länger (BBCH >51). Für die Kulturpflanzen Futtereses und Ackerbohne existiert momentan noch kein eigener Algorithmus.

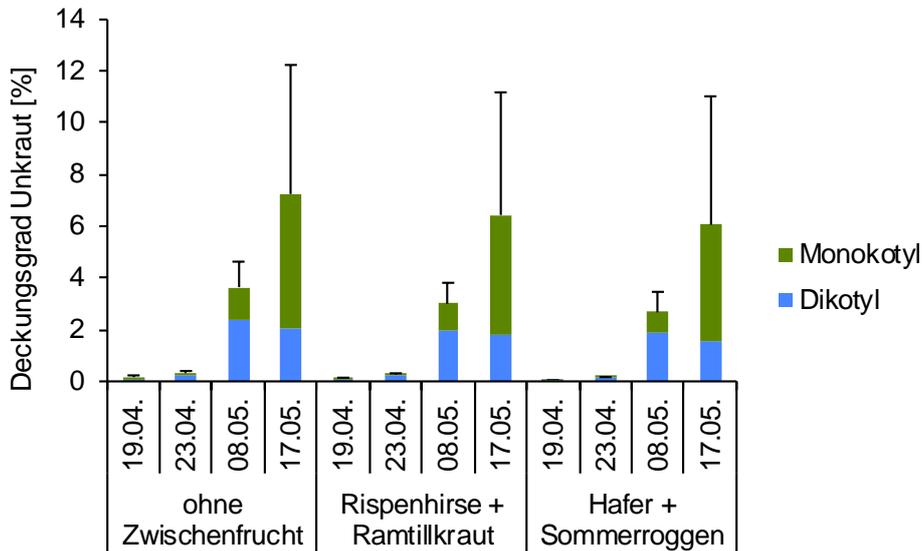


Abbildung 39: Mittelwerte der Unkrautdeckungsgrade bei vier Messterminen bezogen auf drei unterschiedliche Zwischenfrüchte inkl. Aufspaltung in mono- und dikotyle Beikräuter

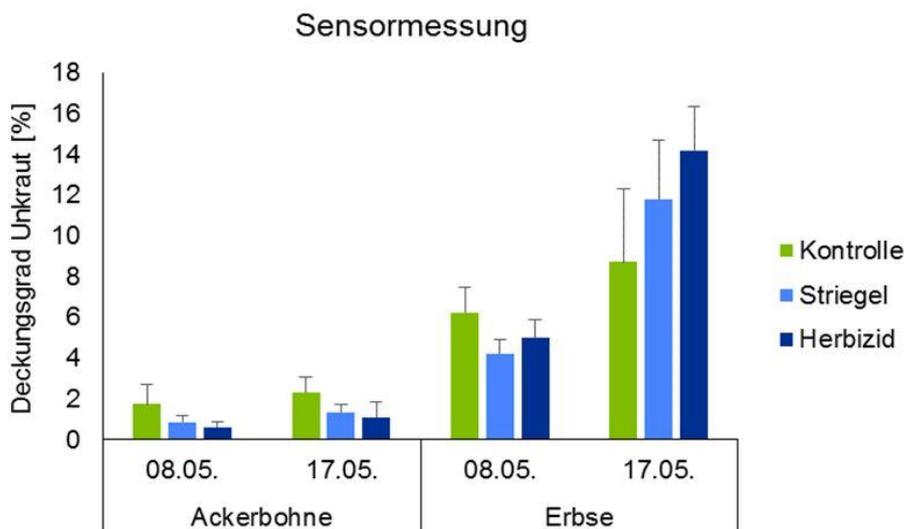


Abbildung 40: Mittelwerte der Unkrautdeckungsgrade bei zwei Messterminen bezogen auf drei unterschiedliche Beikrautregulierungsvarianten (Messdurchführung mittels Sensor)

Die in Abbildung 41 dargestellten Handbonituren der Unkrautdeckungsgrade in drei Beikrautregulierungsvarianten beschreiben gegenüber der Sensormessung zum gleichen Zeitpunkt ein anderes Bild. Unkrautdeckungsgrad der Kontrollvariante wird in beiden Kulturen zu beiden Zeitpunkten zum Teil deutlich überschätzt. In der Variante Striegel und Herbizid hingegen wird der Unkrautdeckungsgrad gegenüber der Sensormessung unterschätzt. Die Standardabweichung fällt auch bei dieser Messserie bei der Handbonitur zum Teil deutlich höher aus. In der Ackerbohne wurden am 08.05. die höchsten Unkrautdeckungsgrade in der Kontrollvariante festgestellt. Striegel und Herbizid unterscheiden sich zu diesem Zeitpunkt nicht. Am 17.05. dagegen unterscheiden sich alle drei Versuchsvarianten nicht signifikant voneinander. Am 08.05. ist ein ähnliches Bild auch in der Erbse zu finden. Am 17.05. unterscheiden sich alle Varianten nicht signifikant voneinander. Die Herbizidvariante hat mit ca. 1 % vor dem Striegel mit 3 % Deckungsgrad den niedrigsten Beikrautbesatz. Die Kontrolle liegt zu diesem Zeitpunkt bei 9,5 %.

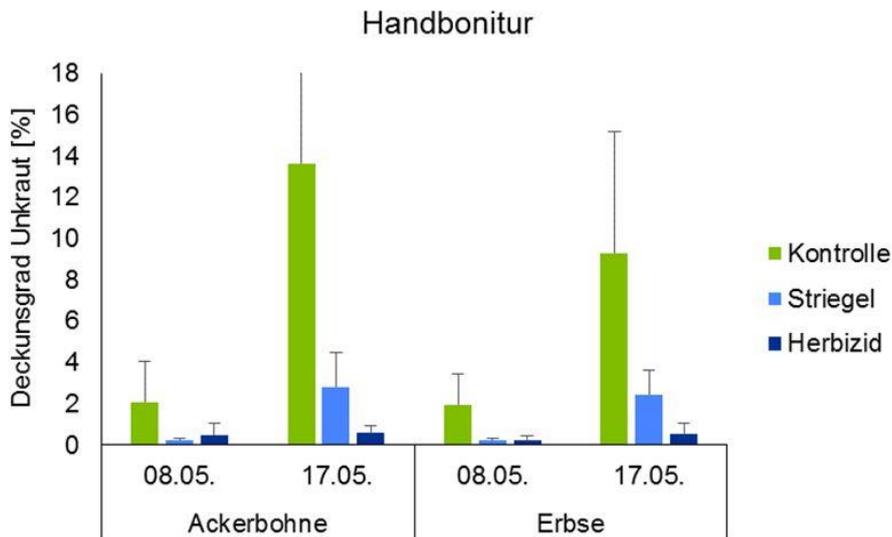


Abbildung 41: Mittelwerte der Unkrautdeckungsgrade bei zwei Messterminen bezogen auf drei unterschiedliche Beikrautregulierungsvarianten (Messdurchführung mittels Handbonitur)

Abschließend ist in der Abbildung 42 die Aufspaltung der Beikräuter in mono- und diykotyle Beikräuter zu sehen. In der Kontrollvariante liegt das Verhältnis bei der Messung am 08.05. bei 30 % monokotylen und 70 % dikotylen Beikräutern. In der gleichen Variante ändert sich das Verhältnis bei der Messung am 17.05. in 60 % monokotyl und 40 % dikotyle. Auch in den weiteren beiden Regulierungsvarianten ist ein ganz ähnliches Verhältnis bei den beiden Messterminen (08.05. und 17.05.) zu beobachten. Bei der Striegelvariante liegt das Verhältnis am 08.05. bei 20 % mono- und 80 % dikotyle, am 17.05. dagegen wechselt der Anteil auf 60 % mono- und 40 % dikotyle Beikräuter. Das gleiche Verhältnis wie in der Striegelvariante liegt am 08.05. auch in der Herbizidvariante vor. Zum 17.05. hingegen ist der Anteil an monokotylen Beikräutern nochmals höher bei rund 80 % zu 20 % bei dikotylen Beikräutern.

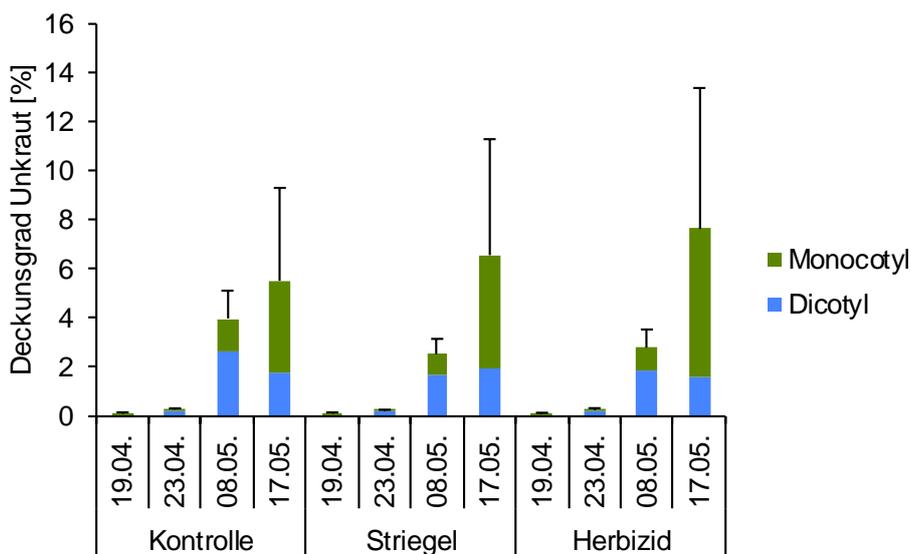


Abbildung 42: Mittelwerte der Unkrautdeckungsgrade bei vier Messterminen bezogen auf drei unterschiedliche Unkrautregulierungsvarianten inkl. Aufspaltung in mono- und dikotyle Beikräuter

Im Vergleich zu den Handboniturmessungen kann durch die sensorische Erfassung des Unkrautdeckungsgrades der kritische Zeitpunkt zur Unkrautentfernung genauer und früher ermittelt werden. Im Versuchsjahr 2018 ist der Striegeleinsatz zur Beikrautregulierung ebenso erfolgreich wie die Herbizidvariante. Weiterhin ist festzuhalten, dass

die Ackerbohne aufgrund ihres Habitus ein höheres Unterdrückungsvermögen gegenüber Unkräutern aufweist als die Erbse. Durch den Anbau von Zwischenfrüchten (getestet RR und HS) kann der Beikrautdruck reduziert werden.

Das Nicht-Erfassen von Problemunkräutern mit Null-Toleranz-Schwelle sowie das Verwechseln von Hauptkultur und Unkraut in späteren Stadien führt dazu, dass das Messsystem in diesem Fall Grenzen aufzeigt. Des Weiteren ist eine Einsatzempfehlung des Segmenthebers von verschiedensten Außenfaktoren, wie dem generellen Unkrautdruck der Fläche, dem Feuchtigkeitsgehalt des Bodens, dem Entwicklungszustand der Hauptkultur und dem Witterungsverlauf während und nach der Regulierungsmaßnahme, abhängig. Um detailliertere Kenntnisse zu erlangen, wurde für die Vegetationsperiode 2019 eine Erweiterung der Versuchsanlage in Osnabrück vorgenommen. Dabei wurde die Frage des Schadschwellenprinzips zum Ein- und Aussetzen des Segmenthebers anhand eines Schwellenwertes genauer untersucht. Die Versuchsanlage wurde mit der Kultur Ackerbohne durchgeführt.

4.2.2 2019

Nach der Messung mittels H-Sensor wurden die Daten den einzelnen Parzellen zugeordnet werden. Bei der DG Ermittlung wurden ebenfalls die GPS-Koordinaten für den jeweiligen Messpunkt aufgezeichnet. Dies ermöglicht die genaue Zuordnung der Messwerte für die verschiedenen Varianten. Die Messung wurde in 6 Bahnen unterteilt, wobei jede Bahn 4 Parzellen enthielt. Um die Genauigkeit zu erhöhen und um Randeffekte auszuschließen, wurden jeweils 1 Meter zu Beginn und am Ende einer jeden Parzelle nicht berücksichtigt. Jede Bahn wurde daraufhin separat ausgewertet. Ebenfalls wurden Messpunkte entfernt, welche als Ausreißer gewertet wurden, da sie deutliche Abweichungen von den vorhandenen manuellen Messpunkten aufwiesen. In Abbildung 43 sind die gesetzten Grenzen in orange und die einzelnen Messpunkte in blau markiert. Jeder Punkt steht für einen Messpunkt.

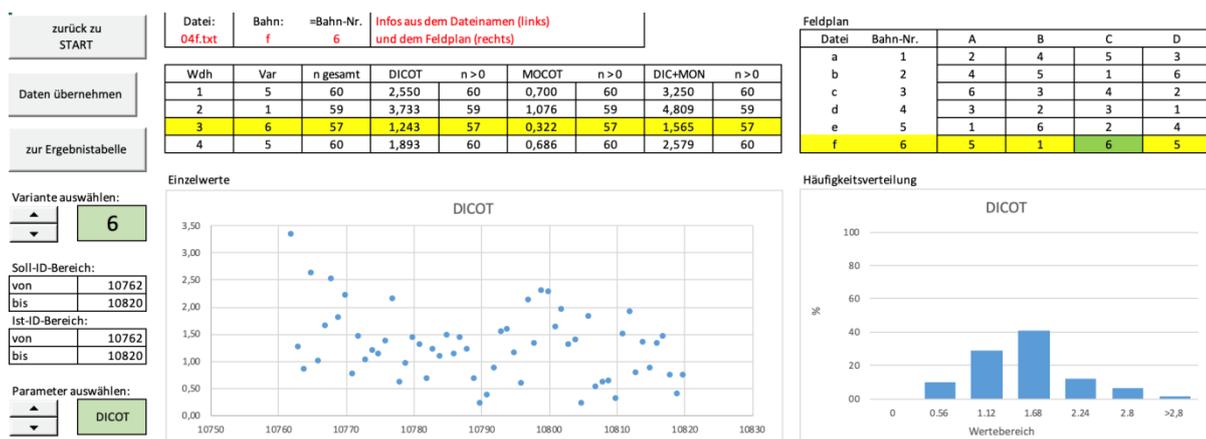


Abbildung 43: Ermittlung von Unkrautdeckungsgraden [%] der Parzelle von monokotylen und dikotylen Unkräutern (Beispiel vom 13.05.2019)

Anhand dieser Daten wurden die zugeordneten Sensordaten ausgewertet. Ziel dieser aufwendigen Auswertung direkt nach der Messung im Feld war eine Qualitätskontrolle der Funktionsweise des Sensors, die gleichzeitig mit der Messung erfolgte. In Abbildung 43 ist die Anzahl an Messpunkten pro Parzelle zu sehen die durch das entwickelte Programm schnell und ohne Zeitverzug kontrolliert werden konnte. Auf Grundlage der Auswertung der einzelnen Varianten wurde entschieden, ob eine mechanische Unkrautregulierung mittels Rollhacke stattfinden musste oder ob die Schadschwelle der Parzelle nicht erreicht wurde. Dabei wurden alle Messpunkte einer Parzelle zusammengefasst und ein Mittelwert gebildet. Anders als im Vorjahr wurden keine Unterschiede zwischen mono- und dikotylen Unkräutern erfasst, da der Rollstreigel nicht selektiv arbeiten kann. Die sensorisch ermittelten Daten wurden in der Auswertung und Beurteilung zusammengefasst.

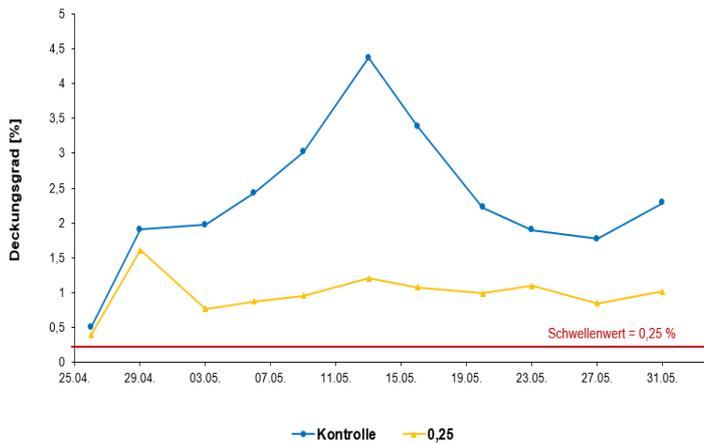


Abbildung 44: Verlauf des Unkrautdeckungsgrades bei der Variante 0,25 % Schwellenwert

In Abbildung 44 ist der Verlauf des Unkrautdeckungsgrades der Variante 2 mit dem Schwellenwert von 0,25 % abgebildet. Zu sehen ist, dass der Schwellenwert von 0,25 % zu jedem Zeitpunkt überschritten wurde. Jedoch konnte auf Grundlage der mechanischen Unkrautregulierung ein nahezu konstanter Unkrautdeckungsgrad gehalten werden. In der zweiten Messung am 29.04.2019 erreichte diese Variante ihren maximalen Unkrautdeckungsgrad bei 1,6 %. Der niedrigste Wert wurde bei der ersten Messung am 26.04.2019 ermittelt und betrug 0,38 %. Aus der Abbildung 44 geht hervor, dass im Vergleich zur Kontrollvariante 1 die Variante 2 mit 0,25 % einen geringeren Unkrautdeckungsgrad aufweisen kann. Die maximale Differenz zwischen der Kontrollvariante und der 0,25 %-Variante betrug 3,1 % (13.05.2019) (Abbildung 44). Im Überblick sind keine signifikanten Unterschiede zur Kontrollvariante in den ersten beiden Messterminen sowie bei Messtermin 9 und 10 erkennbar. Ebenfalls unterscheidet sich die Variante 2 zu keinem Zeitpunkt signifikant von den restlichen Varianten des Versuches. Zum letzten Messtermin (31.05.2019) wurde ein Unkrautdeckungsgrad von 1 % erreicht. Nach Durchführung der letzten Unkrautregulierung wurde die Variante 2 bis zur Ernte nicht weiter betrachtet, da der Pflanzenbestand aufgrund der Pflanzenhöhe nicht mehr mit einem Rollstriegel befahren und reguliert werden konnte.

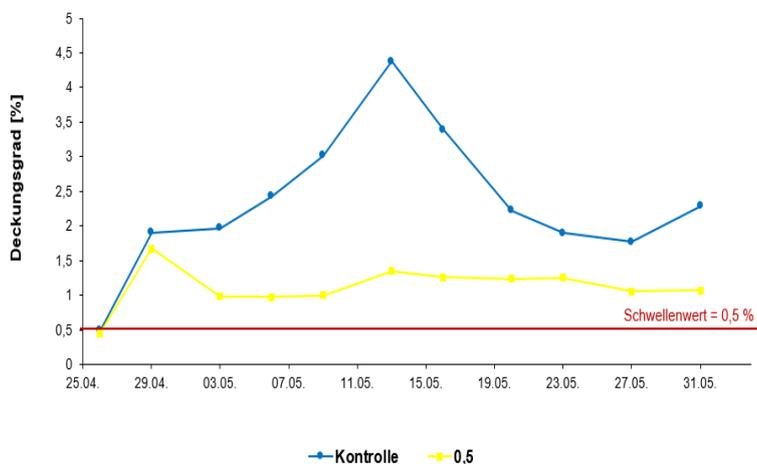


Abbildung 45: Verlauf des Unkrautdeckungsgrades bei der Variante 0,5 % Schwellenwert

In Abbildung 45 ist der Verlauf des Unkrautdeckungsgrades aus Variante 3 (Schwellenwert 0,5 %) im Vergleich zur Kontrollvariante 1 zu erkennen. Unterschritten wurde der Schwellenwert lediglich zu einem einzigen Zeitpunkt im erfassten Zeitraum. Hierbei handelt es sich um den ersten Messtermin am 26.04.2019. Die Variante 3 erreichte hier einen Unkrautdeckungsgrad von 0,45 %. Durch die mechanische Unkrautregulierung konnte der

Unkrautdeckungsgrad in einem Bereich von 0,97 % bis 1,35 % gehalten werden. Im Vergleich zwischen der Variante 3 und der Kontrollvariante 1 ist eine Differenz von 3 % auszumachen. Signifikante Unterschiede zu der Kontrollvariante sind in den Messterminen 3, 4, 5, 6, 7 und 10 zu erkennen. Ebenfalls bestehen keine signifikanten Unterschiede zwischen den anderen Varianten zu allen Terminen. Zum letztmaligen Messzeitpunkt am 31.05.2019 wurde ein Unkrautdeckungsgrad von 1,06 % ermittelt. Auch diese Variante wurde daraufhin nicht weiterverfolgt.

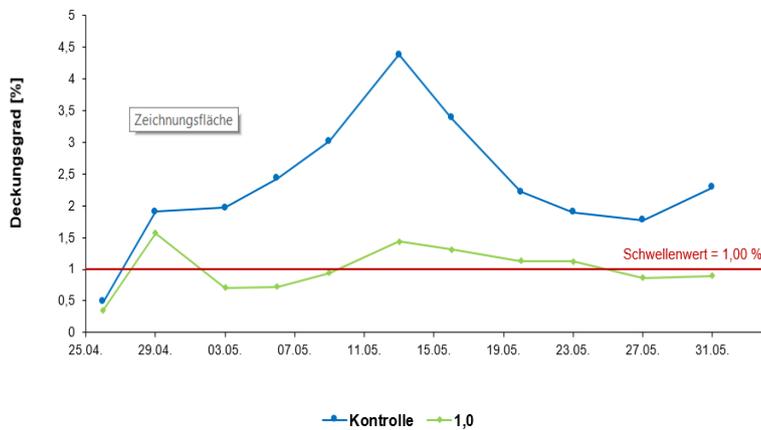


Abbildung 46: Verlauf des Unkrautdeckungsgrades bei der Variante 1,0 % Schwellenwert

In der obenstehenden Abbildung 46 ist der Verlauf des Unkrautdeckungsgrades in Variante 4 (grüne Linie) zu erkennen. In 6 der 10 Messterminen wurde ein Unkrautdeckungsgrad ermittelt, der sich unter dem Schwellenwert von 1,0 % befand. Hierbei handelt es sich um die Messtermine 26.04., 03.05., 06.05., 09.05., 27.05. und 31.05.2019. Dies bedeutet, dass an jenen Terminen keine mechanische Unkrautregulierung in der Variante stattgefunden hat. Lediglich am 29.04.2019 und im Zeitraum vom 13.05.2019 bis zum 23.05.2019 wurde in dieser Variante der Schwellenwert überschritten. Die maximale ermittelte Differenz zwischen der Variante 4 und der Kontrollvariante lag bei ca. 2,9 % Deckungsgrad. Ein signifikanter Unterschied zwischen der Variante 4 und der Kontrollvariante konnte an den Messterminen 3, 4, 5, 6, 7, 8 und 10 festgestellt werden. Darüber hinaus bestehen keine signifikanten Unterschiede zwischen der Variante 4 und den verbleibenden Varianten. 0,89 % betrug der Unkrautdeckungsgrad am letzten durchgeführten Messtermin 31.05.2019. Daraufhin wurde keine weitere Messung in dieser Variante durchgeführt, sodass bis zu der Ernte ebenfalls keine weiteren Unkrautregulierungen mehr stattfanden.

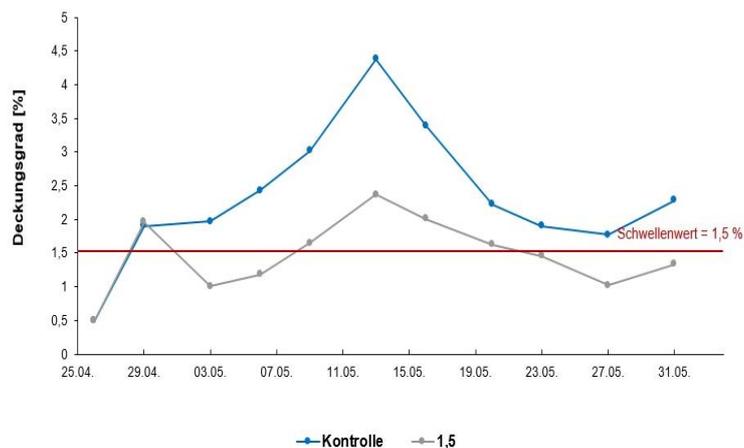


Abbildung 47: Verlauf des Unkrautdeckungsgrades bei der Variante 1,5 % Schwellenwert

In Abbildung 47 ist der Verlauf der Verunkrautung bei einem der Schwellenwert von 1,5 % Unkrautdeckungsgrad. Auch in dieser Variante lagen die Unkrautdeckungsgrade an 6 Messterminen unterhalb des Schwellenwertes von 1,5 %. Im Verlauf ist zu erkennen, dass der Deckungsgrad durch die nicht durchgeführte Regulierungsmaßnahme zum ersten Messtermin am 25.04.2019 um 1,5 % anstieg. Dies wurde zum 2. Messtermin am 29.04.2019 festgestellt. Daraufhin erfolgte eine Regulierungsmaßnahme, die den Deckungsgrad auf 1 absenkte. Im weiteren Verlauf stieg der Unkrautdeckungsgrad bis zum Termin 6 auf 2,3 % an. Hierbei betrug die Differenz zur Kontrollvariante ca. 2 %. Den Schwellenwert unterschritt die Variante 5 erstmalig wieder am 23.05.2019. Hier betrug der Unkrautdeckungsgrad 1,46 %. Bis zum letzten Termin der Messperiode wurde der Schwellenwert nicht mehr überschritten. In dieser Variante sind signifikante Unterschiede zur Kontrollvariante an den Messterminen 3, 4, 5, 6, 7 und 11 zu erkennen. Abweichend hiervon bestehen keine signifikanten Unterschiede zwischen der Variante 5 und den verbleibenden Varianten. Am 31.05.2019 betrug der Unkrautdeckungsgrad 1,33 %, welches der letzte Termin zur Ermittlung des Deckungsgrades in dieser Variante war. Im weiteren Verlauf bis zur Ernte der Ackerbohne erfolgten aufgrund der Pflanzhöhen keine weiteren Regulierungsmaßnahmen.

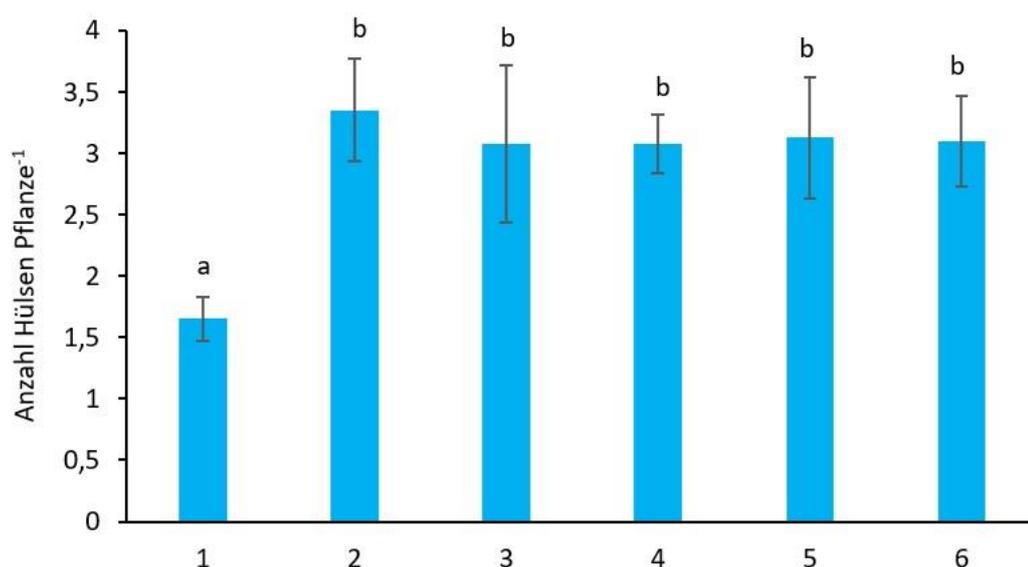


Abbildung 48: Mittelwerte der Anzahl Hülsen pro Pflanze zum Zeitpunkt der Ernte

In der Abbildung 48 wird die Anzahl der Hülsen pro Pflanze, welche am Tag der Ernte ermittelt wurden, gezeigt. Der niedrigste Hülsenansatz wurde bei der Kontrollvariante (1) dokumentiert. Hier lag der Mittelwert lediglich bei 1,65 Hülsen pro Pflanze. Diese Variante wies signifikante Unterschiede zu den verbleibenden fünf Varianten auf. Der höchste Hülsenansatz pro Pflanze wurde bei der Variante 2 mit einem Schwellenwert von 0,25 % Unkrautdeckungsgrad ermittelt. Dieser lag bei 3,35 Hülsen pro Pflanze. Variante 3 mit 0,5 % und bei der Variante 4 mit 1,0 % wiesen jeweils einen Hülsenansatz von 3,075 Hülsen pro Pflanze auf. Leichte Abweichungen waren mit einem Hülsenansatz von 3,125 bzw. 3,1 Hülsen pro Pflanze bei der Varianten 5 mit 1,5 % und der Variante 6 (Volle Intensität) zu erkennen. Zwischen den Varianten 2 bis 6 lassen sich keine signifikanten Unterschiede feststellen.

Bei mechanischen Unkrautregulierungsmaßnahmen kann es zu Beschädigungen der Kulturpflanze und auch zu Pflanzenverlusten kommen. Neben der Anzahl von Hülsen pro Ackerbohnenpflanze wurden deshalb an drei unterschiedlichen Terminen Pflanzenzählungen durchgeführt. Im Folgenden sind die Pflanzenverluste für alle Variante im Laufe der Versuchsperiode aufgeführt. Beschädigungen an der Kulturpflanze, die nicht zu deren Absterben führte, wurde nicht erfasst.

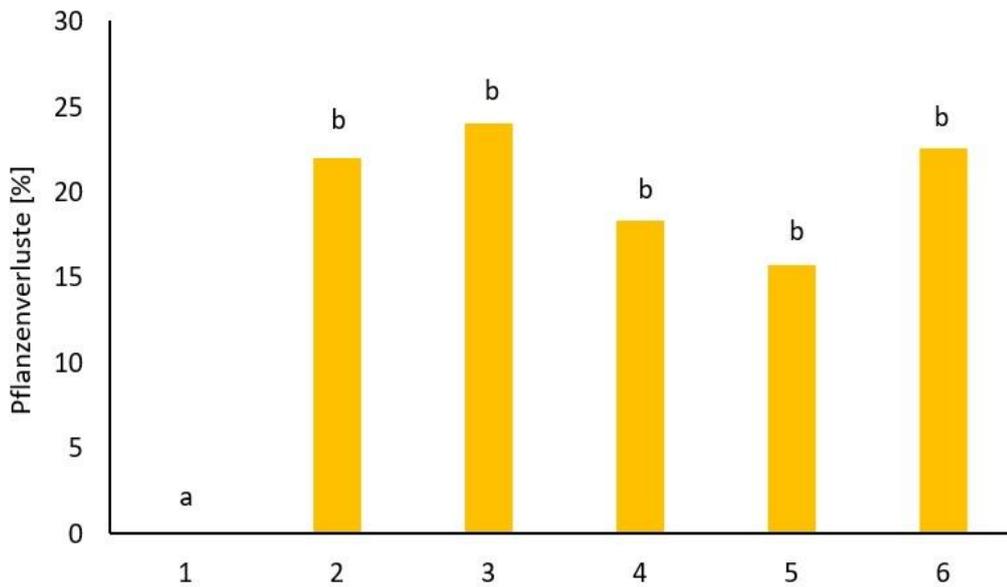


Abbildung 49:Prozentuale Pflanzenverluste im Laufe der Vegetation

In der Abbildung 49 sind die Pflanzenverluste [%] für jedes Prüfglied abgebildet. Zu sehen ist, dass in der Kontrollvariante (ohne Regulierung) keine Verluste vorhanden sind und sie sich dadurch signifikant von den verbleibenden fünf Varianten unterscheidet. Beim Betrachten der Variante 2 mit 0,25 % Unkrautdeckungsgrad ist zu erkennen, dass diese Pflanzenverluste von 22 % vorgewiesen haben. In der Variante 3 lag der prozentuale Wert der Pflanzenverluste bei 24 %, dementsprechend etwas höher als bei Variante 2. 18 % Verluste wurden in der Variante 4 mit 1,0% Unkrautdeckungsgrad ermittelt. Lediglich 15,7 % Pflanzenverluste wurden in der Variante 5 dokumentiert, welches sich als geringster Verlust des Versuchs herausstellte. In der Variante „Volle Intensität“ wurden ebenfalls, wie in Variante 2, Pflanzenverluste von ca. 22 % festgestellt. Durch die statistische Auswertung konnte ermittelt werden, dass zwischen den Varianten 2 bis 6 keine signifikanten Unterschiede vorhanden sind. Jedoch unterscheiden sich diese Varianten alle von der Kontrollvariante 1, in der keine Unkrautregulierung stattgefunden hat.

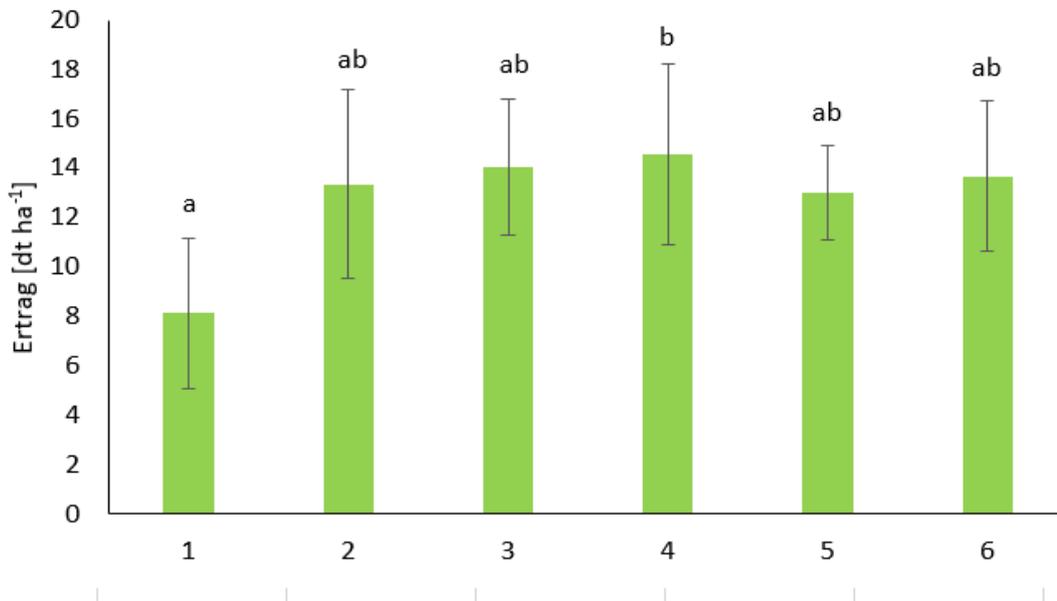


Abbildung 50: Abhängigkeit zwischen Pflanzenverlusten und Ertrag

Die Erträge der Ackerbohne werden in der Abbildung 50 gezeigt. In der Kontrollvariante wurden die niedrigsten Erträge mit 8,12 dt/ha festgestellt. Diese Variante zeigt deutliche Abweichungen zur Variante 4 (1,0 % Unkrautdeckungsgrad), welche den höchsten Ertrag des Feldversuches vorweisen konnte. Dieser lag bei 14,56 dt/ha Ackerbohnen. Das ist ein Mehrertrag von 79,31 % der Variante 4 gegenüber der Variante 1 (Kontrolle). Für die Variante 2 konnte ein Ertrag von 13,36 dt/ha ermittelt werden, welcher sich nicht signifikant von der Kontrollvariante sowie der Variante 4 unterscheidet. Der zweithöchste Ertrag des Feldversuches wurde in der Variante 3 dokumentiert. Mit Erträgen von 14,04 dt/ha konnten keine wesentlichen Unterschiede gegenüber der Kontrollvariante und Variante 4 festgestellt werden. Die zweitgeringsten Erträge entwickelten sich in der Variante 5. In dieser Variante mit einem Schwellenwert von 1,5 % Unkrautdeckungsgrad lag der Ertrag bei 13,02 dt/ha. Bei der Variante, die der vollen Intensität entspricht, ergaben die Ertragsdaten einen Wert von 13,68 dt/ha. Die statistischen Auswertungen ergaben in diesem Fall, dass ebenfalls keine signifikanten Unterschiede gegenüber den Varianten 2,3 und 5 vorhanden waren.

Neben der in 2018 getesteten Datenquantität und Qualität des H-Sensors, die im Vergleich zur Handbonitur als äußerst zufriedenstellend bewertet werden konnten, lag der Fokus im Versuchsjahr 2019 auf der Ermittlung eines pflanzenbaulichen Schadschwellenwertes. Dieser sollte festlegen, ab welchem Unkrautdeckungsgrad eine mechanische Unkrautregulierung stattfinden soll. Der dauerhafte Rollstriegeleinsatz ab einem Unkrautdeckungsgrad von 0,25 oder 0,5 % ist auf dem getesteten Standort nicht empfehlenswert, da er zu keinem Mehrertrag führt und zudem höhere Pflanzenverluste mit sich bringt. Die Variante 4 (1 %) Unkrautdeckungsgrad erwies in 2019 die höchsten Erträge und die geringsten Pflanzenverluste. Da dieser Wert mit der vorhandenen Technik durchaus realistisch zu erreichen ist, empfehlen wir einen Einsatz des Rollstriegels ab einem Unkrautdeckungsgrad von 1 % als Voreinstellung für die Saison 2020. Im Weiteren Projektverlauf 2020 wurden die gewonnenen Kenntnisse der Firma APV Technische Produkte übermittelt, so dass ein Basismodul zum Ansteuern des Segmenthebers entwickelt werden kann. Des Weiteren wird eine Software benötigt, die im Onlinebetrieb die Daten des Sensors erfasst und verarbeitet sowie diese in einem Ansteuermodul an das Rollstriegelement weitergibt.

4.2.3 2020

Im Folgenden werden die gewonnenen Erkenntnisse über die Kopplung zwischen Rollstriegelelement und Sensor vorgestellt. Auf der ökologisch bewirtschafteten Ackerfläche Sudendey des Versuchsbetriebs Waldhof der Hochschule Osnabrück wurden Ackerbohnen in Testparzellen mit einer Sollverunkrautung eingesät. Wie bereits erwähnt wurde,

erfolgte ein Umbau des Rollstriegels, damit dieser elektrisch angesteuert und ein hydraulischer Aushubmechanismus zum Ein- und Aussetzen der Hackelemente betätigt werden konnte. Die in der Theorie entwickelte Software konnte im Sommer 2020 das erste Mal im Feld eingesetzt werden. Zu den anfänglichen Schwierigkeiten zählten diverse Kabelbrüche, schadhafte Steckverbindungen, das Ausbleiben von Sensordaten sowie Fehlimpulse bei elektrischen Signalen. Nach zahlreichen Optimierungen im Zuge von Testüberfahrten im Feld konnten diese Mängel abgestellt werden und es gelang erstmals die störungsfreie sensorbasierte Ansteuerung des Rollstriegels.

In Abbildung 51 ist auf der linken Seite der H-Sensor in der Fronthydraulik des Schleppers angebaut. Er wird mit der eigens entwickelten Anbauvorrichtung 90 cm über der Bodenoberfläche geführt, so dass jedes aufgenommene Bild ca. 0,8 m² Fläche umfasst. Der Sensor basiert auf Falschfarbaufnahmen, wodurch die Konturen der Pflanzen vom Boden abgegrenzt werden und vorgegebene kulturspezifische Algorithmen zwischen Kulturpflanze und Beikraut differenzieren. Auf der rechten Seite ist das ausgehobene Rollstriegelsegment in der Heckhydraulik des Schleppers zu erkennen. Generell ist die Ausgangsposition des Rollstriegels während der Überfahrt über der Bodenoberfläche ausgehoben. Werden jedoch die festgelegten, auf den Einzelfall anpassbaren Schadschwellenwerte überschritten, senkt sich das Rollstriegelsegment automatisch ab und reguliert dementsprechend teilflächenspezifisch das Beikraut. Wird der Schadschwellenwert aufgrund der Sensormessung wieder unterschritten, hebt das Segment wieder automatisch hydraulisch in die entsprechende Ausgangsposition aus. Damit nicht permanent ein- und ausgesetzt und infolgedessen die Ansteuerungstechnik überfordert wird, arbeitet die Software mit einem gleitenden Mittelwert über mindestens 20 Einzelmesswerte.



Abbildung 51: Messung mit H-Sensor in der Fronthydraulik des Schleppers (l.), Rollstriegelsegment mit automatischem, hydraulischem Aushub (r.)

Die Erkenntnisse im Bereich des Schadschwellenprinzips am Standort Osnabrück wurden mit den Ergebnissen vom LfULG verglichen und bewertet. Dabei ist man gemeinsam zu der Erkenntnis gekommen, dass ein dynamischer Schwellenwert abhängig von dem BBCH-Stadium der Hauptkultur und vom generellen Unkrautdruck und Flächenzustand für die Vegetationsperiode 2021 getestet werden soll (Upscaling). Des Weiteren konnte die Umwandlung eines Sensorsignals in ein Steuersignal mit Hilfe einer entwickelten Software durchgeführt werden, so dass mit dem eingesetzten Rollstriegel das Ein- und Aussetzen der Arbeitssegmente automatisch etabliert werden konnte.

Durch die sensorische Onlinebewertung mittels der entwickelten Software ist ein sehr individuelles Schadschwellenverfahren anhand des Unkrautdeckungsgrades möglich, von dem im Feld in 2021 Gebrauch gemacht wurde. Weiterhin wird die entwickelte Ansteuerung auf andere mechanische Striegeltechniken übertragen. Dies gilt speziell für die Ansteuerung eines hydraulischen Zinkenstriegels, der abhängig von den Sensormesswerten teilflächenspezifisch die Striegelintensität verändern kann. Bei stark verunkrauteten Teilflächen werden höhere Kulturpflanzenverluste und Beschädigungen auftreten, weshalb diese stärker und aggressiver bearbeitet werden

können. Wenig verunkrautete Flächen hingegen sollen nur leicht gestriegelt werden, um Pflanzenbeschädigungen und Kulturpflanzenverluste zu reduzieren.

4.2.4 2021

Im Jahr 2021 wurde der Zinkenstriegel erfolgreich umgebaut. In der Abbildung 52A ist der Unkrautdeckungsgrad über den Vegetationsverlauf von Aussaat bis zum Bestandesschluss zu sehen. Dabei wurden zu fünf aufeinanderfolgenden Zeitpunkten Regulierungsmaßnahmen durchgeführt. Über alle getesteten Varianten hinweg war das Unkrautniveau auf der Versuchsfläche über den gesamten Vegetationszeitraum hinweg nur sehr gering und stieg zu keinem Messzeitpunkt über 3 % Unkrautdeckungsgrad, was für den Ackerbohnenanbau auf einem ökologischen Standort sehr niedrig ist. Schon bei der ersten Regulierungsmaßnahme am 26.04. kann man tendenziell leicht höhere Unkrautdeckungsgrade bei der flächig schwach gestriegelten Variante erkennen, die aber nicht signifikant sind. Zwischen den Varianten starker und normaler Zinkendruck hingegen sind in Bezug auf den Unkrautdeckungsgrad keine Unterschiede zu erkennen.

Nach weiteren Regulierungsmaßnahmen am 03.05. und 10.05. wurde die letzte Maßnahme am 01.06. durchgeführt. Dabei waren die niedrigsten Unkrautdeckungsgrade in der Variante starker Zinkendruck zu erkennen. Nur leicht höhere Unkrautdeckungsgrade konnte die Variante schwacher Zinkendruck aufweisen, gefolgt von dynamischer Zinkendruck, der sich tendenziell nur wenig vorteilhafter gegenüber dem normalen Zinkendruck zeigte (Abbildung 52)

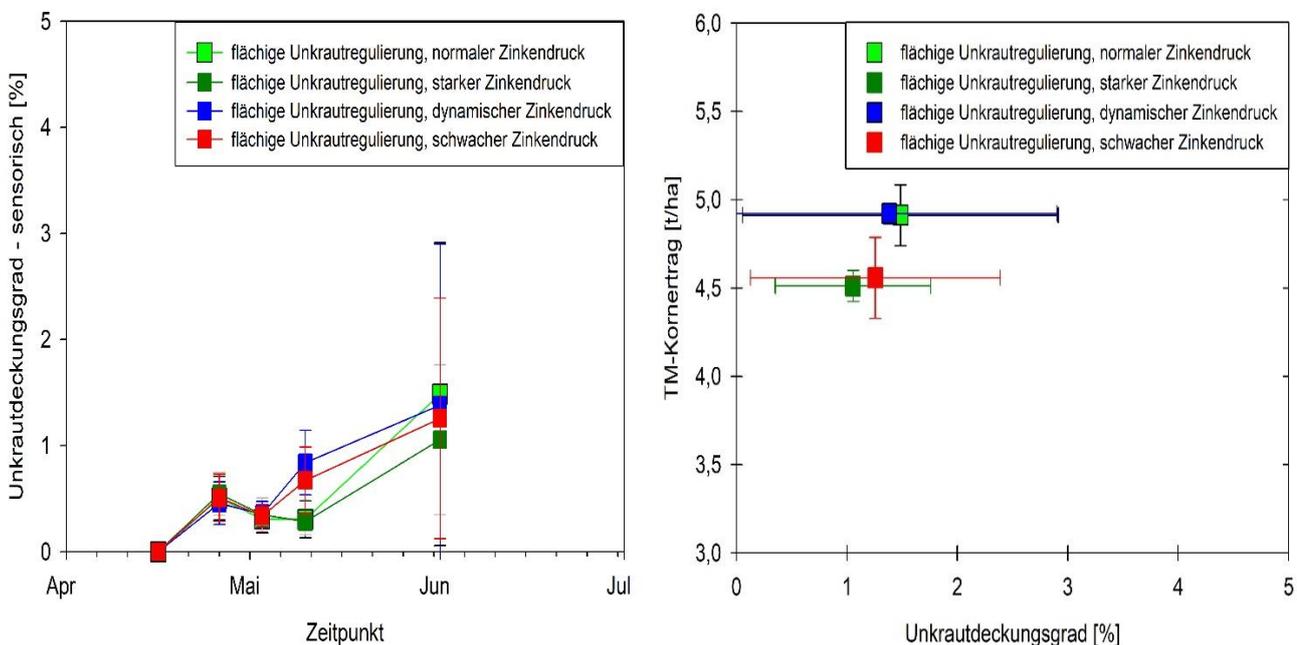


Abbildung 52:A) zeitlicher Verlauf der Verunkrautung (sensorisch) am Standort Osnabrück und B) Verhältnis zwischen TM-Kornertrag (Mittelwert aus n=4) und Unkrautdeckungsgrad (Mittelwert aus n=100), für flächige Unkrautregulierung normaler Zinkendruck (hellgrünes Quadrat), flächige Unkrautregulierung starker Zinkendruck (dunkelgrünes Quadrat), flächige Unkrautregulierung dynamischer Zinkendruck (blaues Quadrat) und für flächige Unkrautregulierung schwacher Zinkendruck (rotes Quadrat) in Ackerbohne

In Abbildung 52B ist das Verhältnis zwischen Ertrag und Unkrautdeckungsgrad verdeutlicht. Das Ertragsniveau lag im Versuchsjahr 2021 im Durchschnitt aller Versuchsvarianten zwischen 4,5 und 5 t/ha. Der niedrigste TM-Ertrag ist trotz des geringsten Unkrautdeckungsgrades in der Variante starker Zinkendruck zu sehen. Dies liegt daran, dass durch die aggressive Einstellung des Striegels zwar sehr gut Unkraut reguliert wurde, unbeabsichtigt aber auch hohe

Kulturpflanzenverluste in Kauf genommen werden mussten und die übrig gebliebenen Pflanzen die Ertragseinbußen nicht mehr kompensieren konnten. Nur minimal höhere Erträge konnten in der Variante schwacher Zinkendruck gemessen werden. Auch der Unkrautdeckungsgrad war unwesentlich höher als in der zuvor beschriebenen Variante starker Zinkendruck. Dies zeigt deutlich, dass ein niedriger Unkrautdeckungsgrad nicht zwangsläufig zu einem hohen Ertrag führt. Der höchste Kornertrag wurde in der Variante dynamischer Zinkendruck ermittelt und lag bei fast 5 t/ha, dicht gefolgt von der Variante normaler Zinkendruck, die tendenziell einen leicht höheren Unkrautdeckungsgrad aufgewiesen hat (Abbildung 52).

Weiterhin wird in Abbildung 53 die Anzahl der Ackerbohnenpflanzen in Abhängigkeit zum Ertrag abgebildet. Die höchsten Verluste mit nur ca. 70 % Zielbestand (100 % = Aussaatstärke) sind in der Variante starker Zinkendruck zu erkennen. Hierbei wurden durch die intensiven Regulierungsmaßnahmen und den starken Bodeneingriff hohe Verluste (> 30 %) verursacht. Dies spiegelt sich auch in dem im Verhältnis niedrigen Ertrag wider. Im Bereich der dynamischen Regulierung wurden Kulturpflanzenverluste von ca. 25 % gemessen. Diese sind damit von den getesteten Varianten am zweithöchsten. Die Varianten normaler Zinkendruck und schwacher Zinkendruck liegen beide mit unter 20 % Kulturpflanzenverlusten am niedrigsten (Abbildung 53).

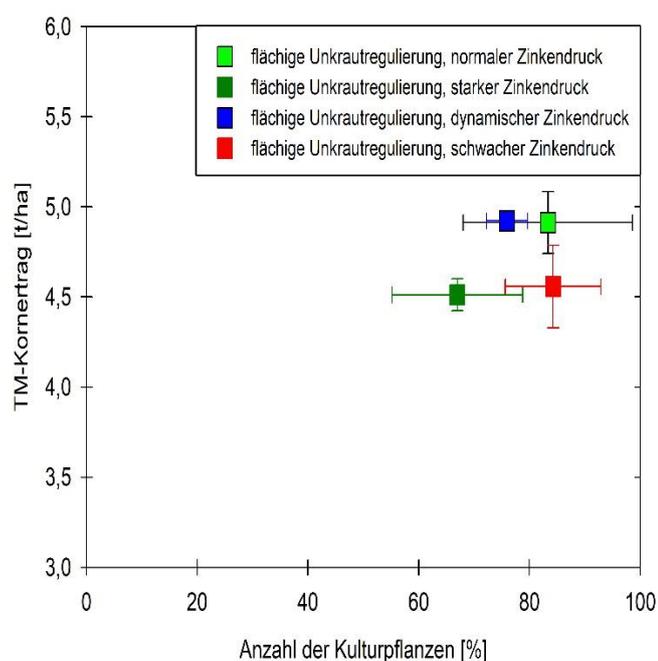


Abbildung 53:Verhältnis zwischen TM-Kornertrag (Mittelwert aus n=4) und Anzahl der Kulturpflanzen, für flächige Unkrautregulierung normaler Zinkendruck (hellgrünes Quadrat), flächige Unkrautregulierung starker Zinkendruck (dunkelgrünes Quadrat), flächige Unkrautregulierung dynamischer Zinkendruck (blaues Quadrat) und für flächige Unkrautregulierung schwacher Zinkendruck (rotes Quadrat) in Ackerbohne

4.3 HTW

4.3.1 2018-2021

Zur Aussaat der Zwischenfrüchte lagen nahezu unabhängig von der Vorbewirtschaftung der Flächen – ökologisch oder konventionell – zwischen 74 und 122 kg Nmin im Boden in 0 bis 90 cm Bodentiefe vor, wobei stets zwischen 60 und 70 % der gesamten Nmin-Menge in der Bodenschicht 0 bis 30 cm akkumuliert war. Somit lagen in allen Prüfumwelten zur Saat der Zwischenfrüchte ausreichend hohe Mengen an pflanzenverfügbarem Stickstoff im Boden vor, um ein gutes Zwischenfruchtwachstum zu gewährleisten.

Tabelle 24: Nmin-Vorrat im Boden zur Aussaat der Zwischenfrüchte (kg N/ha)

	26.08. 2018 Ogrosen	26.08. 2018 Calau	09.08. 2019 Ogrosen	09.08. 2019 Calau	22.08. 2020 Ogrosen	22.08. 2020 Calau
0 bis 30 cm	71,5	95,9	57,8	56,4	54,4	60,7
30 bis 60 cm	22,4	16,1	7,9	9,1	10,8	11,5
60 bis 90 cm	7,0	9,7	8,3	8,6	10,5	10,4
0 bis 90 cm	100,9	121,7	74,0	74,1	75,6	82,6

Der Sprossmasseertrag der Zwischenfrüchte war in den vier Jahren der Untersuchung wesentlich durch das niederschlagsbedingte Wasserangebot geprägt. Während bei hinreichendem Niederschlag im Zeitraum Juli bis Ende September in den Jahren 2017 und 2020 Sprossmasseertrag der Zwischenfruchtbestände zwischen 40 und knapp 60 dt TM/ha (in 2017, Abb. 54) bzw. 27 und 34 dt TM/ha (in 2020) führten, fielen diese bei entsprechend geringem Wasserangebot und überdurchschnittlich hohen Temperaturen nur zu Sprosserträgen zwischen maximal 4 dt TM/ha (2018) und 11 dt TM/ha (2019). Der Roggen bildete in allen Umwelten im Gemenge mit Rauhafer nur einen vergleichsweise geringen Ertrag, während der Rauhafer auch unter trocken-heißen Bedingungen - wenn auch mit geringer Ertragsbildung - stabil vertreten war. Er war in der Lage unter günstigen Bedingungen des Jahres 2017 bis zu 33 dt TM/ha an Sprossmasse zu bilden. Sehr unterschiedlich stellte sich die Situation des Ramtillkrautes dar. Hier war in drei von vier Jahren am Standort Ogrosen ein totaler Ausfall zu verzeichnen (Abb. 55-57), währenddessen im Jahr 2017 am Standort Ogrosen ein Sprossertrag des Ramtillkrautes in Höhe von über 50 dt TM/ha erfasst wurde (Abb. 54). Bei starker Konkurrenz durch das Ramtillkraut war nur eine geringe Ertragsbildung der Rispenhirse am Standort Ogrosen zu verzeichnen, während in den anderen drei Versuchsjahren die Rispenhirse bis zu 23 dt TM/ha bilden konnte (Abb. 57). Die Zwischenfruchtbestände führten in allen Umwelten zu einer deutlichen Reduktion des Wachstums der Unkräuter.

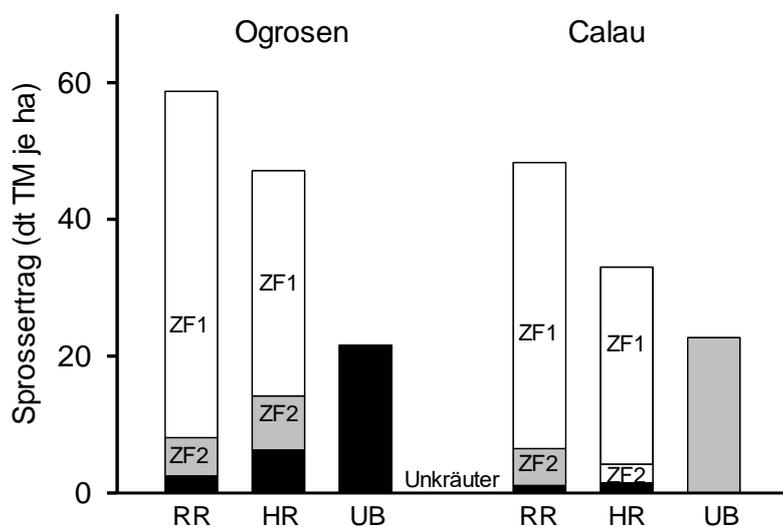


Abbildung 54: Einfluss der Zwischenbegrünung auf den Sprossertrag an Unkräutern und Zwischenfrüchten am 31.10.2017 an den Standorten Ogrosen und Calau; RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache

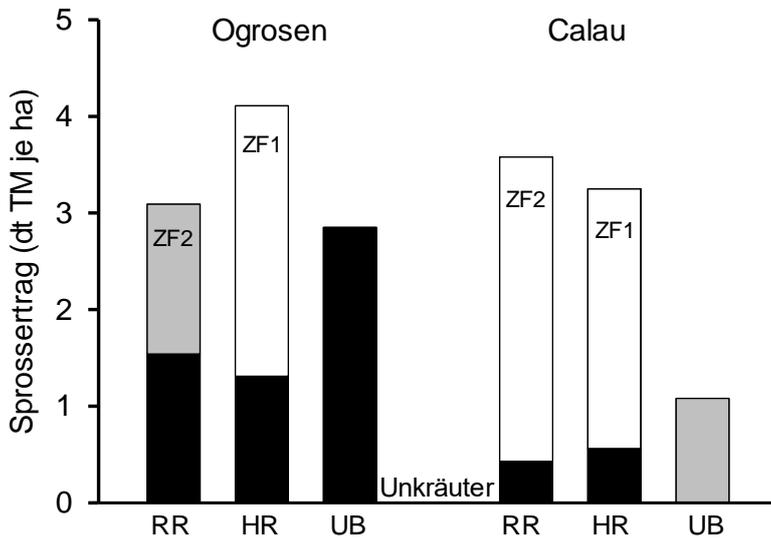


Abbildung 55: Einfluss der Zwischenbegrünung auf den Sprossertrag an Unkräutern und Zwischenfrüchten am 15.11.2018 an den Standorten Ogrosen und Calau; RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache

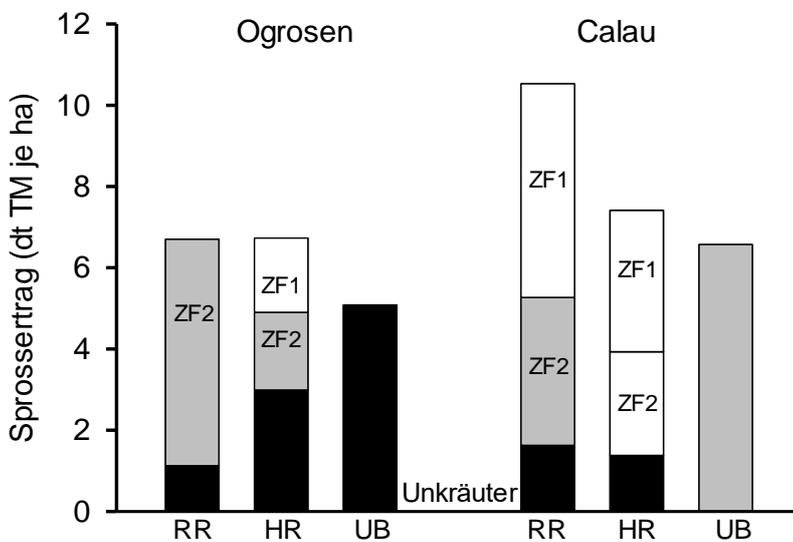


Abbildung 56: Einfluss der Zwischenbegrünung auf den Sprossertrag an Unkräutern und Zwischenfrüchten am 05.11.2019 an den Standorten Ogrosen und Calau; RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache

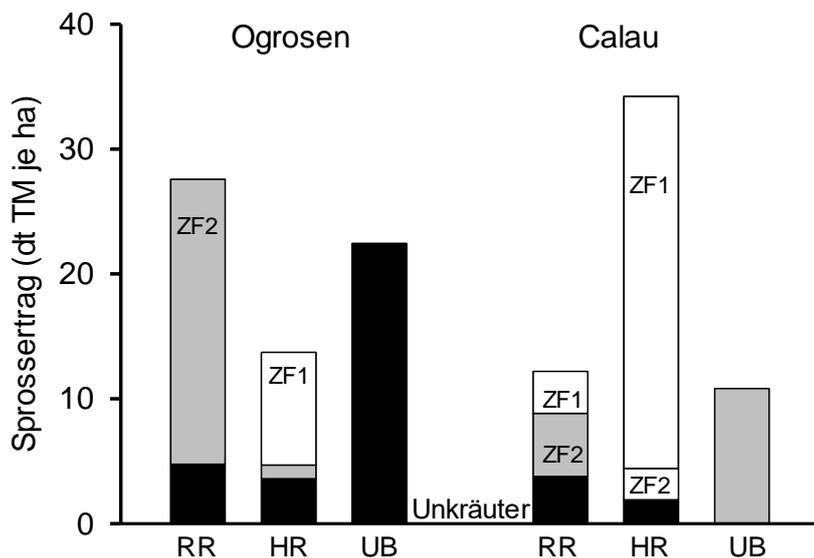


Abbildung 57: Einfluss der Zwischenbegrünung auf den Sprossertrag an Unkräutern und Zwischenfrüchten am 13.11.2020 an den Standorten Ogrosen und Calau; RR = Zwischenfrucht Rammtilkkrut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache

Ein durch ausreichende Niederschläge hervorgerufenenes frühes und hohes Wachstum der Zwischenfrüchte in den Jahren 2017 und 2020 führte zu einem hohen Anteil an Stängelmasse an der Sprossmasse, der in der Regel zwischen 60 und 80 % lag währenddessen die in den Jahren 2018 und 2019 vorherrschende Trockenheit zu einem verzögerten Wachstum der Zwischenfrüchte führte, der zugleich mit einem Stängelanteil an der Sprossmasse von unter 55% verbunden war.

Tabelle 25: Spross-TM-Ertrag (dt/ha) der Zwischenfruchtbestände am 31.10.2017 sowie Anteil Stängel-TM an der Sprossmasse bei den Hauptbestandbildnern Rammtilkkrut und Rauhafer

Standort	Prüfgied	Zwischenfrucht	Unkräuter	Gesamt-ertrag	Anteil Stängel-TM in %
Ogrosen	Rammtilkkrut/ Rispenhirse	50,6/ 5,6	2,5	58,6	74,2 n.e.
Ogrosen	Rauhafer Roggen	32,9/ 7,9	6,3	47,1	80,7 n.e.
Ogrosen	Unkrautbrache	-	21,6	21,6	
Calau	Rammtilkkrut Rispenhirse	41,8/ 5,4	1,1	48,3	64,0 n.e.
Calau	Rauhafer Roggen	28,8/ 2,7	1,5	33,1	78,9 n.e.
Calau	Unkrautbrache	-	22,7	22,7	

n.e.: nicht erfasst

Tabelle 26: Spross-TM-Ertrag (dt/ha) der Zwischenfruchtbestände am 15.11.2018 sowie Anteil Stängel-TM an der Sprossmasse bei den Hauptbestandbildnern Rammtillkraut und Rauhafer

Standort	Prüfgied	Zwischenfrucht	Unkräuter	Gesamt- ertrag	Anteil Stängel-TM in %
Ogrofen	Rammtillkraut/ Rispenhirse	- 1,55	- 1,54	- 3,09	- 37,1
Ogrofen	Rauhafer Roggen	2,80	1,31 -	4,11 -	45,9 -
Ogrofen	Unkrautbrache	-	2,85	2,85	-
Calau	Rammtillkraut Rispenhirse	- 3,15	- 0,43	- 3,57	- 50,5
Calau	Rauhafer Roggen	2,69	0,59 -	3,27 -	53,0 -
Calau	Unkrautbrache	-	1,08	1,08	-

Mit einer Ausnahme (Rispenhirse am Standort Calau in 2020, Tab. 32) lagen die N-Gehalte in der Blatt- und Fruchtstandsmasse der Zwischenfrüchte stets deutlich über denen in den Sprossachsen. So variierten die N-Gehalte in der Blatt- und Fruchtstandsmasse in Jahren mit guter Wasserversorgung an den Standorten (2017 und 2020) zwischen 2,24 und 2,66 % (2017) und 1,73 und 3,34 % (2020), während diese in den Sprossachsen zugleich zwischen 0,57 bis 1,22 % (2017) und 1,13 und 2,77 % (2020) schwankten, d.h. stets geringer ausfielen (Tab. 29 und Tab. 32). Entsprechend weiter fielen die C/N-Verhältnisse in den Sprossachsen mit Werten von zum Teil über 60 aus. Unterschiede zwischen den Standorten und Wirtschaftsweisen traten in erster Linie in engeren C/N-Verhältnissen bzw. höheren N-Gehalten in den Sprossachsen der Zwischenfrüchte auf, währenddessen die Unterschiede in der Blatt- und Fruchtstandsmasse der Zwischenfrüchte zwischen den Standorten nur gering ausfielen. Systematische Unterschiede zwischen den Zwischenfruchtarten im N-Gehalt bzw. dem C/N-Verhältnis waren eher gering, die zwischen den Umwelten dagegen sehr hoch. So waren in den Trockenjahren 2018 und 2019 deutlich höhere N-Gehalte und engere C/N-Verhältnisse in der pflanzlichen Biomasse festzustellen, vermutlich wegen des geringen Wachstums der Zwischenfrüchte und einer verzögerten Entwicklung der Pflanzen.

Tabelle 27: Spross-TM-Ertrag (dt/ha) der Zwischenfruchtbestände am 05.11.2019 sowie Anteil Stängel-TM an der Sprossmasse bei den Hauptbestandbildnern Rammtillkraut und Rauhafer

Standort	Prüfgied	Zwischenfrucht	Unkräuter	Gesamt- ertrag	Anteil Stängel-TM in %
Ogrofen	Rammtillkraut/ Rispenhirse	- 5,57	1,13	6,70	40,9
Ogrofen	Rauhafer Roggen	1,82 1,92	2,99	6,73	45,9 54,9
Ogrofen	Unkrautbrache	-	5,08	5,08	-
Calau	Rammtillkraut Rispenhirse	5,26 3,64	1,54	10,53	48,4 44,0
Calau	Rauhafer Roggen	3,48 2,55	1,38	7,41	51,1 53,0
Calau	Unkrautbrache	-	6,57	6,57	-

Tabelle 28: Spross-TM-Ertrag (dt/ha) der Zwischenfruchtbestände am 13.11.2020 sowie Anteil Stängel-TM an der Sprossmasse bei den Hauptbestandbildnern Rammtillkraut und Rauhafer

Standort	Prüfgied	Zwischenfrucht	Unkräuter	Gesamt- ertrag	Anteil Stängel-TM in %
Ogrofen	Rammtillkraut/ Rispenhirse	- 22,81	4,75	27,56	67,8
Ogrofen	Rauhafer Roggen	9,03 1,11	3,59	13,71	65,8 64,1
Ogrofen	Unkrautbrache		22,43	22,43	-
Calau	Rammtillkraut Rispenhirse	3,35 5,06	3,78	12,12	49,5 64,3
Calau	Rauhafer Roggen	29,81 2,50	1,92	34,23	68,8 65,9
Calau	Unkrautbrache	-	10,82	10,82	-

Tabelle 29: N-Gehalt sowie C/N-Verhältnis in Blatt und Stängelmasse von Rammtillkraut und Rauhafer sowie im Spross der Zwischenfruchtbestände und Unkräuter am 31.10.2017 an den Standorten Ogrosen und Calau

Standort	Prüfgied	N-Gehalt in %/C_N Blatt	N-Gehalt in %/C_N Stängel	N-Gehalt in %/ C_N Sprossmasse	N im Spross (kg/ha)
Ogrofen	Rammtillkraut/ Rispenhirse Unkräuter Summe	2,66/15,3	0,57/68,7	1,23/35,0 1,33/32,7 1,76/24,6	64,6 7,2 4,6 76,4
Ogrofen	Rauhafer Roggen Unkräuter Summe	2,47/15,7	0,59/67,5	1,48/29,5 1,26/36,2 2,07/20,4	49,1 9,9 14,4 73,4
Ogrofen	Unkrautbrache			2,49/17,3	54,4
Calau	Rammtillkraut Rispenhirse Unkräuter Summe	2,67/17,0	1,12/37,9	1,22/32,2 1,06/41,9 1,44/28,0	34,6 4,5 1,5 40,6
Calau	Rauhafer Roggen Unkräuter Summe	2,24/19,6	0,92/48,2	1,33/32,4 1,29/34,7 2,00/20,2	38,6 3,7 3,0 52,3
Calau	Unkrautbrache			2,7/13,9	61,6

Tabelle 30: N-Gehalt sowie C/N-Verhältnis in Blatt und Stängelmasse von Rispenhirse und Rauhafer sowie im Spross der Zwischenfruchtbestände und Unkräuter am 15.11.2018 an den Standorten Ogrosen und Calau

Standort	Prüfglied	N-Gehalt in %/ C_N Blatt	N-Gehalt in %/ C_N Stängel	N-Gehalt in %/ C_N Sprossmasse	N im Spross (kg/ha)
Ogrosen	Rammtillkraut/ Rispenhirse Unkräuter Summe	3,22/13,0	2,67/15,7	- 3,00/14,4 4,57/8,78	- 4,6 7,0 11,6
Ogrosen	Rauhafer Roggen Unkräuter Summe	4,80/9,4	2,98/13,0	4,78/8,7 - 3,68/10,9	13,5 - 7,8 21,3
Ogrosen	Unkrautbrache			3,83/10,2	10,5
Calau	Rammtillkraut Rispenhirse Unkräuter Summe	2,39/18,5	2,75/15,3	- 1,60/26,9 3,83/10,70	- 4,5 1,6 6,1
Calau	Rauhafer Roggen Unkräuter Summe	4,42/10,0	2,75/15,3	4,29/10,2 - 1,89/22,4	11,2 - 1,1 12,3
Calau	Unkrautbrache			3,02/12,8	3,3

Tabelle 31: N-Gehalt sowie C/N-Verhältnis in Blatt und Stängelmasse von Rispenhirse und Rauhafer sowie im Spross der Zwischenfruchtbestände und Unkräuter am 05.11.2019 an den Standorten Ogrosen und Calau

Standort	Prüfglied	N-Gehalt in %/ C_N Blatt	N-Gehalt in %/ C_N Stängel	N-Gehalt in %/ C_N Sprossmasse	N im Spross (kg/ha)
Ogrosen	Rammtillkraut/ Rispenhirse Unkräuter Summe	1,99/21,3	0,95/45,7	- 1,85/22,7 2,78/15,2	- 10,4 3,1 13,5
Ogrosen	Rauhafer Roggen Unkräuter Summe	2,72/18,3 2,39/19,2	1,93/23,0 1,62/25,9	2,82/15,2 - 2,49/17,1	5,0 4,3 7,5 16,8
Ogrosen	Unkrautbrache			2,71/15,6	12,2
Calau	Rammtillkraut Rispenhirse Unkräuter Summe	2,91/14,6 1,51/30,5	1,04/39,4 0,86/58,1	2,13/18,6 1,33/42,5 2,07/23,6	5,4 3,7 2,6 11,6
Calau	Rauhafer Roggen Unkräuter Summe	2,72/18,3 2,39/19,2	1,93/23,0 1,62/25,9	2,58/17,22 2,18/21,12 1,92/22,5	8,7 5,5 2,6 16,8
Calau	Unkrautbrache			1,85/24,4	12,1

Tabelle 32: N-Gehalt sowie C/N-Verhältnis in Blatt und Stängelmasse von Rispenhirse und Rauhafer sowie im Spross der Zwischenfruchtbestände und Unkräuter am 13.11.2020 an den Standorten Ogrosen und Calau

Standort	Prüfglied	N-Gehalt in %/ C_N Blatt	N-Gehalt in %/ C_N Stängel	N-Gehalt in %/ C_N Sprossmasse	N im Spross (kg/ha)
Ogrosen	Rammtillkraut/ Rispenhirse Unkräuter Summe	1,73/25,7	1,52/29,9	- 1,59/28,9 2,84/14,8	- 36,1 14,0 50,1
Ogrosen	Rauhafer Roggen Unkräuter Summe	2,10/22,0 1,83/26,8	1,13/41,6 1,62/29,0	1,46/34,9 1,70/28,2 3,05/14,0	13,7 5,1 10,8 26,4
Ogrosen	Unkrautbrache			1,82/30,4	39,1
Calau	Rammtillkraut Rispenhirse Unkräuter Summe	4,75/8,5 2,08/0,0	2,77/14,2 1,98/22,3	3,75/11,3 2,00/21,8 3,44/12,2	14,1 10,3 12,9 37,3
Calau	Rauhafer Roggen Unkräuter Summe	3,34/13,7 2,66/18,0	1,93/25,0 1,76/26,8	2,50/20,7 2,07/23,7 3,12/14,0	70,8 4,5 5,9 81,2
Calau	Unkrautbrache			2,79/15,0	29,1

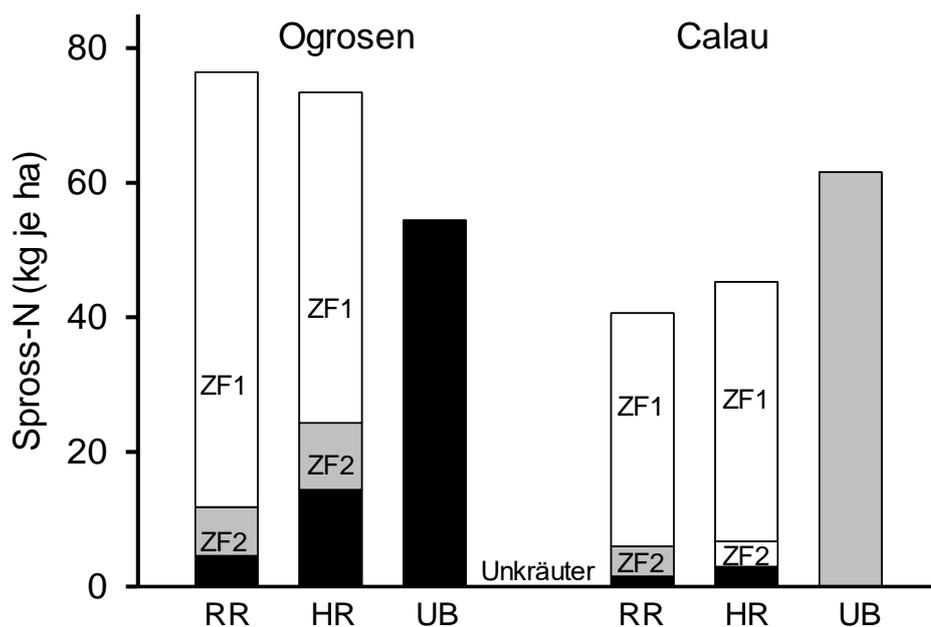


Abbildung 58: Einfluss der Zwischenbegrünung auf den N-Menge im Spross am 31.10.2017 an den Standorten Ogrosen und Calau; RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HS = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache

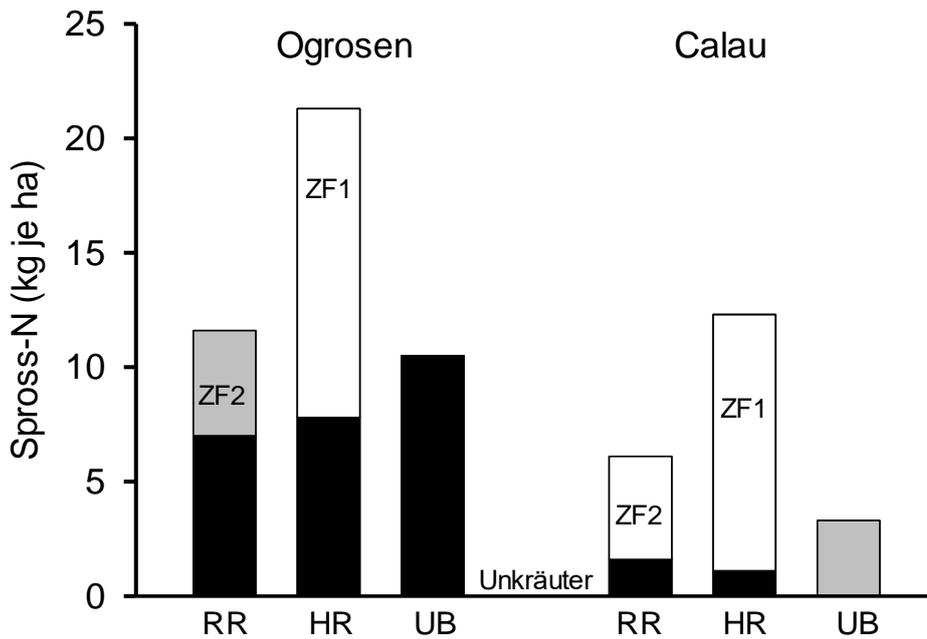


Abbildung 59: Einfluss der Zwischenbegrünung auf den N-Menge im Spross am 15.11.2018 an den Standorten Ogrosen und Calau; RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HS = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache

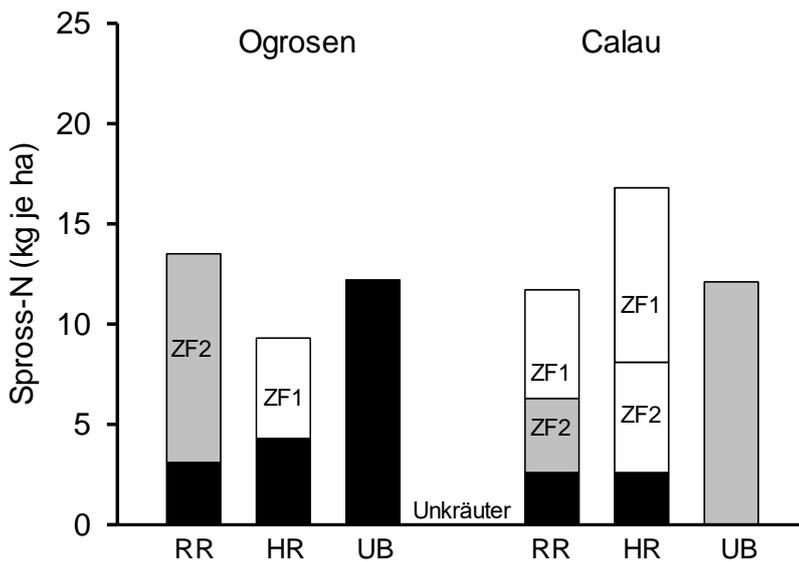


Abbildung 60: Einfluss der Zwischenbegrünung auf den N-Menge im Spross am 05.11.2019 an den Standorten Ogrosen und Calau; RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HS = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache

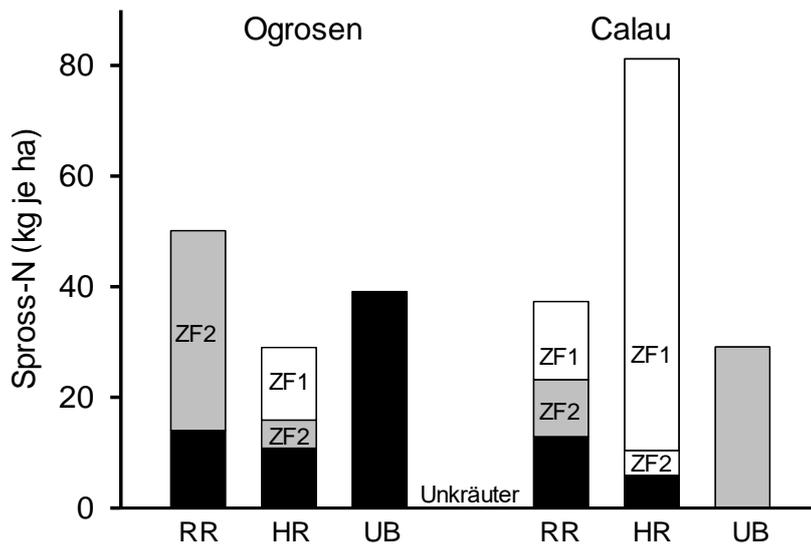


Abbildung 61: Einfluss der Zwischenbegrünung auf den N-Menge im Spross am 13.11.2020 an den Standorten Ogrosen und Calau; RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HS = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache

In beiden Trockenjahren 2018 und 2019 konnten durch Einsatz von Zwischenfrüchten nur vergleichsweise geringe Mengen zwischen 6 und 21 kg/ha in 2018 und 13 und 17 kg/ha an Stickstoff in deren Sprossmasse akkumuliert werden, die sich in einigen Fällen auch nicht von den N-Mengen der Sprossmasse der Unkrautbrache unterschied. Mit 70 kg/ha wurden markant hohe N-Mengen am Standort Calau in 2020 durch Rauhafer und mit knapp 65 kg/ha durch Ramtillkraut am Standort Ogrosen in 2017 akkumuliert. Auch in Vegetationsperioden mit ausreichend hohem Wasserangebot konnten durch die eingesäten Zwischenfrüchte nicht in allen Fällen höhere N-Mengen im Spross akkumuliert werden als in der Unkrautbrache. Deutlich wurde allerdings, dass durch einen Gemengebau mit jeweils zwei Pflanzenarten je nach Witterungsbedingungen die Resilienz im Pflanzenbau gestärkt werden könnte, da jeweils unterschiedliche Arten in den Umwelten stärker zur Ertragsbildung und N-Aufnahme aus dem Boden beitragen. Die höchste Konstanz konnte hier mit Rauhafer erzielt werden, der in allen Umwelten mit einer substantiellen Ertragsbildung und N-Aufnahme aus dem Boden vertreten war.

Zu Vegetationsende der Zwischenfrüchte wurde zudem deren Wirkung auf die residualen N_{min}-Mengen im Boden im Vergleich zur Unkrautbrache erfasst. Entgegen den Erwartungen konnten die N_{min}-Mengen im Boden durch die Einsaat der Zwischenfrüchte im Mittel nur in geringem Umfang im Vergleich zur Unkrautbrache beeinflusst werden. In den Trockenjahren 2018 und 2019 mit geringem Zwischenfruchtwachstum lagen sehr hohe Rest-N_{min}-Mengen im Boden in Höhe von 80 bis maximal 160 kg N_{min}/ha vor. Gutes Wachstum der Zwischenfrüchte, aber auch der Unkräuter in der Unkrautbrache senkte den N_{min}-Vorrat im Boden auf unter 30 kg/ha in 3 von vier Fällen ab. Trotz guten Zwischenfruchtwachstum im Jahr 2020 am Standort Calau (konventionell bewirtschaftet) verblieben zum Ende der Vegetationsperiode noch 50 bis 60 kg/ha residuale N_{min}-Mengen im Boden.

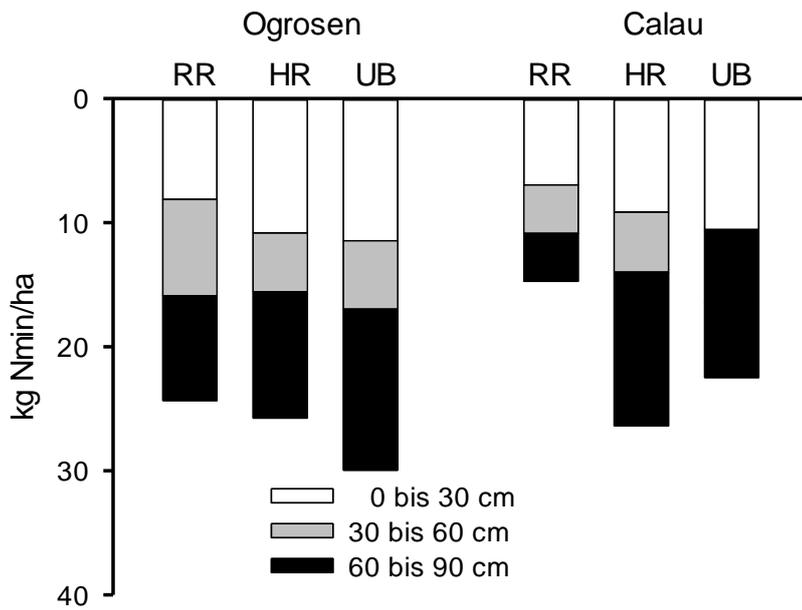


Abbildung 62: Einfluss der Zwischenbegrünung auf den Nmin-Vorrat im Boden am 02.11.2017 an den Standorten Ogrosen und Calau; RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HS = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache

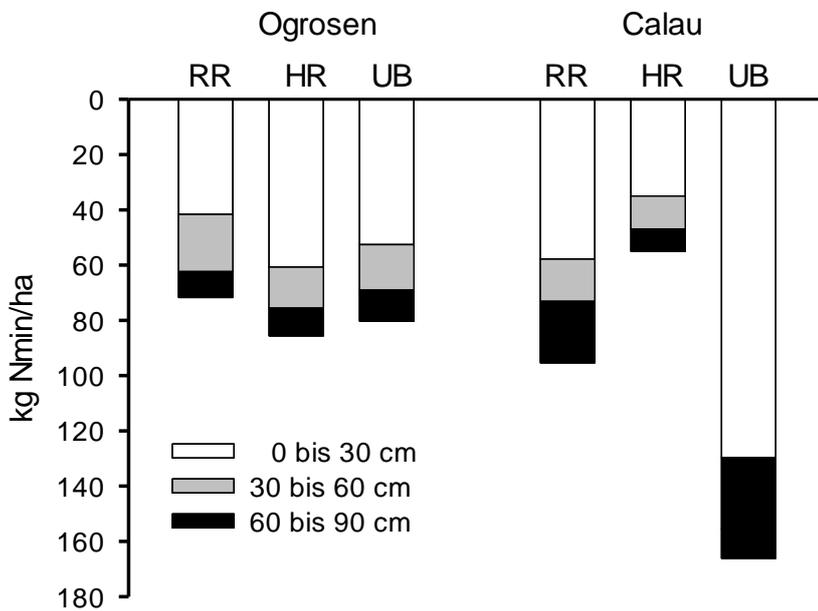


Abbildung 63: Einfluss der Zwischenbegrünung auf den Nmin-Vorrat im Boden am 16.11.2018 an den Standorten Ogrosen und Calau; RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HS = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache

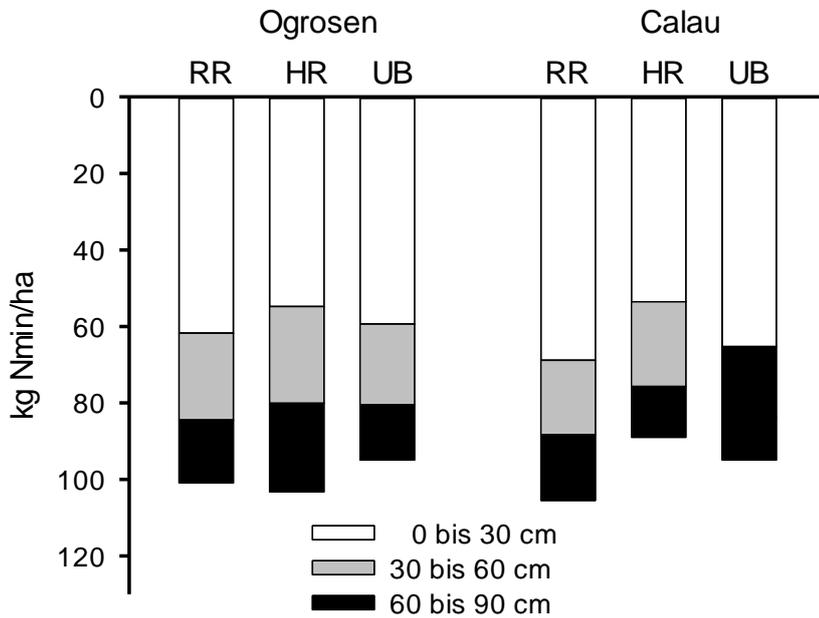


Abbildung 64: Einfluss der Zwischenbegrünung auf den Nmin-Vorrat im Boden am 07.11.2019 an den Standorten Ogrosen und Calau; RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HS = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache

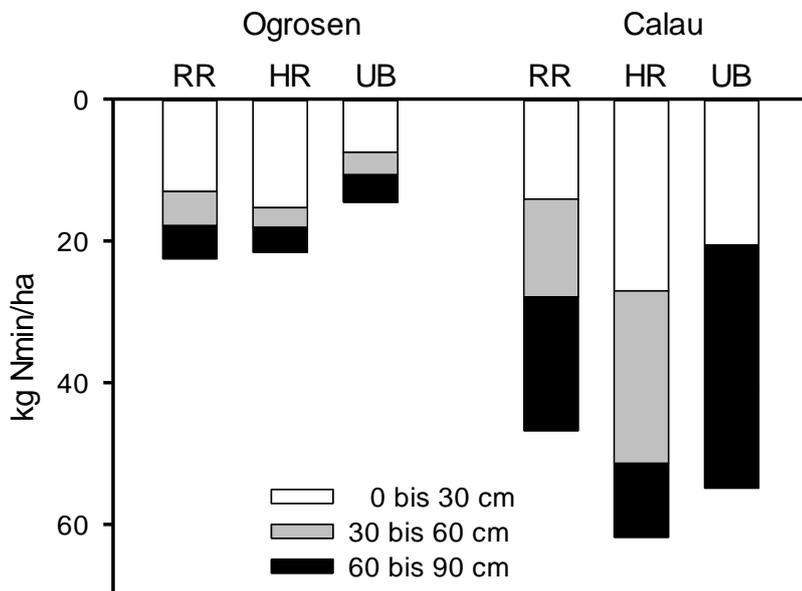


Abbildung 65: Einfluss der Zwischenbegrünung auf den Nmin-Vorrat im Boden am 21.11.2020 an den Standorten Ogrosen und Calau; RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HS = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache

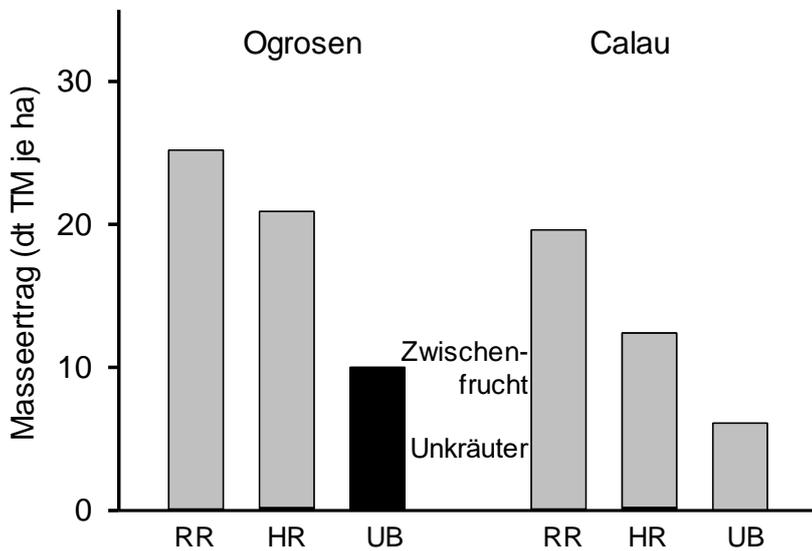


Abbildung 66: Einfluss der Zwischenbegrünung auf die Höhe der auf der Bodenoberfläche befindliche Mulchmasse 16.03.2018 an den Standorten Ogrosen und Calau; RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HS = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache

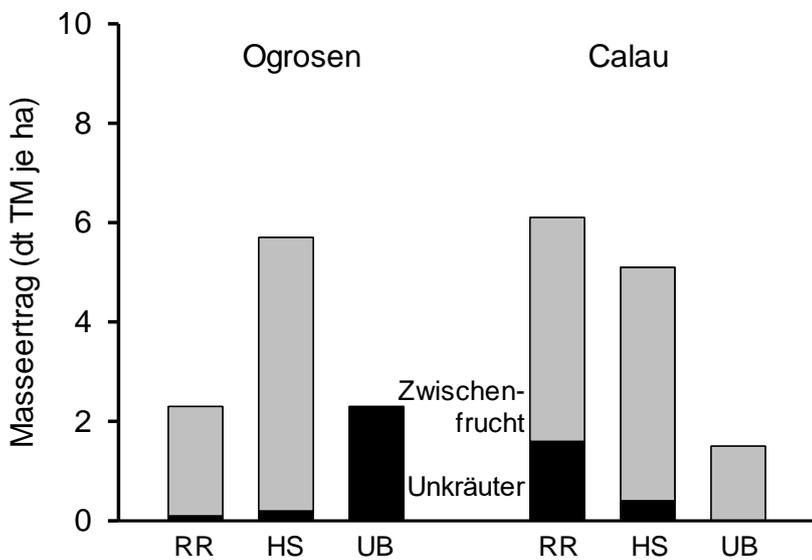


Abbildung 67: Einfluss der Zwischenbegrünung auf die Höhe der auf der Bodenoberfläche befindliche Mulchmasse 19.03.2019 an den Standorten Ogrosen und Calau; RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HS = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache

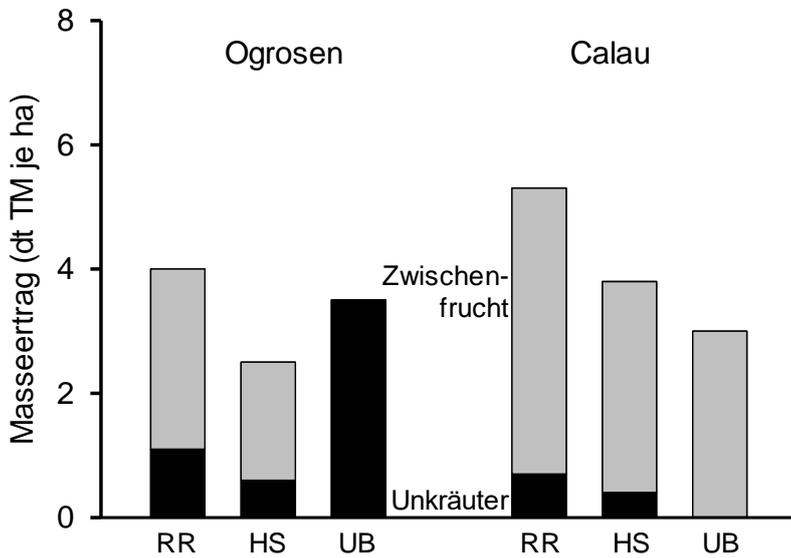


Abbildung 68: Einfluss der Zwischenbegrünung auf die Höhe der auf der Bodenoberfläche befindliche Mulchmasse 10.03.2020 an den Standorten Ogrosen und Calau; RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenshirse, HS = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache

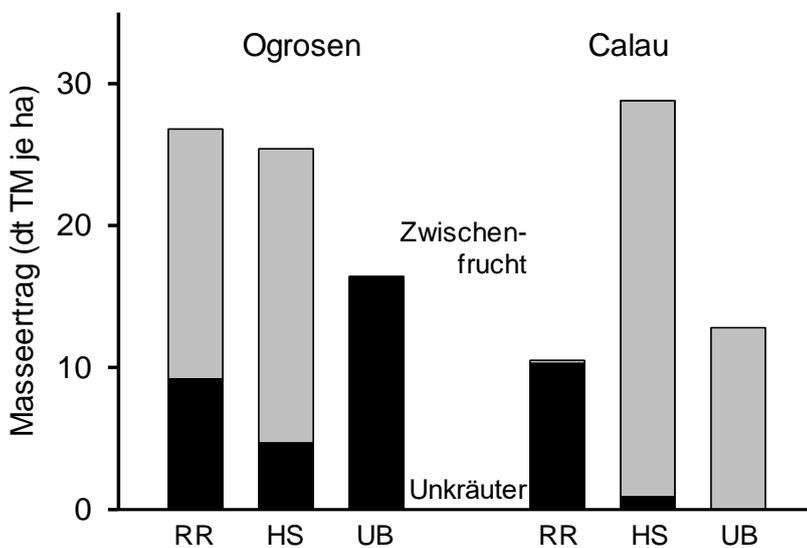


Abbildung 69: Einfluss der Zwischenbegrünung auf die Höhe der auf der Bodenoberfläche befindliche Mulchmasse 16.03.2021 an den Standorten Ogrosen und Calau; RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenshirse, HS = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache

Die nichtlegumigen Zwischenfrüchte hatten vor Eintritt der Frostperiode nach rascher Entwicklung im Herbst der Jahre 2017 und 2020 mindestens das Stadium der Blüte - Ramtillkraut und Rauhafer – bzw. die Fruchtreife – Sommerroggen und Rispenhirse – erreicht. In den trocken-heißen Vegetationszeiträumen 2018 und 2019 liefen die Zwischenfrüchte entweder frühzeitig auf und vertrockneten – insbesondere am Standort Ogrosen – oder liefen erst nach Einsetzen von Niederschlägen im Herbst auf, so dass sie in der Regel das Blühstadium knapp erreichten. Im Mittel fand über Winter ein Abbau von ca. 50% der im Herbst vorhandenen Sprossmasse der Zwischenfrüchte statt, die mindestens das Entwicklungsstadium der Blüte erreicht hatten. Signifikante Unterschiede konnten hier zwischen den unterschiedlichen Zwischenfruchtgemengen nicht festgestellt werden. In Abhängigkeit von der im Herbst vorhandenen Sprossmasse der Zwischenfrüchte lagen vor der Aussaat der Erbse auf der Bodenoberfläche noch zwischen 0,2 und 28 dt TM/ha (Standort Calau 2021) an respflanzlicher, abgestorbener Mulchmasse der Zwischenfrüchte vor. Hierin waren zwischen 1,4 kg N/ha (Calau 2019) und 30 kg N/ha (Ogrosen 2018) gebunden. Die Mulchmasse der Zwischenfrüchtewies ein C/N-Verhältnis zwischen 14,6 (Calau 2019) und 37,6 (Ogrosen 2018). Je weiter hinsichtlich des Entwicklungsstadium die Zwischenfrüchte im Herbst entwickelt waren, desto weiter war nicht nur das C/N-Verhältnis der Zwischenfruchtbiomasse im Herbst (Jahre 2017 und 2020) desto weiter war auch das C/N-Verhältnis in der Mulchmasse im folgenden Frühjahr. Hier zeigte sich in der Regressionsanalyse ein gesichert enger Zusammenhang (Abb. 70).

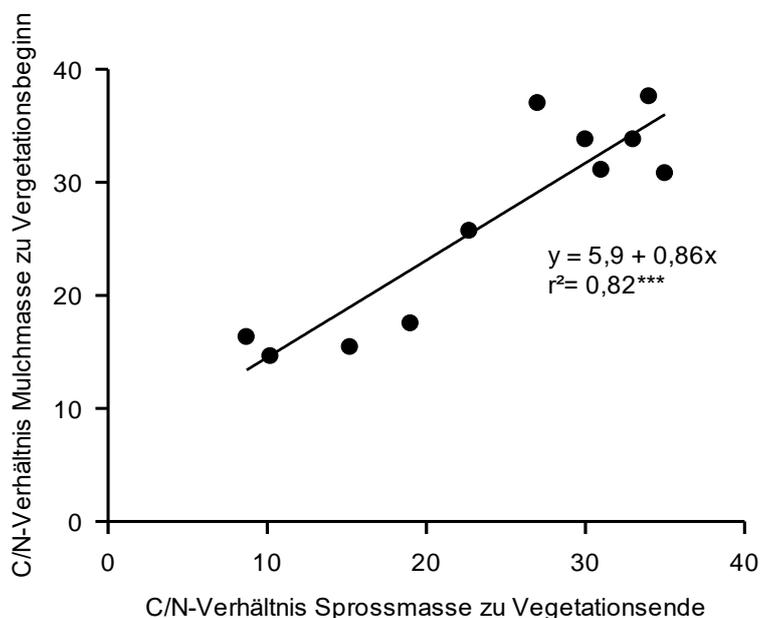


Abbildung 70: Regression des C/N-Verhältnisses der Zwischenfruchtsprossmasse zu Vegetationsende auf das C/N-Verhältnis der abgestorbenen respflanzlichen Mulchmasse der Zwischenfrüchte zu Vegetationsbeginn im darauffolgenden Frühjahr

Tabelle 33: Zur Saat der Erbse auf der Bodenoberfläche verbliebene abgestorbene pflanzliche Biomasse (Mulchmasse dt TM/ha)

Standort	Kenngroesse	Rammtillkraut/ Rispenhirse	Rauhafer Roggen	Unkrautbrache
Ogrofen 16.03.2018	dt TM/ha C/N-Verhältnis %N in der TM N-Menge kg/ha	25,1 37,6 1,16 29,7	20,7 32,1 1,42 30,0	10,0 18,2 2,29 22,8
Ogrofen 19.03.2019	dt TM/ha C/N-Verhältnis %N in der TM N-Menge kg/ha	1. (2,2) 2. (16,3) 3. (2,41) 4. (5,1)	5,5 (0,7) 16,3 (13,4) 2,65 (3,17) 2,3 (14,7)	2,3 14,2 2,7 6,1
Ogrofen 10.03.2020	dt TM/ha C/N-Verhältnis %N in der TM N-Menge kg/ha	2,9 (1,1) 25,7 (11,3) 1,75 (3,74) 4,9 (4,2)	1,9 (0,6) 15,4 (19,5) 2,93 (2,35) 5,6 (1,3)	3,5 15,2 3,01 10,9
Ogrofen 16.03.2021	dt TM/ha	17,6 (9,2)	20,4 (4,7)	16,4
Calau 16.03.2018	dt TM/ha C/N-Verhältnis %N in der TM N-Menge kg/ha	19,5 30,8 1,07 20,9	12,2 33,8 1,27 15,4	6,1 21,9 2,03 13,4
Calau 19.03.2019	dt TM/ha C/N-Verhältnis %N in der TM N-Menge kg/ha	4,5 (1,6) 37,0 (11,0) 1,12 (3,39) 1,4 (3,2)	4,7 (0,4) 14,6 (15,6) 2,89 (2,85) 13,6 (1,2)	1,5 10,2 3,68 5,9
Calau 10.03.2020	dt TM/ha C/N-Verhältnis %N in der TM N-Menge kg/ha	4,6 (0,7) 33,8 (42,8) 1,29 (1,25) 5,8 (0,7)	3,0 (0,4) 17,5 (30,3) 2,72 (1,45) 7,9 (0,6)	3,0 32,6 1,23 3,6
Calau 16.03.2021	dt TM/ha	0,2 (10,3)	27,9 (0,9)	12,9

Tabelle 34: Rate der Wiederfindung der Zwischenfruchtsprossmasse des auf der Bodenoberfläche verbliebenen abgestorbenen pflanzliche Biomasse der Zwischenfrüchte, Angaben in %

Standort	Rammtillkraut/ Rispenhirse	Rauhafer Roggen
Ogrofen 16.03.2018	48,0	49,7
Ogrofen 19.03.2019	n.e	49,9
Ogrofen 10.03.2020	51,1	48,5
Ogrofen 16.03.2021	76,2	48,7
Calau 16.03.2018	40,3	37,7
Calau 19.03.2019	n.e	n.e
Calau 10.03.2020	50,7	48,7
Calau 16.03.2021	n.e	n.e

n.e: nicht ermittelbar

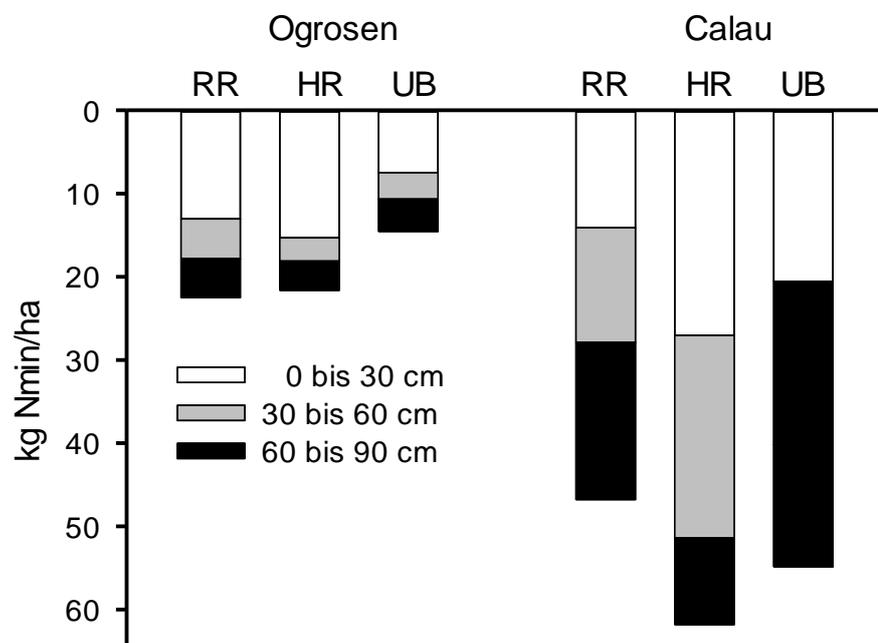


Abbildung 71: Einfluss der Zwischenbegrünung auf den Nmin-Vorrat im Boden am 29.03.2018 an den Standorten Ogrosfen und Calau; RR = Zwischenfrucht Rammtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache

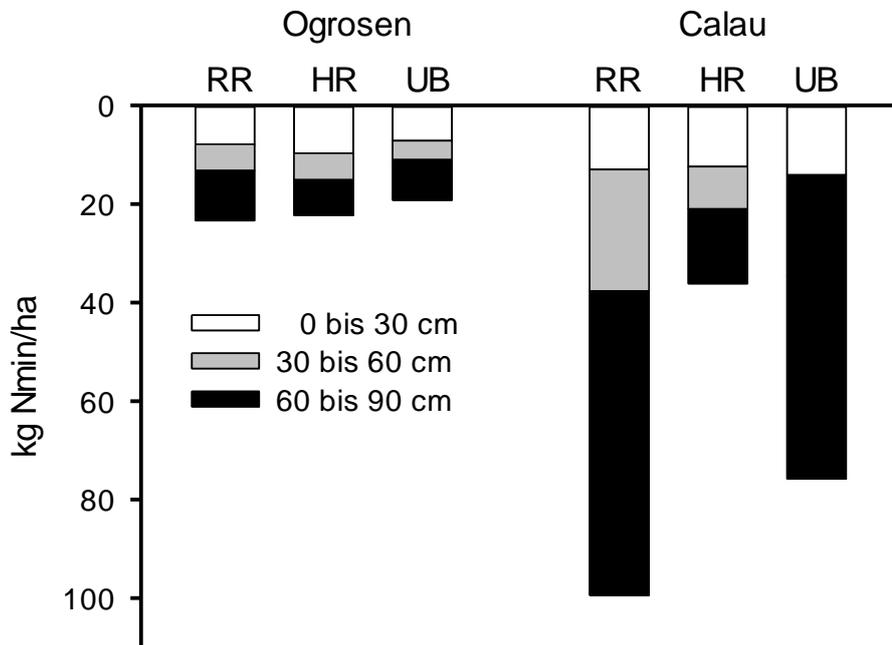


Abbildung 72: Einfluss der Zwischenbegrünung auf den Nmin-Vorrat im Boden am 31.03.2019 an den Standorten Ogrosen und Calau; RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache

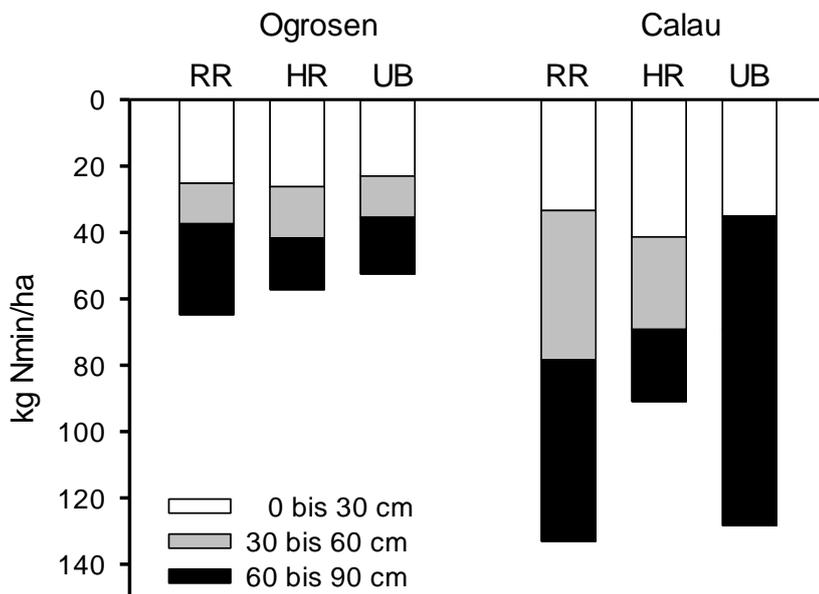


Abbildung 73: Einfluss der Zwischenbegrünung auf den Nmin-Vorrat im Boden am 11.03.2020 an den Standorten Ogrosen und Calau; RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache

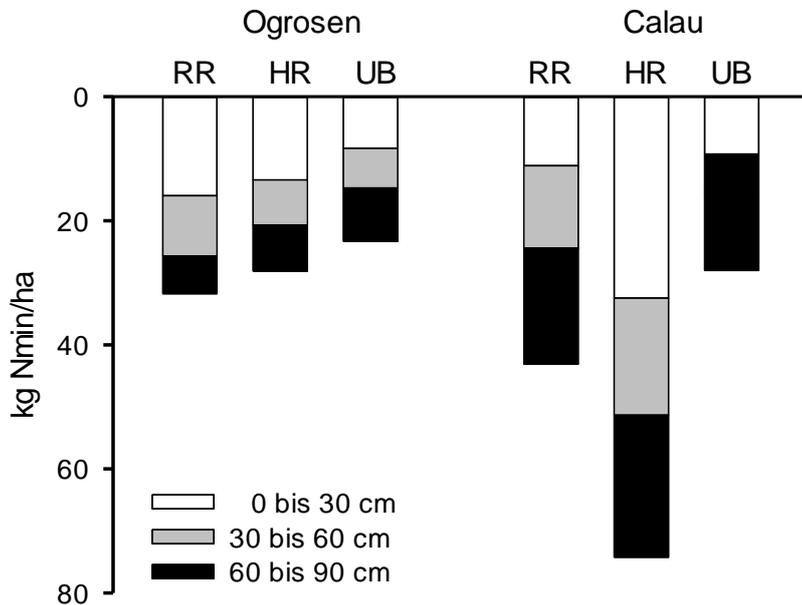


Abbildung 74: Einfluss der Zwischenbegrünung auf den Nmin-Vorrat im Boden am 15.03.2021 an den Standorten Ogrosen und Calau; RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache

Zum Zeitpunkt der Aussaat der Erbse zeichneten sich zwischen den Untersuchungsstandorten deutlich Unterschiede im Nmin-Vorrat des Bodens ab. Auf den langjährig ökologisch bewirtschafteten Ackerschlägen am Standort Ogrosen lagen in allen Fällen im Mittel deutlich geringere Nmin-Mengen im Boden vor als auf den langjährig konventionell bewirtschafteten Ackerschlägen am Standort Calau. Am Standort Ogrosen konnte ferner das Untersuchungsziel durch einen gezielten nichtegumigen Zwischenfruchtbaue die Nmin-Menge im Boden zur Saat der Erbse im Vergleich zu einer Unkrautbrache nicht hinreichend erreicht werden. In allen vier Jahren war im Boden der Parzellen mit Unkrautbrache ein geringerer Vorrat an Nmin im Boden bis in eine Tiefe von 90 cm nachzuweisen als nach den beiden Zwischenfruchtgemengen. Am Standort Calau lag nur in einem von vier Jahren ein geringerer Nmin-Vorrat im Boden in den Parzellen der Unkrautbrache vor. Hier erwies sich in den Jahren 2019 und 2020 ein Zwischenfruchtbaue mit Rauhafer/Sommerroggen als deutlich besser geeignet zur Reduktion des Nmin-Vorrates im Boden als der Gemengebau mit Ramtillkraut und Rispenhirse bzw. der Unkrautbrache. Dieser Befund ging einher mit der höchsten N-Akkumulation im Zwischenfruchtbestand aus Rauhafer und Sommerroggen am Standort Calau zu Vegetationsende 2018 und 2019.

Entwicklung der Erbse bis zur Blüte

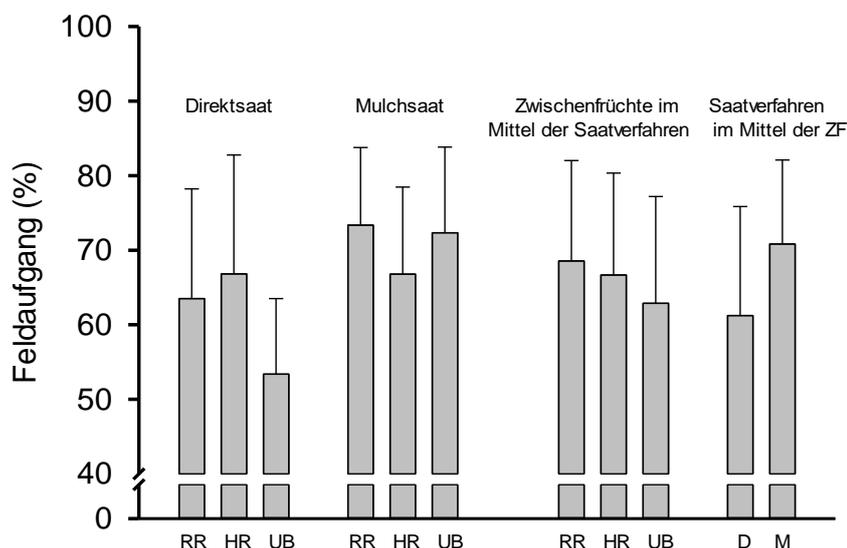


Abbildung 75: Einfluss der Zwischenfrucht und des Saatverfahrens auf den Feldaufgang der Erbse am Standort Ogrosen am 04. Mai 2018 (RR = Zwischenfrucht Ramtilkkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, D = Direktsaat, M = Mulchsaat), Mittel + Standardabweichung

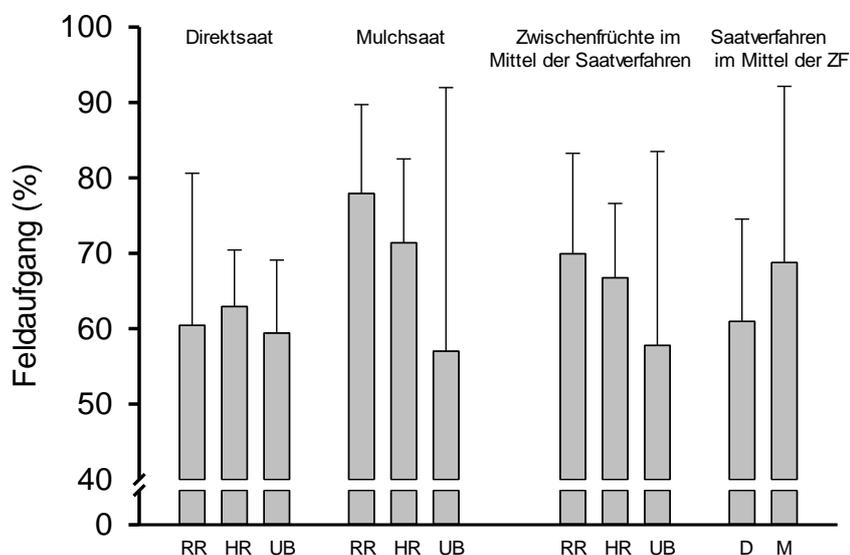


Abbildung 76: Einfluss der Zwischenfrucht und des Saatverfahrens auf den Feldaufgang der Erbse am Standort Calau am 04. Mai 2018 (RR = Zwischenfrucht Ramtilkkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, D = Direktsaat, M = Mulchsaat), Mittel + Standardabweichung

In Abb. 76 bis 81 ist der Feldaufgang der Erbse in den sechs Prüfumwelten der Untersuchungsserie dargestellt. Nach Mulchsaat konnten im Mittel der geprüften Verfahren stets höhere Feldaufgänge erzielt werden als nach Direktsaat (im Mittel aller Umwelten ca. 10%-Punkte höhere Feldaufgänge der Erbse nach Mulchsaat). Allerdings traten hier deutliche Unterschiede auf: Während am Standort Ogrosen im Jahr 2021 nur geringe Unterschiede zu verzeichnen waren (Abb. 80, 54% Feldaufgang der Erbse nach Direktsaat versus 55% Feldaufgang nach Mulchsaat), betrug die entsprechende Differenz am Standort Calau im Jahr 2019 19%-Punkte (49% versus 68%). Damit wurden in den meisten Fällen für eine optimale Ertragsbildung der Erbse zu geringe Pflanzendichten zwischen nur 50 und 70 Pflanzen je m² erreicht, obwohl 100 keimfähige Samen ausgesät wurden. Zur Aussaat wurden in beiden

Saatverfahren eine optimale Saattiefe der Erbsen von ca. 5 cm erreicht, so dass offenbar unzureichende Bodenfeuchte in den Jahren 2018 und 2019 sowie eine zu hohe Feuchte des Bodens im Jahr 2021 zu den geringen Feldaufgängen beigetragen haben. Ein nach der Saat durchgeführtes Anwalzen hätte vermutlich in 2018 und 2019 den Feldaufgang der Erbse unabhängig vom Ansaatverfahren erhöhen können.

Komplexe Wechselwirkungen waren zwischen der Art der Zwischenfruchtbewirtschaftung, dem Standort und dem Versuchsjahr hinsichtlich des Feldaufganges zu verzeichnen. Während die im Herbst 2017 am Standort Ogrosen gut entwickelten Zwischenfruchtbestände im Folgejahr im Direktsaatverfahren in beiden Fällen zu einer Erhöhung des Feldaufganges der Erbse um ca. 10%-Punkte im Vergleich zur Unkrautbrache beitrug (Abb. 76), war dieses nach Mulchsaat hier nicht festzustellen. Ein durch Trockenheit bedingtes geringes Zwischenfruchtwachstum im Jahr 2018 führte auch zu geringen Unterschieden im Feldaufgang der Erbse in 2019 an beiden Standorten (Abb. 78 und Abb. 79). Eine gute Zwischenfruchtentwicklung und ein entsprechendes Wachstum des Zwischenfruchtgemenges Rauhafer/Sommerroggen am Standort Calau in 2020 (Abb. 58) führte in 2021 sowohl in Direktsaat als auch in Mulchsaat zu einer deutlichen Verbesserung des Feldaufganges der Erbsen (Abb. 81); um im Mittel der beiden anderen Zwischenfruchtbewirtschaftungsweisen 10%-Punkte in Direktsaat und 16%-Punkte in Mulchsaat. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass hohe Sprosserträge der nichtlegumen und absterbenden Zwischenfrüchte vor allem bei Direktsaat, aber auch in Mulchsaat den Feldaufgang einer folgenden Sommererbse positiv beeinflussen können soweit über Winter genügend Niederschlag zur Auffüllung des Bodenwasservorrates zu verzeichnen sind. Offenbar haben auch die auf der Bodenoberfläche verbliebenen restpflanzliche Biomassen der Zwischenfrüchte keine keimhemmende Wirkung auf die in 5 cm Tiefe gesäten Erbsen entfalten können.

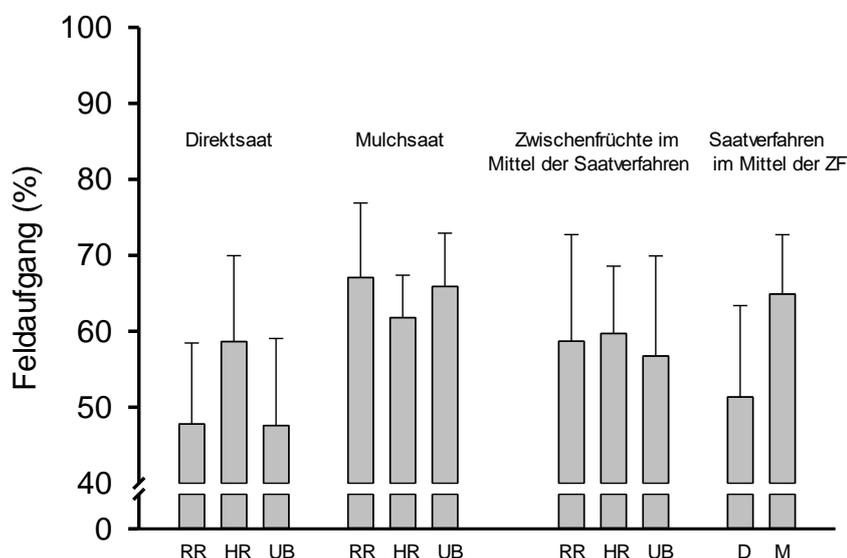


Abbildung 77: Einfluss der Zwischenfrucht und des Saatverfahrens auf den Feldaufgang der Erbse am Standort Ogrosen am 03. Mai 2019 (RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, D = Direktsaat, M = Mulchsaat), Mittel + Standardabweichung

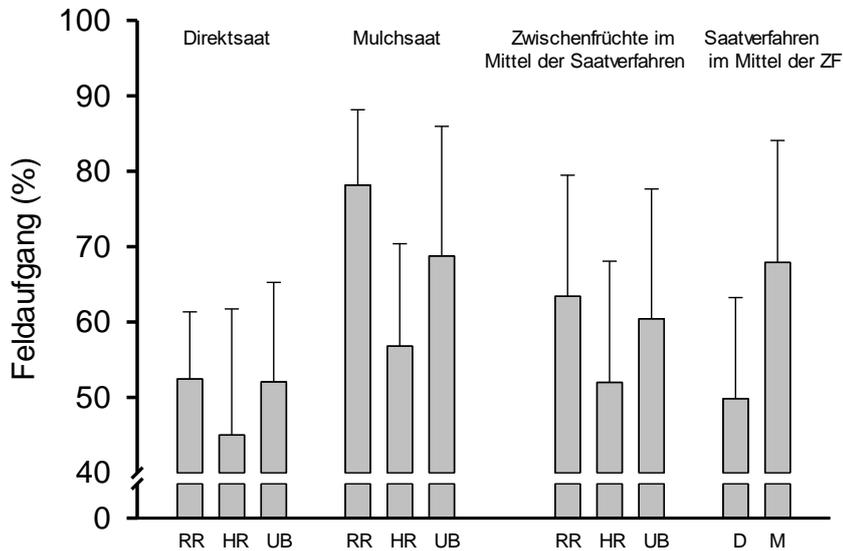


Abbildung 78: Einfluss der Zwischenfrucht und des Saatverfahrens auf den Feldaufgang der Erbse am Standort Calau am 03. Mai 2019 (RR = Zwischenfrucht Ramtilkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, D = Direktsaat, M = Mulchsaat), Mittel + Standardabweichung

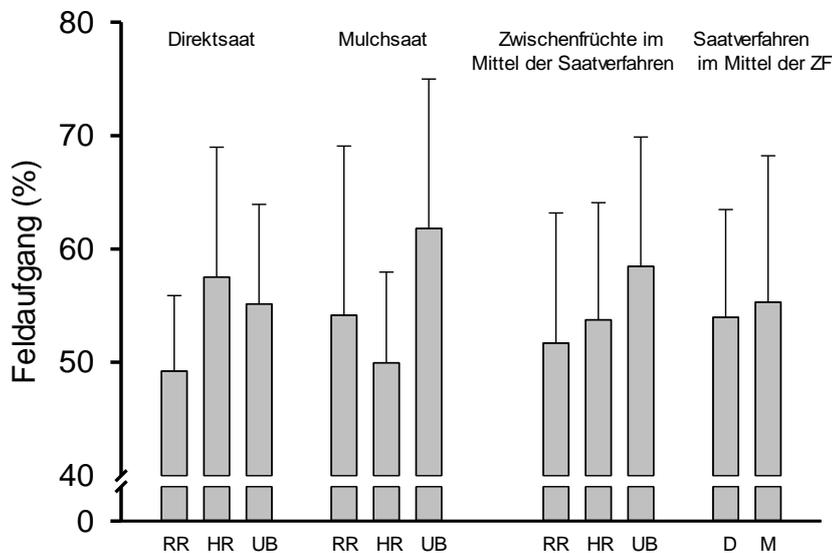


Abbildung 79: Einfluss der Zwischenfrucht und des Saatverfahrens auf den Feldaufgang der Erbse am Standort Ogrosen am 09. Juni 2021 (ZF= Zwischenfruchtbestände, RR = Ramtilkraut/Rispenhirse, HR: Rauhafer/Roggen, UB: Unkrautbrache D = Direktsaat, M = Mulchsaat), Mittel + Standardabweichung

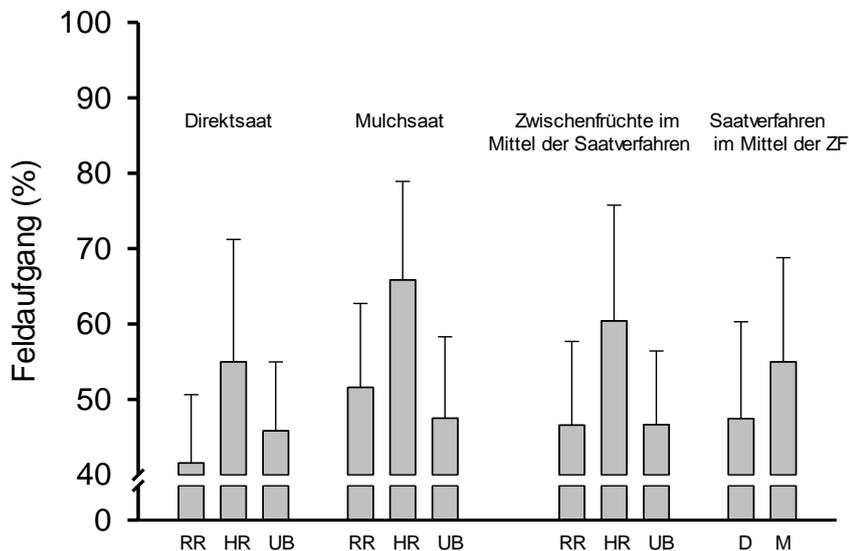


Abbildung 80: Einfluss der Zwischenfrucht und des Saatverfahrens auf den Feldaufgang der Erbse am Standort Calau am 09. Juni 2021 (ZF= Zwischenfruchtbestände, RR = Ramtilkaut/Rispenhirse, HR: Rauhafer/Roggen, UB: Unkrautbrache, D = Direktsaat, M = Mulchsaat), Mittel + Standardabweichung

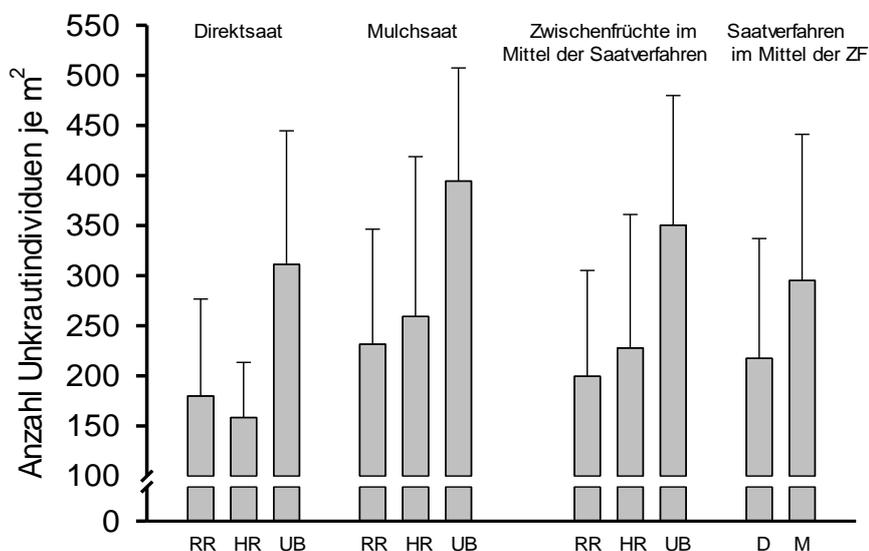


Abbildung 81: Einfluss der Zwischenfrucht und des Saatverfahrens auf die Anzahl aufgelaufene Unkräuter in Erbse am Standort Ogrosen am 10. Mai 2018 (RR = Zwischenfrucht Ramtilkaut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, D = Direktsaat, M = Mulchsaat), Mittel + Standardabweichung

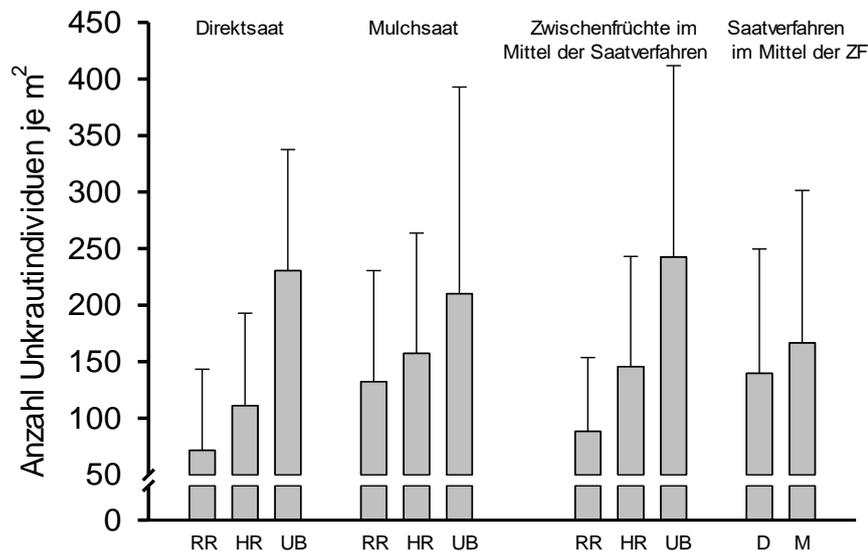


Abbildung 82: Einfluss der Zwischenfrucht und des Saatverfahrens auf die Anzahl aufgelaufene Unkräuter in Erbse am Standort Calau am 10. Mai 2018 (; RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, D = Direktsaat, M = Mulchsaat), Mittel + Standardabweichung

Im ersten Jahr 2018 führte die Direktsaat an beiden Standorten tendenziell zu einer Minderung der Anzahl aufgelaufener Unkräuter (Abb. 82 und Abb. 83), während die Direktsaat in allen anderen vier Prüfumwelten in der Tendenz zu höheren Individuenzahlen an Unkräutern führte (Abb. 84 bis Abb. 87). Ein hinreichend gutes Wachstum der Zwischenfruchtgemenge in den Jahren 2017 und 2020 führte im darauffolgenden Jahr sowohl in Direkt- als auch in Mulchsaat zu einer Minderung der Anzahl Unkräuter in den Erbsen im Vergleich zur Vorfrucht „Unkrautbrache“ (Abb. 82 und 83 sowie Abb. 86 und 87).

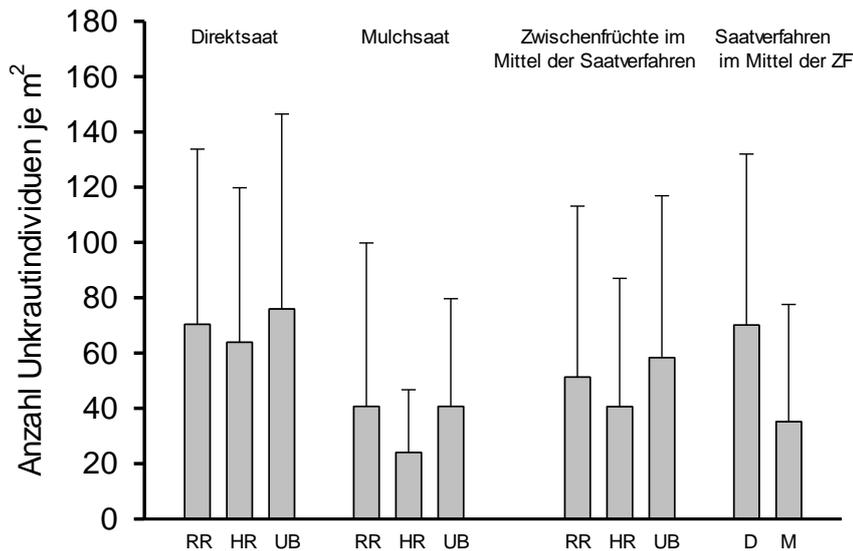


Abbildung 83: Einfluss der Zwischenfrucht und des Saatverfahrens auf die Anzahl aufgelaufene Unkräuter in Erbse am Standort Ogrosen am 03. Mai 2019 (RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, D = Direktsaat, M = Mulchsaat), Mittel + Standardabweichung

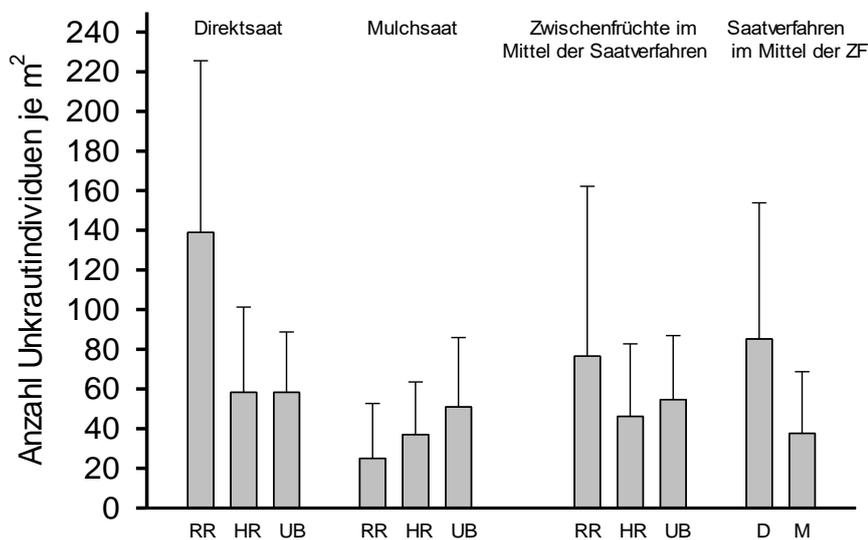


Abbildung 84: Einfluss der Zwischenfrucht und des Saatverfahrens auf die Anzahl aufgelaufene Unkräuter in Erbse am Standort Calau am 03. Mai 2019 (RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, D = Direktsaat, M = Mulchsaat), Mittel + Standardabweichung

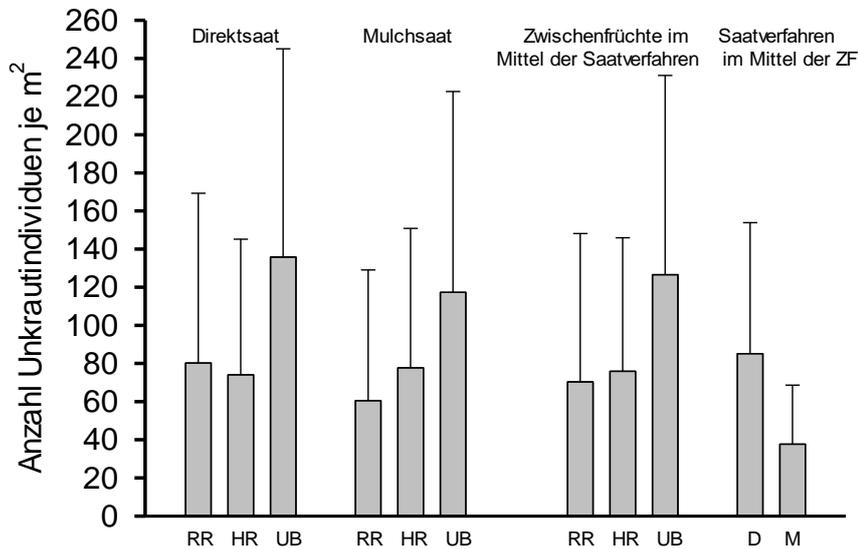


Abbildung 85: Einfluss der Zwischenfrucht und des Saatverfahrens auf die Anzahl aufgelaufene Unkräuter in Erbse am Standort Ogrosen am 09. Juni 2021 (ZF= Zwischenfruchtbestände, RR = Ramtilktaut/Rispenhirse, HR: Rauhafer/Roggen, UB: Unkrautbrache D = Direktsaat, M = Mulchsaat), Mittel + Standardabweichung

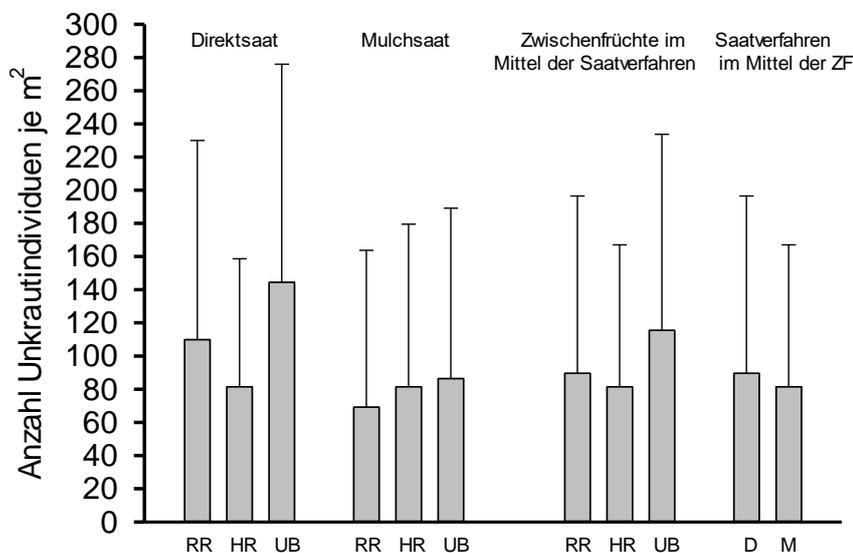


Abbildung 86: Einfluss der Zwischenfrucht und des Saatverfahrens auf die Anzahl aufgelaufene Unkräuter in Erbse am Standort Calau am 09. Juni 2021 (ZF= Zwischenfruchtbestände, RR = Ramtilktaut/Rispenhirse, HR: Rauhafer/Roggen, UB: Unkrautbrache D = Direktsaat, M = Mulchsaat), Mittel + Standardabweichung

Geringes Wachstum der Zwischenfrüchte war hingegen mit keinen signifikanten Wirkungen auf die Anzahl Unkrautpflanzen in den nachfolgenden Erbsen verbunden, wie sich aus den Resultaten des Zwischenfruchtwachstums bis Herbst 2018 (Abb. 55) und den Anzahl Unkrautpflanzen in den Erbsen im Jahr 2019 an beiden Standorten zeigte (Abb. 84 und Abb. 85). Insgesamt zeigten sich allerdings keine markanten Unterschiede in der Wirkung auf die Anzahl Unkrautpflanzen in den nachfolgenden Sommererbsen zwischen den Zwischenfruchtgemenge Ramtilktaut/Rispenhirse einerseits und Rauhafer/Sommerroggen andererseits.

Für die Ertragsbildung der Erbsen ist stärker die gebildete Unkrautsprossmasse als die Anzahl aufgetretener Unkrautindividuen von Relevanz. Deshalb wurde die in den Erbsen bis zur Blüte gebildete Sprossmasse der Unkräuter gesondert erfasst (Abb. 88 bis Abb. 93). Zur Blüte der Erbse waren in allen sechs untersuchten Umwelten höhere Sprosserträge der Unkräuter nach Direktsaat im Vergleich zur Mulchsaat gebildet worden. Allerdings führte ein hoher Sprossertrag der Zwischenfrüchte zu einer Verringerung der Differenz im Unkrautertrag zwischen Direkt- und Mulchsaat wie dieses im Jahr 2018 an beiden Standorten und im Jahr 2021 am Standort Calau sichtbar wurde (Abb. 88 und Abb. 89) sowie Abb. 93 nach Zwischenfrucht Rauhafer/Sommerroggen. Nach Unkrautbrache waren in der Regel höhere Sprosserträge in den Erbsen zu verzeichnen als nach Anbau von Zwischenfrüchten. Dieses galt insbesondere in der Direktsaat, vielfach aber auch nach Mulchsaat. Eine Regulation der Unkräuter über den Einsatz des Rollstriegels (Standorte Ogrosen und Calau) oder ein Herbizid (Standort Calau) senkte in 5 von 6 Fällen das Wachstum der Unkräuter, wobei der Einsatz eines Rollstriegels in diesen Fällen häufig als wenig effizient beurteilt werden kann wie sich am Unkrautwachstum in der Kontrolle (ohne Unkrautregulation) feststellen ließ. Ertragsstarker Zwischenfruchtbau mit den hier geprüften Gemengen erwies sich hingegen in vielen Fällen als wesentlich wirksamer gegenüber einem Unkrautwachstum in den Erbsen als ein zwei bis dreimaliger Einsatz eines Rollstriegels.

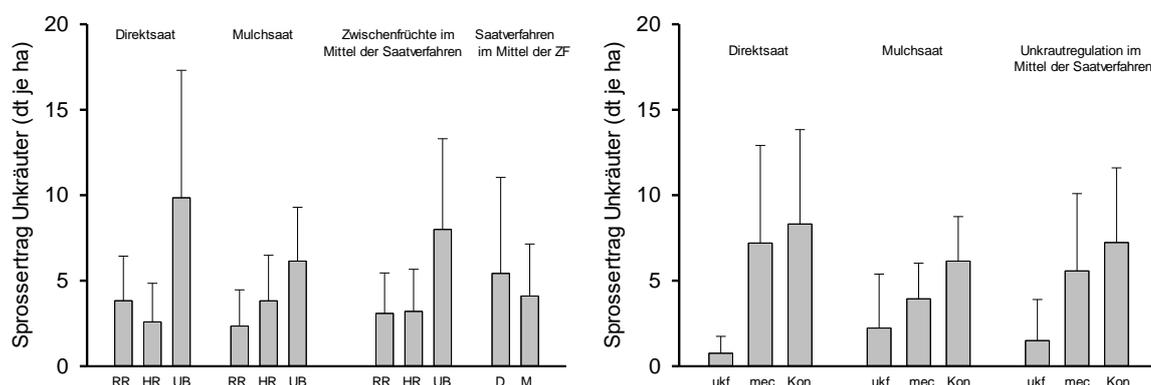


Abbildung 87: Einfluss der Zwischenfrucht, der Unkrautregulation und des Saatverfahrens auf den Sprosstrockenmasseertrag der Unkräuter in Erbse zum Zeitpunkt Ende Blüte am Standort Ogrosen am 01. Juni 2018 (RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, D = Direktsaat, M = Mulchsaat, ukf = unkrautfrei bis Bestandesschluss, mec = mechanische Unkrautregulation mit dem Rollstriegel, Kon = Kontrolle ohne Unkrautregulation), Mittel + Standardabweichung

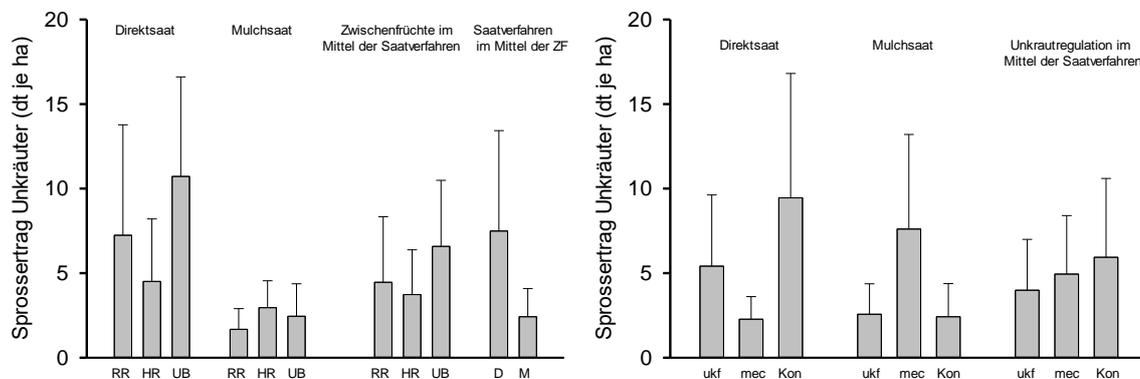


Abbildung 88: Einfluss der Zwischenfrucht, der Unkrautregulation und des Saatverfahrens auf den Sprossstrockenmasseertrag der Unkräuter in Erbse zum Zeitpunkt Ende Blüte am Standort Calau am 01. Juni 2018 (RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, D = Direktsaat, M = Mulchsaat, ukf = unkrautfrei bis Bestandesschluss, mec = mechanische Unkrautregulation mit dem Rollstriegel, Kon = Kontrolle ohne Unkrautregulation), Mittel + Standardabweichung

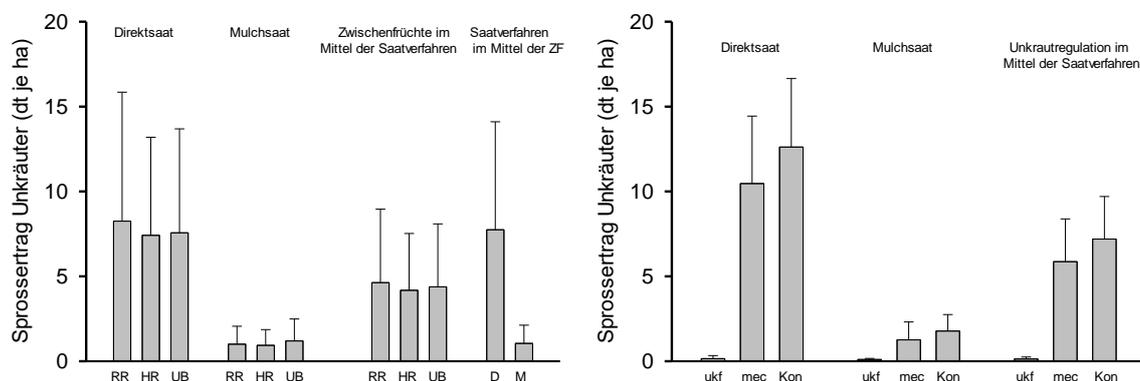


Abbildung 89: Einfluss der Zwischenfrucht, der Unkrautregulation und des Saatverfahrens auf den Sprossstrockenmasseertrag der Unkräuter in Erbse zum Zeitpunkt Ende Blüte am Standort Ogrosen am 30. Mai 2019 (RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, D = Direktsaat, M = Mulchsaat, ukf = unkrautfrei bis Bestandesschluss, mec = mechanische Unkrautregulation mit dem Rollstriegel, Kon = Kontrolle ohne Unkrautregulation), Mittel + Standardabweichung

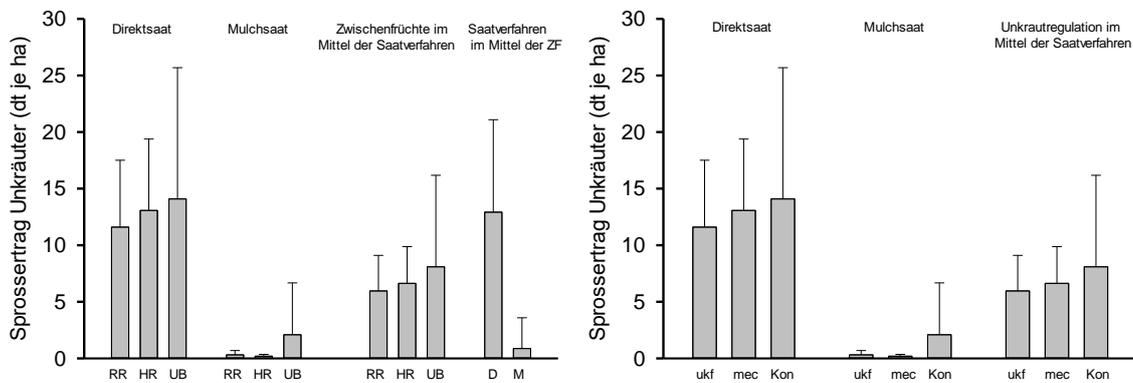


Abbildung 90: Einfluss der Zwischenfrucht, der Unkrautregulation und des Saatverfahrens auf den Sprossertrag der Unkräuter in Erbse zum Zeitpunkt Ende Blüte am Standort Calau am 30. Mai 2019 (RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, D = Direktsaat, M = Mulchsaat, ukf = unkrautfrei bis Bestandesschluss, mec = mechanische Unkrautregulation mit dem Rollstriegel, Kon = Kontrolle ohne Unkrautregulation), Mittel + Standardabweichung

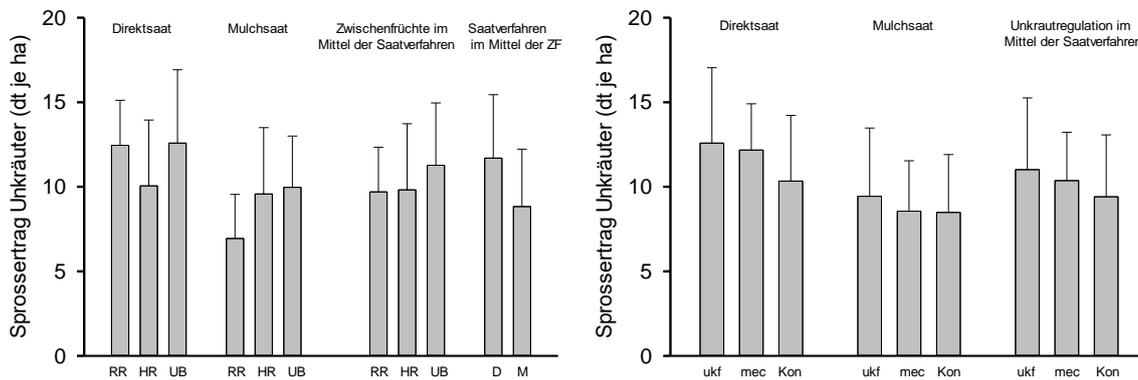


Abbildung 91: Einfluss der Zwischenfrucht, der Unkrautregulation und des Saatverfahrens auf den Sprossertrag der Unkräuter in Erbse zum Zeitpunkt Ende Blüte am Standort Ogrosen am 23. Juni 2021 (RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, D = Direktsaat, M = Mulchsaat, ukf = unkrautfrei bis Bestandesschluss, mec = mechanische Unkrautregulation mit dem Rollstriegel, Kon = Kontrolle ohne Unkrautregulation), Mittel + Standardabweichung

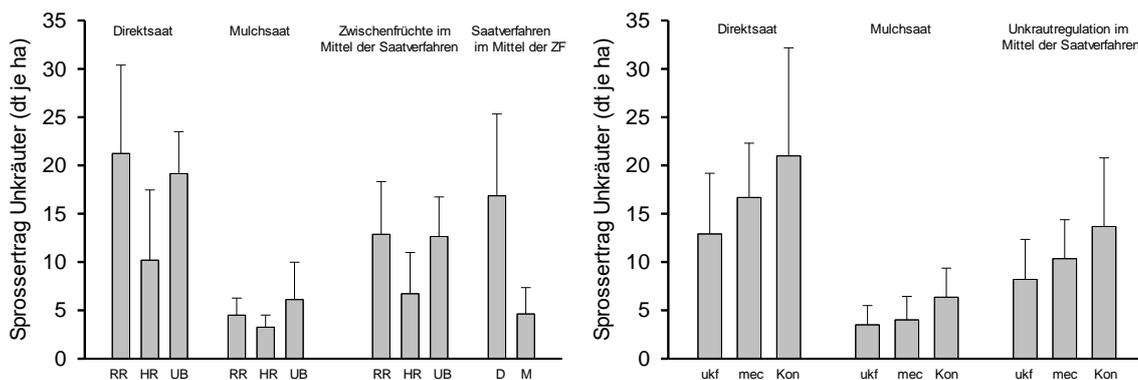


Abbildung 92: Einfluss der Zwischenfrucht, der Unkrautregulation und des Saatverfahrens auf den Sprossertrag der Unkräuter in Erbse zum Zeitpunkt Ende Blüte am Standort Calau am 23. Juni 2021 (RR =

Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, D = Direktsaat, M = Mulchsaat, ukf = unkrautfrei bis Bestandesschluss, mec = mechanische Unkrautregulation mit dem Rollstriegel, Kon = Kontrolle ohne Unkrautregulation), Mittel + Standardabweichung

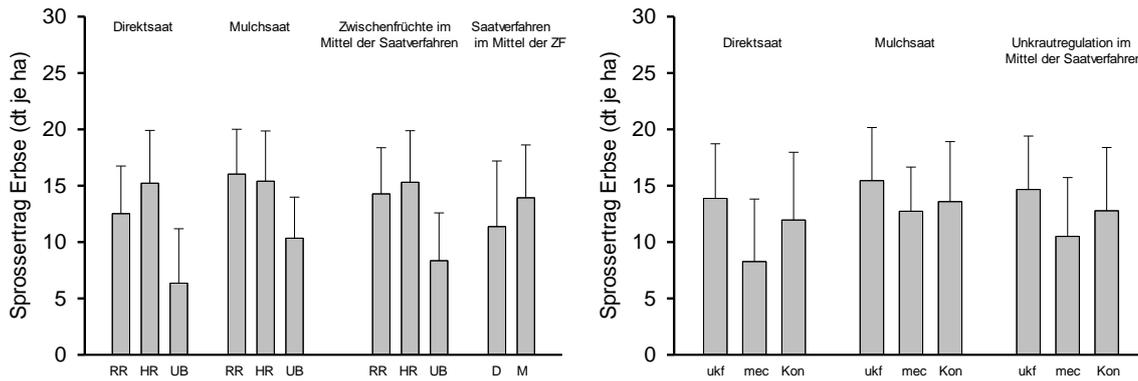


Abbildung 93: Einfluss der Zwischenfrucht, der Unkrautregulation und des Saatverfahrens auf den Sprossertrag der Erbse zum Zeitpunkt Ende Blüte am Standort Ogrosen am 01. Juni 2018 (RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, D = Direktsaat, M = Mulchsaat, ukf = unkrautfrei bis Bestandesschluss, mec = mechanische Unkrautregulation mit dem Rollstriegel, Kon = Kontrolle ohne Unkrautregulation), Mittel + Standardabweichung

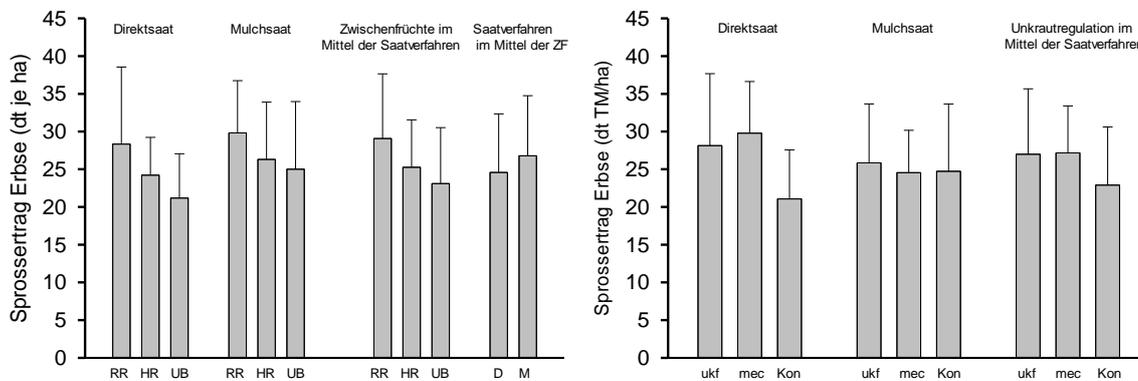


Abbildung 94: Einfluss der Zwischenfrucht, der Unkrautregulation und des Saatverfahrens auf den Sprossertrag der Erbse zum Zeitpunkt Ende Blüte am Standort Calau am 01. Juni 2018 (RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, D = Direktsaat, M = Mulchsaat, ukf = unkrautfrei bis Bestandesschluss, mec = mechanische Unkrautregulation mit dem Rollstriegel, Kon = Kontrolle ohne Unkrautregulation), Mittel + Standardabweichung

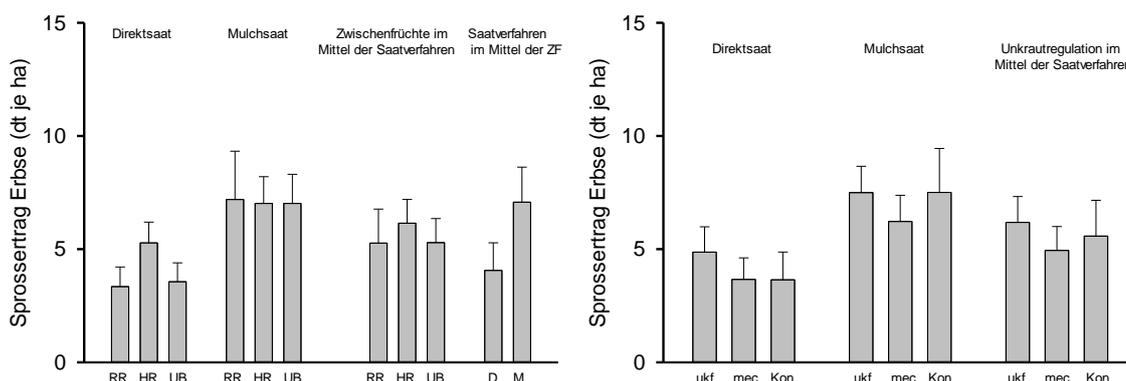


Abbildung 95: Einfluss der Zwischenfrucht, der Unkrautregulation und des Saatverfahrens auf den Sprossertrag der Erbse zum Zeitpunkt Ende Blüte am Standort Ogrosen am 30. Mai 2019 (RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, D = Direktsaat, M = Mulchsaat, ukf = unkrautfrei bis Bestandesschluss, mec = mechanische Unkrautregulation mit dem Rollstriegel, Kon = Kontrolle ohne Unkrautregulation), Mittel + Standardabweichung

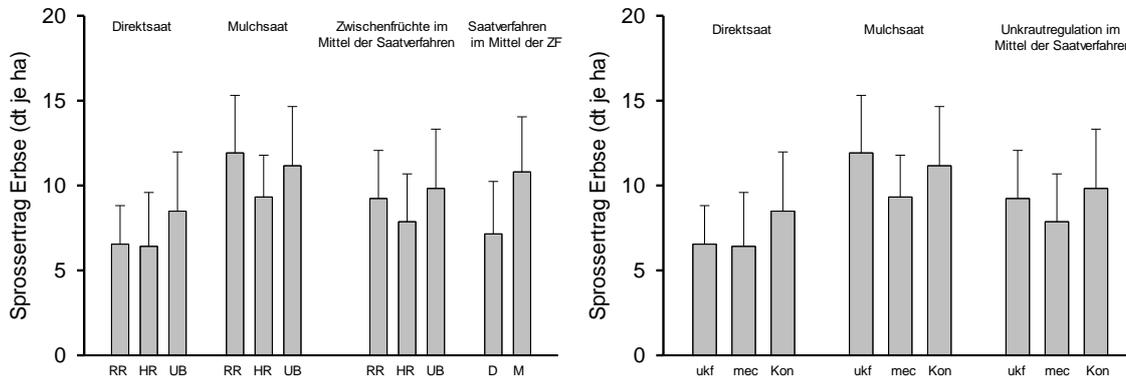


Abbildung 96: Einfluss der Zwischenfrucht, der Unkrautregulation und des Saatverfahrens auf den Sprossertrag der Erbse zum Zeitpunkt Ende Blüte am Standort Calau am 30. Mai 2019 (RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, D = Direktsaat, M = Mulchsaat, ukf = unkrautfrei bis Bestandesschluss, mec = mechanische Unkrautregulation mit dem Rollstriegel, Kon = Kontrolle ohne Unkrautregulation), Mittel + Standardabweichung

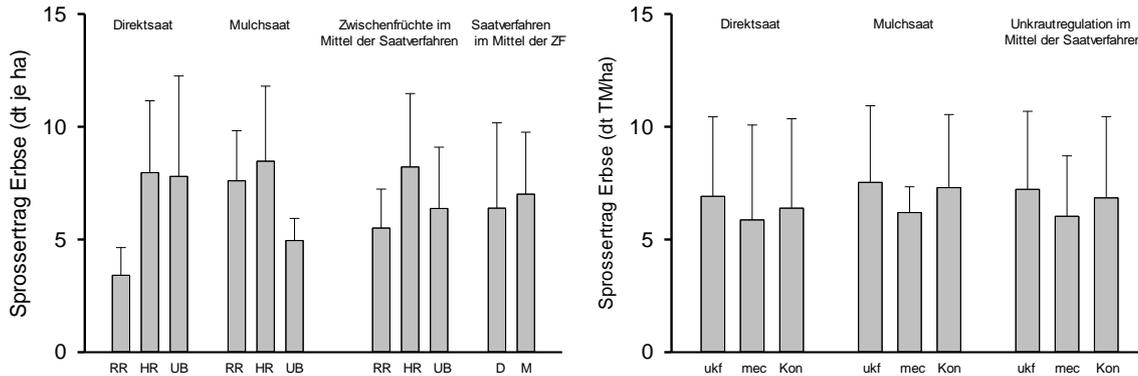


Abbildung 97: Einfluss der Zwischenfrucht, der Unkrautregulation und des Saatverfahrens auf den Sprossertrag der Erbse zum Zeitpunkt Ende Blüte am Standort Ogrosen am 13. Juni 2021 (RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, D = Direktsaat, M = Mulchsaat, ukf = unkrautfrei bis Bestandesschluss, mec = mechanische Unkrautregulation mit dem Rollstriegel, Kon = Kontrolle ohne Unkrautregulation), Mittel + Standardabweichung

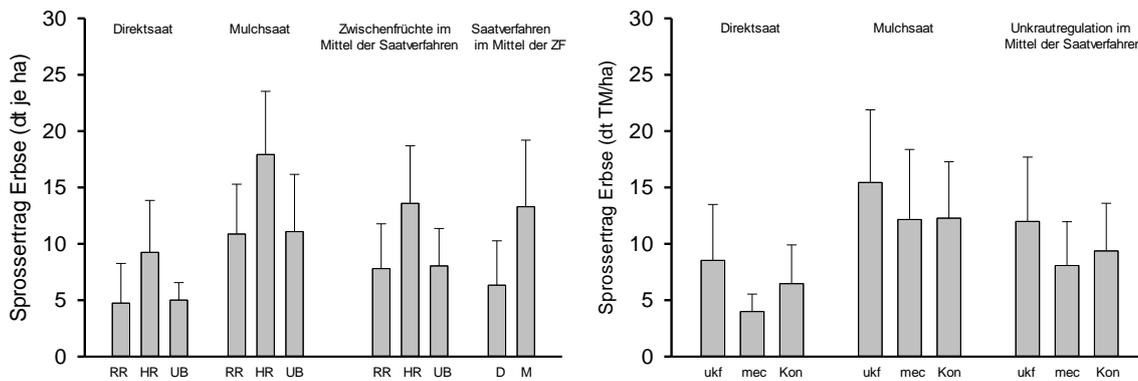


Abbildung 98: Einfluss der Zwischenfrucht, der Unkrautregulation und des Saatverfahrens auf den Sprossertrag der Erbse zum Zeitpunkt Ende Blüte am Standort Calau am 13. Juni 2021 (RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, D = Direktsaat, M = Mulchsaat, ukf = unkrautfrei bis Bestandesschluss, mec = mechanische Unkrautregulation mit dem Rollstriegel, Kon = Kontrolle ohne Unkrautregulation), Mittel + Standardabweichung

Die Direktsaat der Erbse führte in drei (Abb. 94, 95 und 98) von sechs Umwelten zu im Mittel der Prüffaktoren zu einem leicht geringeren Sprossertrag der Erbse als nach Mulchsaat; in allen anderen drei Fällen zu einer deutlichen Minderung. Gute Zwischenfruchtbestände, die in 2017 an beiden Standorten zu verzeichnen waren, und für 2020 für das Gemenge von Rauhafer/Sommerroggen am Standort Calau führten sowohl in Direkt- als auch in Mulchsaat zu einer Förderung der Jugendentwicklung der Erbse, wie die entsprechenden Ergebnisse der Sprossmasseerträge der Erbse zur Blüte in 2018 (Abb. 94 und Abb. 95) an beiden Standorten und in 2021 vor allem am Standort Calau mit Rauhafer/Sommerroggen als Vorfrucht zeigen (Abb. 99). Insgesamt fielen die Ertragsleistungen der Erbse aufgrund in vielen Fällen unzureichender Bestandesdichten von häufig nur 50 bis 70 Pflanzen je m² (Abb. 76 bis Abb. 81), Trockenheit in den Jahren 2018 und 2019 sowie späterer Saat und hoher Feuchtigkeit in 2021 (Tab. 21) mit Sprosserträgen zur Blüte zwischen 4 und 25 dt TM/ha vergleichsweise gering aus. In insgesamt vier von sechs Umwelten bestand zudem eine signifikant negative Korrelation zur Blüte der Erbse zwischen der Höhe des Sprossertrages der Erbse und dem Sprossertrag der Unkräuter in den Erbsen (Abb. 100 bis Abb. 102).

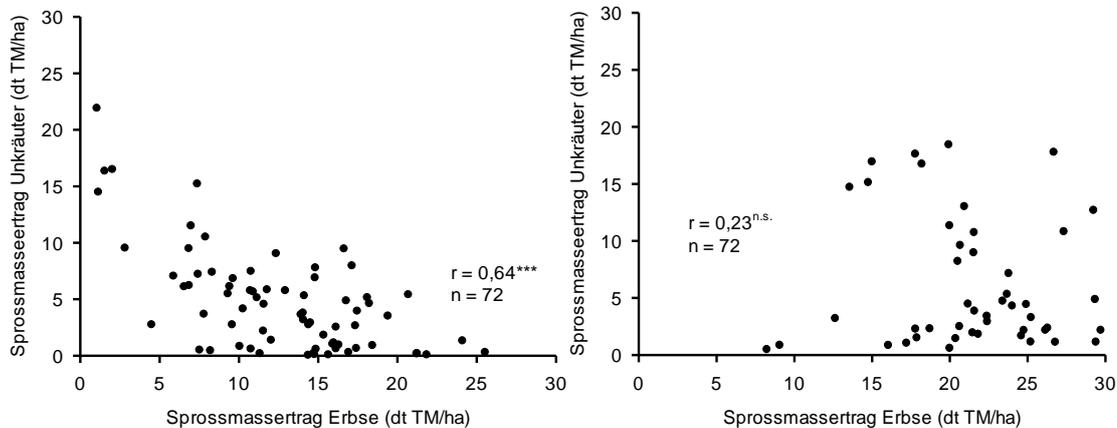


Abbildung 99: Korrelation zwischen Sprossertrag der Erbse zur Blüte und dem Sprossertrag der Unkräuter am Standort Ogrosen (links) und Calau (rechts) am 01. Juni 2018

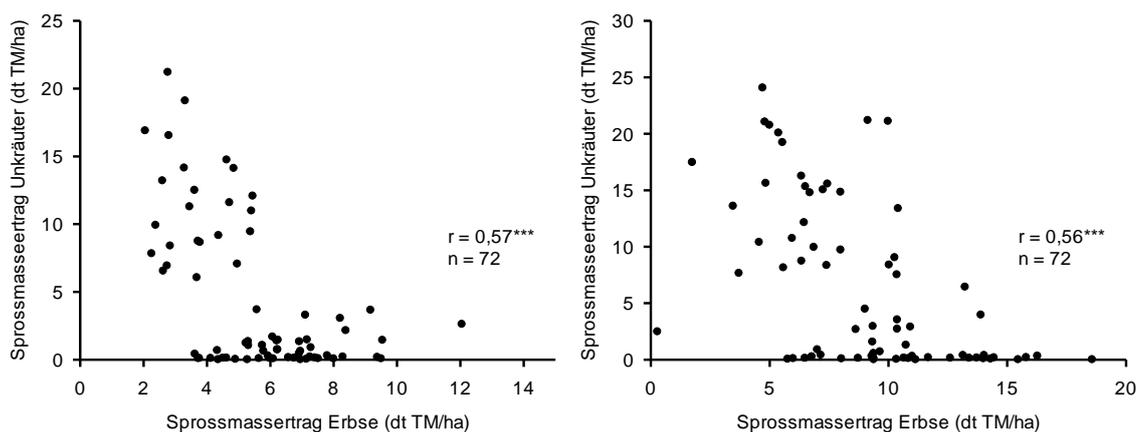


Abbildung 100: Korrelation zwischen Sprossertrag der Erbse zur Blüte und dem Sprossertrag der Unkräuter am Standort Ogrosen (links) und Calau (rechts) am 30. Mai 2019

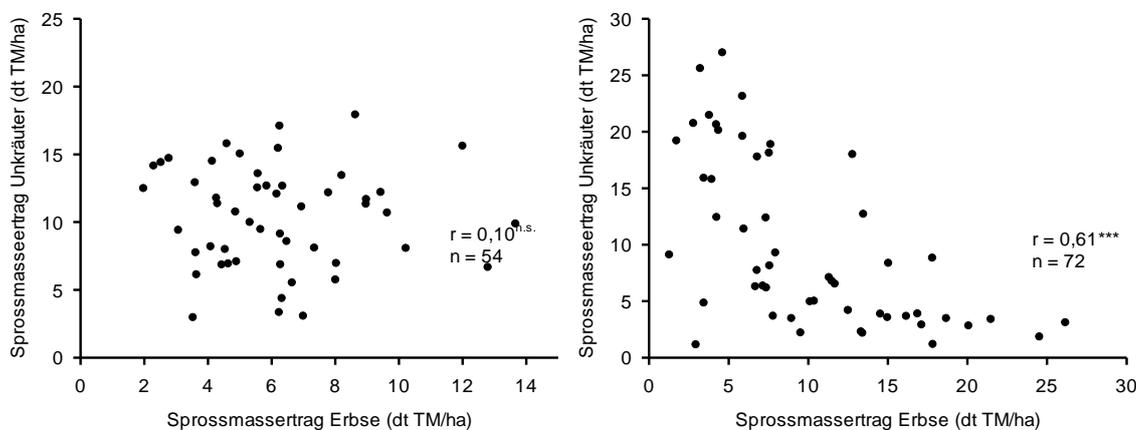


Abbildung 101: Korrelation zwischen Sprossertrag der Erbse zur Blüte und dem Sprossertrag der Unkräuter am Standort Ogrosen (links) und Calau (rechts) am 13. Juni 2021

Nährstoffgehalt der Erbse zur Blüte

Ziel der Untersuchungen zum Nährstoffgehalt der Erbsen war es zu prüfen, ob der Zwischenfruchtbau, die Intensität der Bodenbearbeitung bzw. die Art des Saatverfahrens und die Art der Unkrautregulation in den Erbsen Einfluss auf die Nährstoffversorgung der Erbsen nimmt. Hierzu wurde zum Zeitpunkt der Blüte der Erbsen die N-, P- und K-Gehalte in der Sprossmasse der Erbsen in zwei Jahren und an beiden Untersuchungsstandorten erfasst.

Die N-Gehalte im Spross der Erbse variierten vor allem zwischen den vier Umwelten erheblich. Sie lagen in 2018 an beiden Standorten deutlich niedriger als in 2019 und am konventionell bewirtschafteten Standort in Calau niedriger als am ökologisch bewirtschafteten Standort in Ogrosen (Abb. 103 bis 106). Innerhalb eines Standortes und Jahres ließ sich nur am Standort Ogrosen im Jahr 2019 ein signifikanter Zusammenhang zwischen Sprossertrag und N-Gehalt im Spross nachweisen: hier sank der N-Gehalt mit Zunahme des Sprossertrages der Erbse deutlich ($r = 0,56^{***}$). In allen vier Umwelten war zudem nach Mulchsaat der Erbse ein geringerer N-Gehalt im Spross als nach Direktsaat bestimmt worden. Hieraus lässt sich schlussfolgern, dass die Ertragsbildung der Erbse in Direktsaat offenbar nicht einer Limitierung durch Stickstoff unterlegen war. Die Art der Unkrautregulation in den Erbsen nahm nur wenig, hingegen die Vorbewirtschaftung in der Zwischenfruchtphase im Jahr 2018 an beiden Standorten in der Mulchsaat Einfluss auf den N-Gehalt im Spross der Erbse. Die Unkrautbrache führte hier zu einer geringeren N-Versorgung der Erbse (Abb. 103 und Abb. 104).

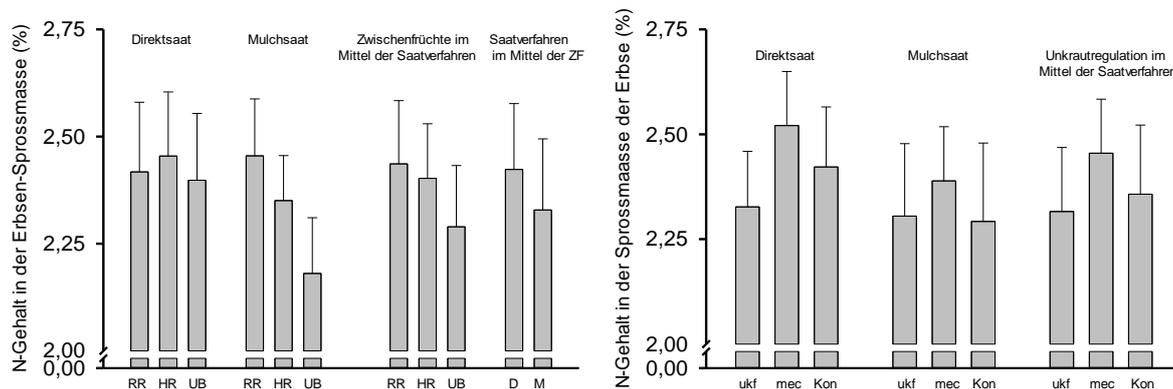


Abbildung 102: Einfluss von Zwischenfruchtbau, Art der Unkrautregulation und Saatverfahren auf N-Gehalt im Spross der Erbse am Standort Ogrosen zur Blüte am 01. Juni 2018 (RR = Zwischenfrucht Rmtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, D = Direktsaat, M = Mulchsaat, ukf = unkrautfrei bis Bestandesschluss, mec = mechanische Unkrautregulation mit dem Rollstriegel, Kon = Kontrolle ohne Unkrautregulation), Mittel + Standardabweichung

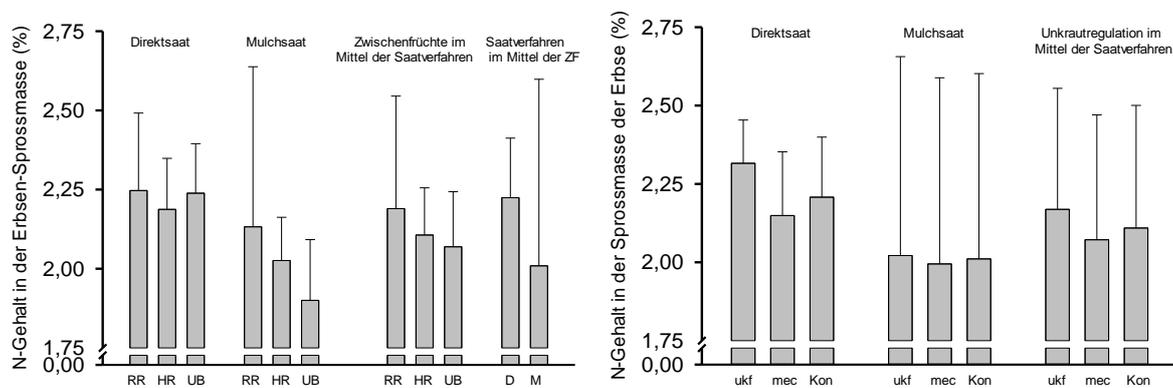


Abbildung 103: Einfluss der Art der Unkrautregulation und des Saatverfahrens auf N-Gehalt in der Sprosstrockenmasse der Erbse am Standort Calau zur Blüte am 01. Juni 2018 (RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, D = Direktsaat, M =

Mulchsaat, ukf = unkrautfrei bis Bestandesschluss, mec = mechanische Unkrautregulation mit dem Rollstriegel, Kon = Kontrolle ohne Unkrautregulation), Mittel + Standardabweichung

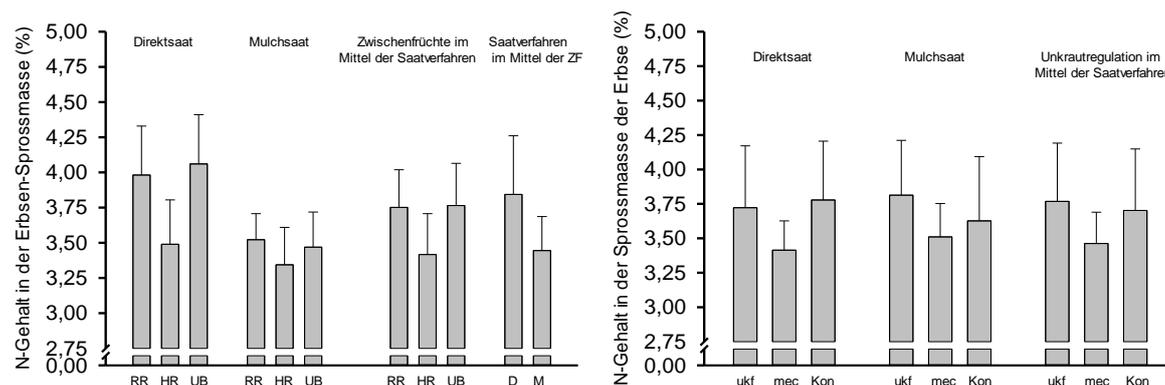


Abbildung 104: Einfluss von Zwischenfruchtbau, Art der Unkrautregulation und Saatverfahren auf N-Gehalt im Spross der Erbsen am Standort Ogrosen zur Blüte 30. Mai 2019 (RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, D = Direktsaat, M = Mulchsaat, ukf = unkrautfrei bis Bestandesschluss, mec = mechanische Unkrautregulation mit dem Rollstriegel, Kon = Kontrolle ohne Unkrautregulation), Mittel + Standardabweichung)

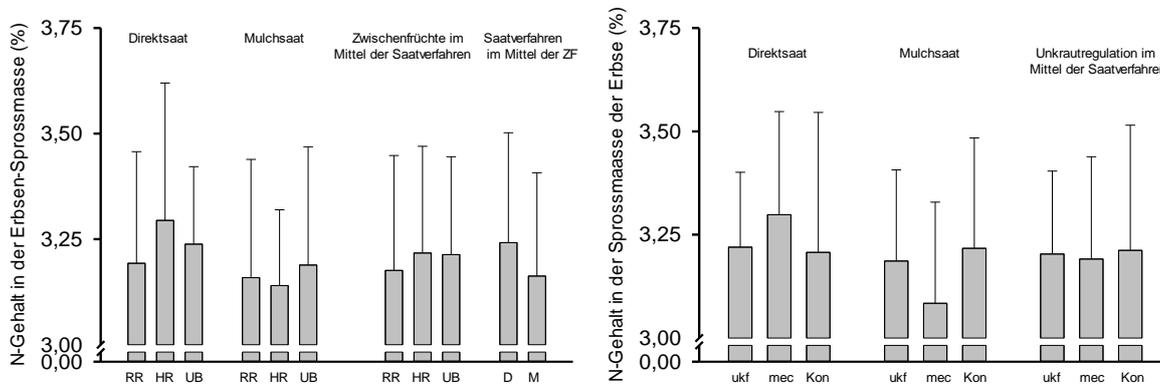


Abbildung 105: Einfluss der Art der Unkrautregulation und des Saatverfahrens auf N-Gehalt in der Sprossstrockenmasse der Erbse am Standort Calau zur Blüte am 30. Mai 2019 (RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, D = Direktsaat, M = Mulchsaat, ukf = unkrautfrei bis Bestandesschluss, mec = mechanische Unkrautregulation mit dem Rollstriegel, Kon = Kontrolle ohne Unkrautregulation), Mittel + Standardabweichung

Temporäre Direktsaat, ein Verfahren wie es in den hier vorgestellten Untersuchungen vorhaben praktiziert wurde, birgt die Gefahr, dass es zu einer unzureichenden Erschließung des Bodens durch die in Direktsaat gesäten Kulturpflanzen im Vergleich zu in Mulch- oder Pflugsaat etablierten Kulturpflanzenbeständen kommen kann (Schmidtke & Mick 2016). Dieses führt dann gegebenenfalls zu einer unzureichenden Aufnahme von vorrangig über Diffusion an die Wurzel angelieferten Nährstoffen wie Phosphor und Kalium. Um diese These zu prüfen, wurde in zwei Jahren – 2018 und 2019 – an beiden Standorten der Gehalt an P und K zur Blüte der Erbse ermittelt (Abb. 107 bis Abb. 114). Im Mittel der Prüffaktoren lagen in den Erbsen der Direktsaat in drei von vier Umwelten höhere P-Gehalte im Spross der Erbse vor (Abb. 107, Abb. 109 und Abb. 110). Die Art der Zwischenfruchtbewirtschaftung spiegelte sich in zwei Fällen in geringeren P-Gehalten wider: in Direktsaat durch das Zwischenfruchtgemenge Rauhafer/Sommerroggen am Standort Ogrosen in 2018 (Abb. 107) und durch die Unkrautbrache in Direkt- und Mulchsaat am Standort Calau in 2018 (Abb. 108). Wurden die Erbsen in der Jugendentwicklung weitgehend unkrautfrei gehalten, so führte das zu einer höheren Ertragsleistung und damit verbundenen leichten Senkung des P-Gehaltes im Spross der Erbsen. Allerdings waren hier auch Wechselwirkungen zwischen der Bodenbearbeitung und der Art der Unkrautregulation zu verzeichnen: So wurden in der Direktsaat am Standort Ogrosen in 2019 der höchste Gehalt in der Kontrolle (ohne Unkrautregulation) ermittelt, während dieses in der Mulchsaat in der Variante mechanische Unkrautregulation der Fall war (Abb. 109).

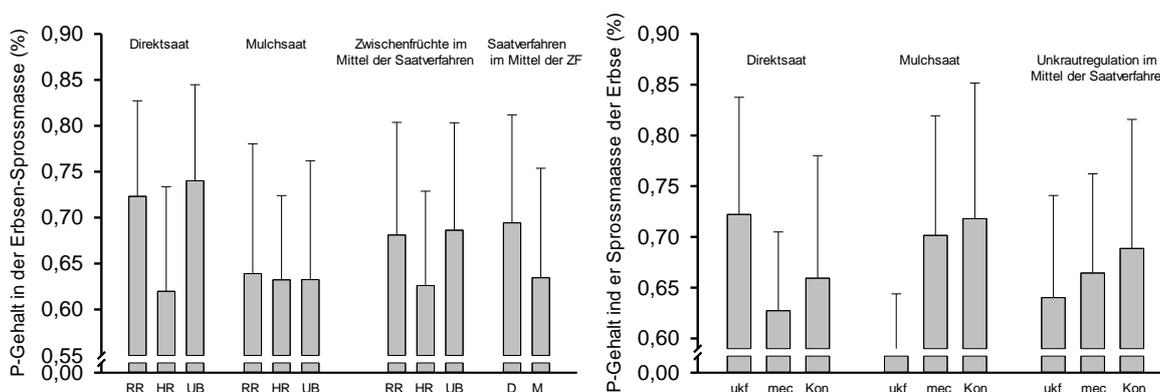


Abbildung 106: Einfluss der Art der Unkrautregulation und des Saatverfahrens auf P-Gehalt in der Sprossstrockenmasse der Erbse am Standort Ogrosen zur Blüte am 01. Juni 2018 (RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, D = Direktsaat, M = Mulchsaat, ukf = unkrautfrei bis Bestandesschluss, mec = mechanische Unkrautregulation mit dem Rollstriegel, Kon = Kontrolle ohne Unkrautregulation), Mittel + Standardabweichung

Mulchsaat, ukf = unkrautfrei bis Bestandesschluss, mec = mechanische Unkrautregulation mit dem Rollstriegel, Kon = Kontrolle ohne Unkrautregulation), Mittel + Standardabweichung

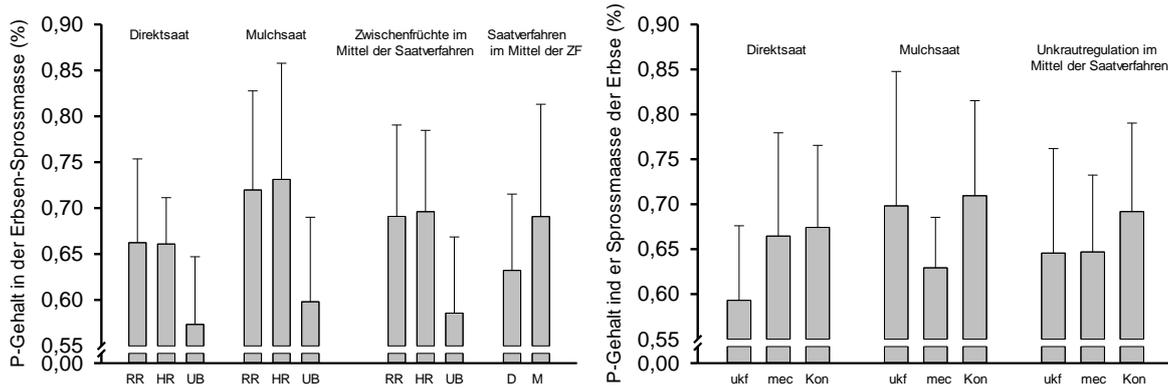


Abbildung 107: Einfluss der Art der Unkrautregulation und des Saatverfahrens auf P-Gehalt in der Sprosstrockenmasse der Erbse am Standort Calau zur Blüte am 01. Juni 2018 (RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, D = Direktsaat, M = Mulchsaat, ukf = unkrautfrei bis Bestandesschluss, mec = mechanische Unkrautregulation mit dem Rollstriegel, Kon = Kontrolle ohne Unkrautregulation), Mittel + Standardabweichung

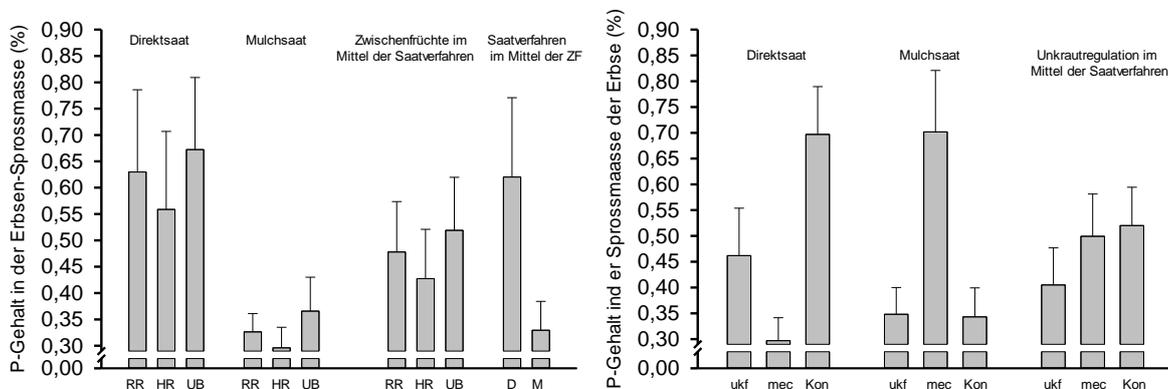


Abbildung 108: Einfluss der Art der Unkrautregulation und des Saatverfahrens auf P-Gehalt in der Sprosstrockenmasse der Erbse am Standort Ogrosen zur Blüte am 30. Mai 2019 (RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, D = Direktsaat, M = Mulchsaat, ukf = unkrautfrei bis Bestandesschluss, mec = mechanische Unkrautregulation mit dem Rollstriegel, Kon = Kontrolle ohne Unkrautregulation), Mittel + Standardabweichung

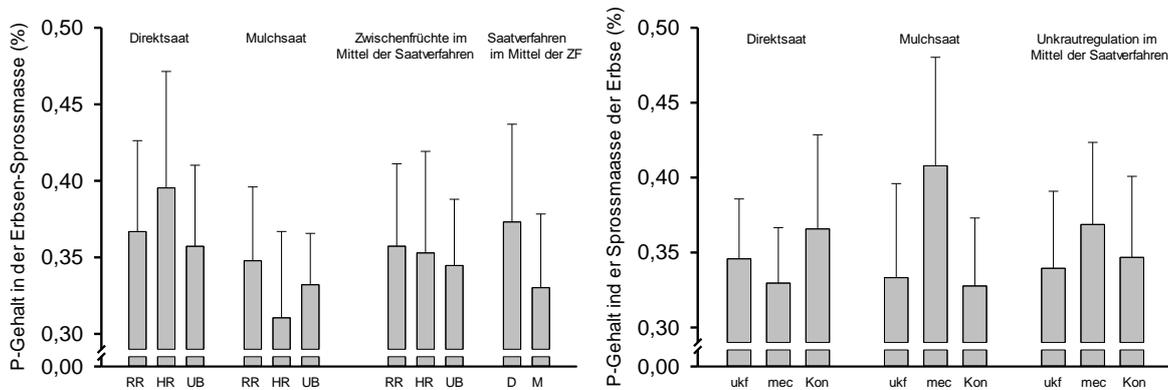


Abbildung 109: Einfluss der Art der Unkrautregulation und des Saatverfahrens auf P-Gehalt in der Sprosstrockenmasse der Erbse am Standort Calau zur Blüte am 30. Mai 2019 (RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, D = Direktsaat, M = Mulchsaat, ukf = unkrautfrei bis Bestandesschluss, mec = mechanische Unkrautregulation mit dem Rollstriegel, Kon = Kontrolle ohne Unkrautregulation), Mittel + Standardabweichung

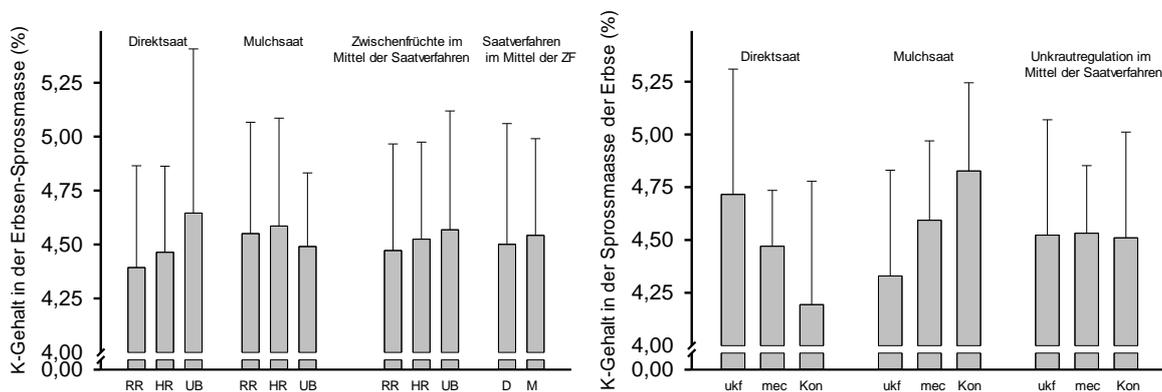


Abbildung 110: Einfluss der Art der Unkrautregulation und des Saatverfahrens auf K-Gehalt in der Sprosstrockenmasse der Erbse am Standort Ogrosen zur Blüte am 01. Juni 2018 (RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, D = Direktsaat, M = Mulchsaat, ukf = unkrautfrei bis Bestandesschluss, mec = mechanische Unkrautregulation mit dem Rollstriegel, Kon = Kontrolle ohne Unkrautregulation), Mittel + Standardabweichung

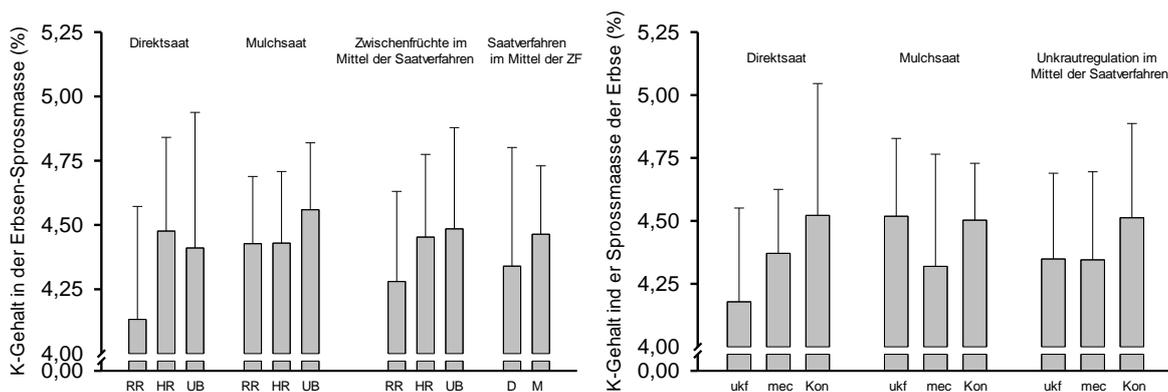


Abbildung 111: Einfluss der Art der Unkrautregulation und des Saatverfahrens auf K-Gehalt in der Sprosstrockenmasse der Erbse am Standort Calau zur Blüte am 01. Juni 2018 (RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, D = Direktsaat, M = Mulchsaat, ukf = unkrautfrei bis Bestandesschluss, mec = mechanische Unkrautregulation mit dem Rollstriegel, Kon = Kontrolle ohne Unkrautregulation), Mittel + Standardabweichung

Der K-Gehalt im Spross der Erbsen war durch markante Unterschiede zwischen den Jahren an beiden Standorten geprägt: Während an beiden Standorten im Jahr 2018 (Abb. 111 und Abb. 112) K-Gehalte in der Sprosstrockenmasse der Erbse jeweils über 4 % zu verzeichnen waren, lagen diese im Jahr 2019 nur zwischen 2,5 % und 3,5 % (Abb. 113 und Abb. 114). Bodenbearbeitung, Zwischenfruchtbewirtschaftung und auch die Art der Unkrautregulation nahmen nur in geringem Umfang und nicht systematisch Einfluss auf den K-Gehalt im Spross der Erbse.

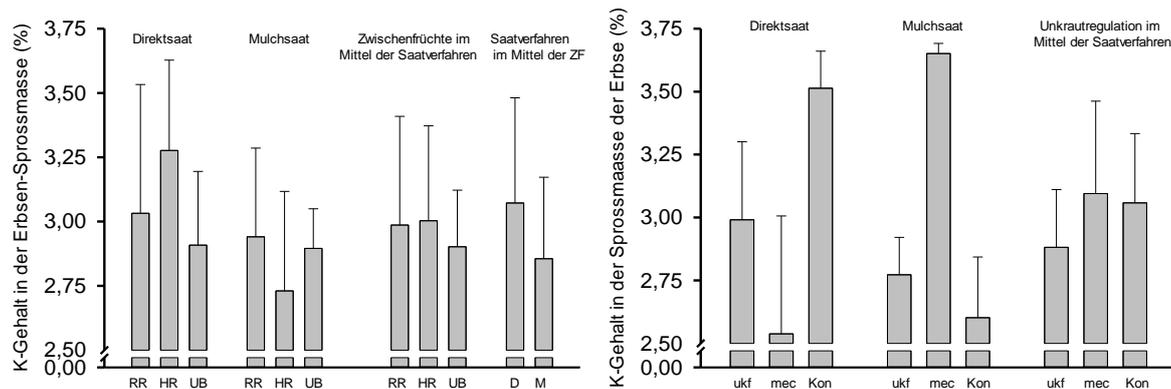


Abbildung 112: Einfluss der Art der Unkrautregulation und des Saatverfahrens auf K-Gehalt in der Sprosstrockenmasse der Erbse am Standort Ogrosen zur Blüte am 30. Mai 2019 (RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, D = Direktsaat, M = Mulchsaat, ukf = unkrautfrei bis Bestandesschluss, mec = mechanische Unkrautregulation mit dem Rollstriegel, Kon = Kontrolle ohne Unkrautregulation), Mittel + Standardabweichung

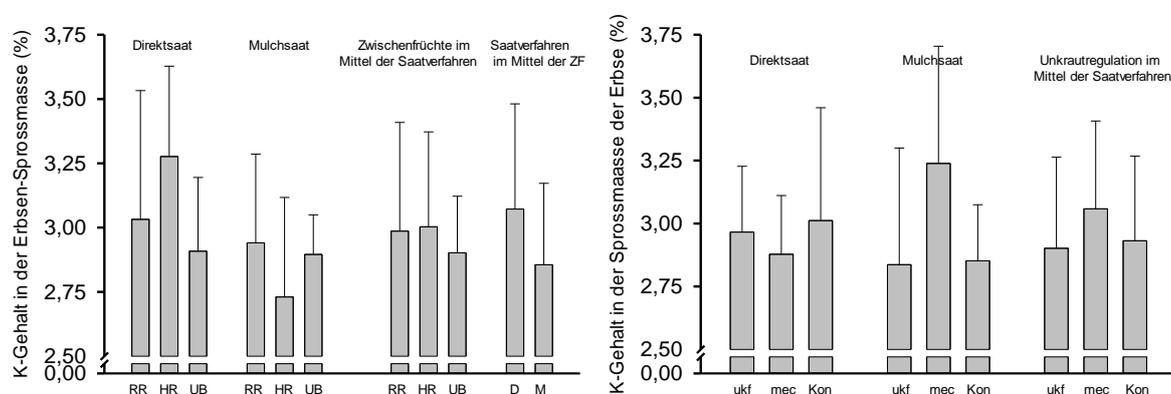


Abbildung 113: Einfluss der Art der Unkrautregulation und des Saatverfahrens auf K-Gehalt in der Sprosstrockenmasse der Erbse am Standort Calau zur Blüte am 30. Mai 2019 (RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, D = Direktsaat, M = Mulchsaat, ukf = unkrautfrei bis Bestandesschluss, mec = mechanische Unkrautregulation mit dem Rollstriegel, Kon = Kontrolle ohne Unkrautregulation), Mittel + Standardabweichung

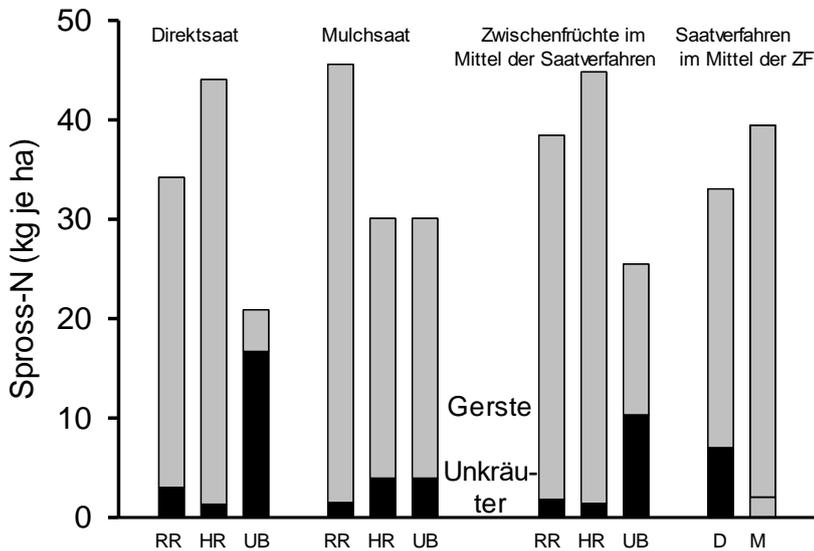


Abbildung 114: Einfluss von Zwischenfruchtbau und Saatverfahren auf die N-Menge im Spross von Unkräutern und Gerste am Standort Ogrosen zur Blüte der Erbse am 01. Juni 2018 (RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, D = Direktsaat, M = Mulchsaat)

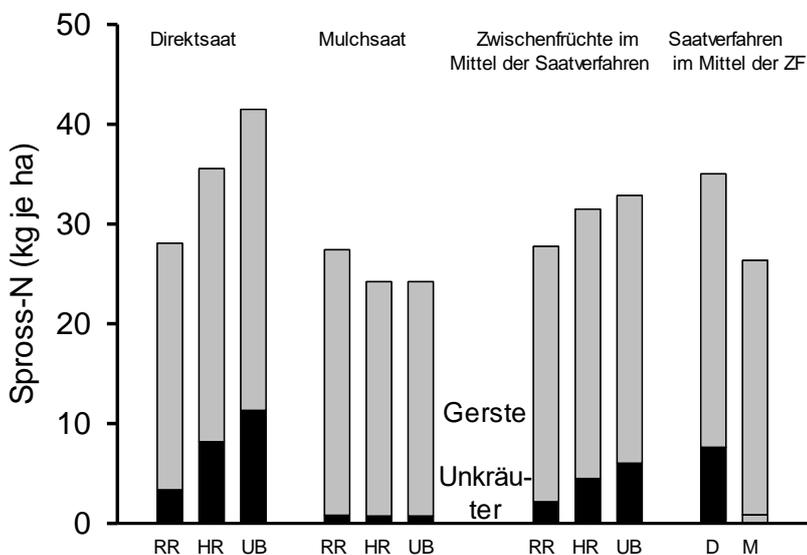


Abbildung 115: Einfluss von Zwischenfruchtbau und Saatverfahren auf die N-Menge im Spross von Unkräutern und Gerste am Standort Calau zur Blüte am 01. Juni 2018 (RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, D = Direktsaat, M = Mulchsaat)

Ziel des nichtlegumigen Zwischenfruchtbaus war es, das Angebot an pflanzenverfügbarem Stickstoff zur Saat und im Verlauf der Vegetationszeit der Erbse zu verringern, um die Keimung und das Wachstum von Samenunkräutern zu reduzieren und zugleich die symbiotische N₂-Fixierleistung der Erbse zu steigern. Um ein über die Zeit und die Bodentiefe repräsentatives Bild zum Angebot an pflanzenverfügbarem Stickstoff im Boden zu gewinnen, wurde zusätzlich Gerste in Reinsaat in Direkt- und Mulchsaat sowie nach verschiedenen Arten der Zwischenfruchtbewirtschaftung etabliert und deren N-Aufnahme bis zur Blüte der Erbse sowie der in der Gerste enthaltenen Unkräutern im ersten und zweiten Untersuchungsjahr (2018 und 2019) erfasst (Abb. 115 und Abb. 118).

Im Jahr 2018 waren in Direkt- und Mulchsaat von der Gerste und den Unkräutern bis zur Blüte der Erbse zwischen 30 und 40 kg N/ha im Spross akkumuliert worden (Abb. 115 und Abb. 116), im Jahr 2019 zwischen 17 und 25 kg N/ha am Standort Ogrosen (Abb. 117) und zwischen 25 und 31 kg N/ha am Standort Calau (Abb. 118). Nur in einem Fall (Calau 2018) war dabei im Mittel der Zwischenfruchtbewirtschaftung in der Mulchsaat eine höhere N-Akkumulation zu verzeichnen als nach Direktsaat, allerdings war die N-Aufnahme in der Direktsaat, insbesondere in 2019, stärker als in der Mulchsaat durch die Unkräuter geprägt. Durch die Direktsaat konnte somit im Vergleich zur Mulchsaat das Angebot an pflanzenverfügbarem Stickstoff im Boden nicht reduziert werden. In gleicher Weise wirkte auch die Zwischenfruchtbewirtschaftung durch gezielte Einsaat nichtlegumer Zwischenfrüchte unterschiedlich auf die Menge an pflanzenverfügbarem Stickstoff im Boden. So wurde durch die gut entwickelten Zwischenfrüchte im Jahr 2017 am Standort Ogrosen in 2018 die verfügbare N-Menge im Boden nach Direktsaat im Vergleich zur Unkrautbrache tendenziell sogar erhöht (Abb. 115), während die Zwischenfrüchte in der Direktsaat im Jahr 2018 am Standort Calau im Vergleich zur Unkrautbrache zu einer tendenziellen Minderung des N-Angebotes führte (Abb. 116).

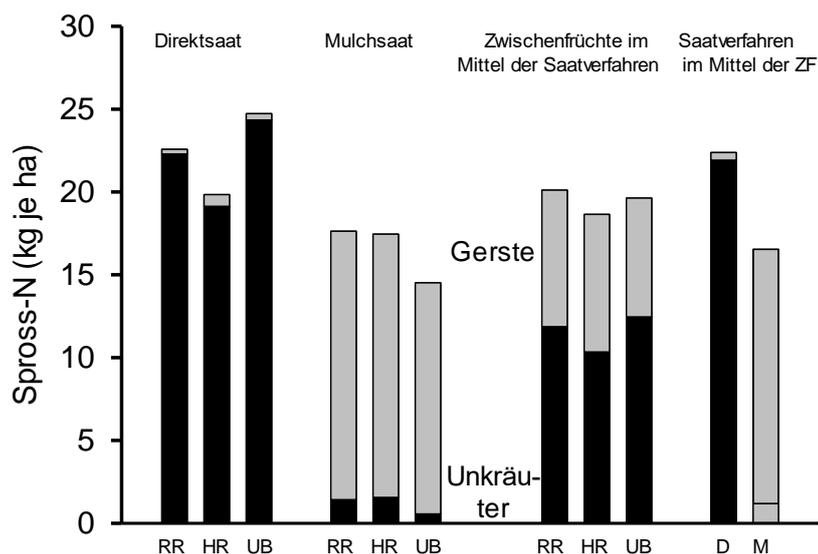


Abbildung 116: Einfluss von Zwischenfruchtbau und Saatverfahren auf die N-Menge im Spross von Unkräutern und Gerste am Standort Ogrosen zur Blüte 30. Mai 2019 (RR = Zwischenfrucht Ramtilkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, D = Direktsaat, M = Mulchsaat)

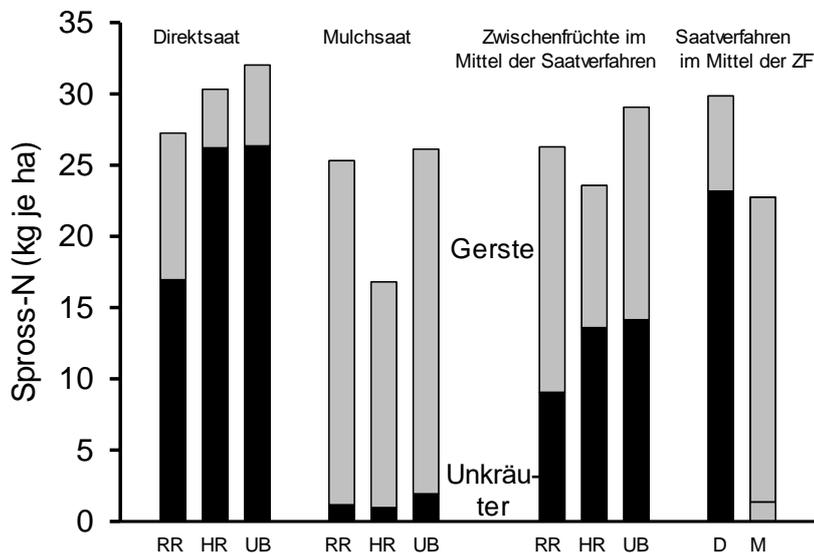


Abbildung 117: Einfluss von Zwischenfruchtbau und Saatverfahren auf die N-Menge im Spross von Unkräutern und Gerste am Standort Calau zur Blüte 30. Mai 2019 (RR = Zwischenfrucht Ramtilkkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, D = Direktsaat, M = Mulchsaat)

Die N-Akkumulation der Erbse und der in den Erbsen gewachsenen Unkräuter der Versuchsjahre 2018 und 2019 sind für beide Standorte in Abb. 119 bis Abb. 122 abgetragen. Aufgrund des trockenheitsbedingt geringen Wachstums der Erbsen in beiden Versuchsjahren lag die Summe der N-Menge im Spross der Erbse und Unkräuter mit Werten zwischen ca. 35 und 50 kg/ha (Ogrosen) bzw. 55 und 75 kg/ha (Calau, Abb. 121) in 2018 und 20 bis 40 kg/ha (Ogrosen, Abb. 120) bzw. 30 bis 58 kg/ha (Calau, Abb. 121) vergleichsweise auf einem geringen Niveau für Erbsenbestände. Die Bestände der Direkt- und Mulchsaat unterschieden sich im Mittel der Varianten in der Höhe der N-Akkumulation nicht wesentlich, allerdings war die N-Akkumulation in der Direktsaat zulasten der Erbse bzw. zugunsten der Unkräuter verschoben, insbesondere im Jahr 2019. Die Unkrautbrache führte in drei von vier Umwelten zu einer geringeren N-Akkumulation von Erbse und Unkräutern allerdings in der Regel immer zu einer Verschiebung zuungunsten der Erbse. Die Regulation der Unkräuter durch Herbizideinsatz (Standort Calau) oder von Hand (Standort Ogrosen) senkte das Unkrautwachstum und führte zu einer Verschiebung der N-Akkumulation in den Beständen durch die Erbse. Die mechanische Unkrautregulation mit dem Rollstriegel wirkte allenfalls tendenziell in die gleiche Weise, allerdings nur in einem sehr geringen Umfang.

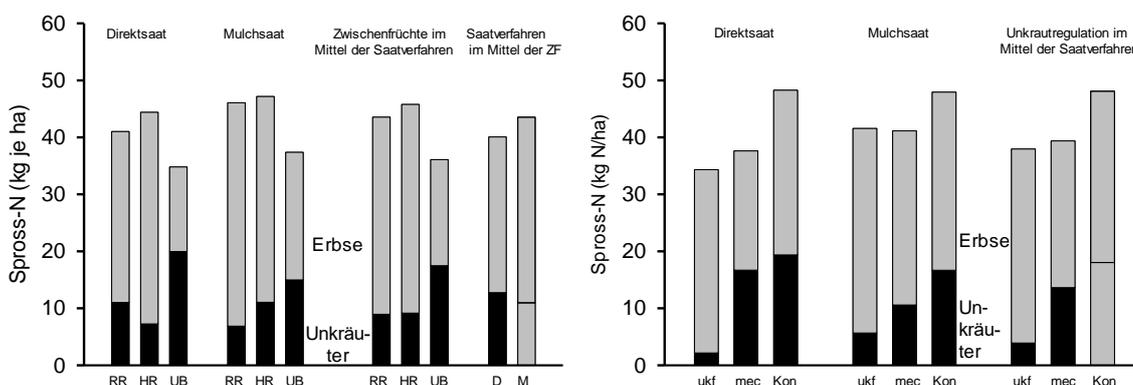


Abbildung 118: Einfluss von Zwischenfruchtbau, Art der Unkrautregulation und Saatverfahren auf die N-Menge im Spross von Unkräutern und Erbse am Standort Ogrosen zur Blüte am 01. Juni 2018 (RR =

Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, D = Direktsaat, M = Mulchsaat, ukf = unkrautfrei bis Bestandesschluss, mec = mechanische Unkrautregulation mit dem Rollstriegel, Kon = Kontrolle ohne Unkrautregulation)

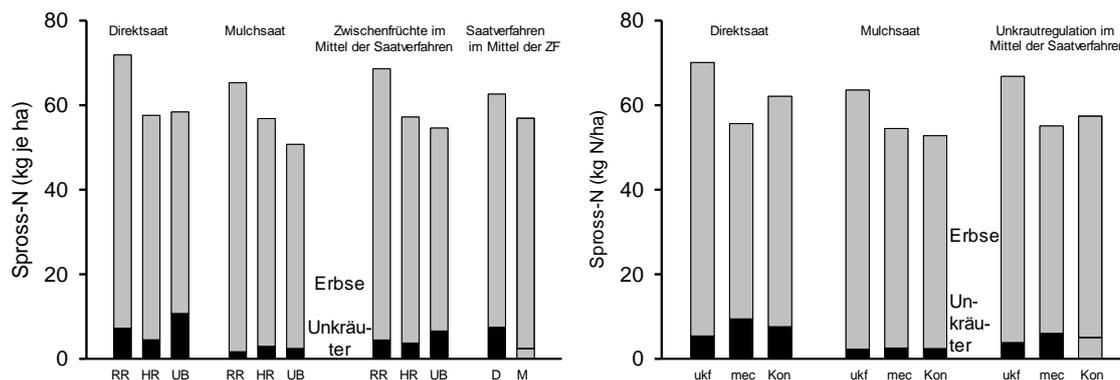


Abbildung 119: Einfluss der Art der Unkrautregulation, Art der Unkrautregulation und des Saatverfahrens auf die N-Menge im Spross von Unkräutern und der Erbse am 01. Juni 2018 am Standort Calau (RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, D = Direktsaat, M = Mulchsaat, ukf = unkrautfrei bis Bestandesschluss, mec = mechanische Unkrautregulation mit dem Rollstriegel, Kon = Kontrolle ohne Unkrautregulation)

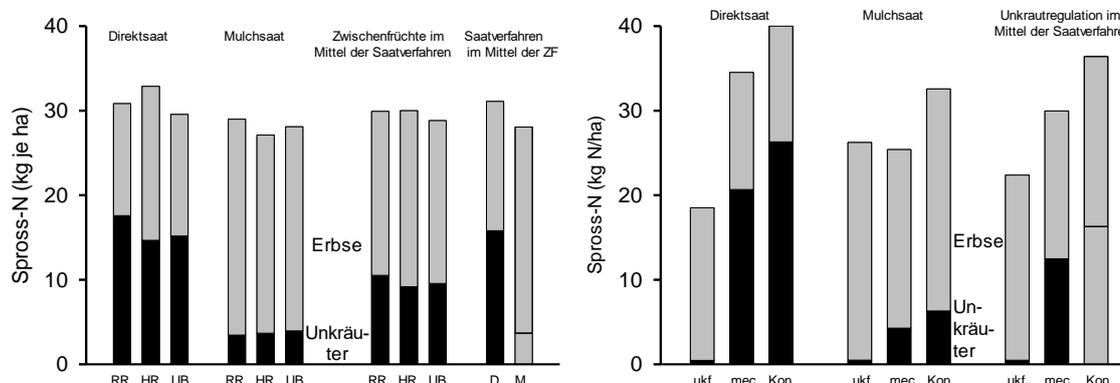


Abbildung 120: Einfluss von Zwischenfruchtbau, Art der Unkrautregulation und Saatverfahren auf die N-Menge im Spross von Unkräutern und Erbse am Standort Ogrosen zur Blüte 30. Mai 2019 (RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, D = Direktsaat, M = Mulchsaat, ukf = unkrautfrei bis Bestandesschluss, mec = mechanische Unkrautregulation mit dem Rollstriegel, Kon = Kontrolle ohne Unkrautregulation)

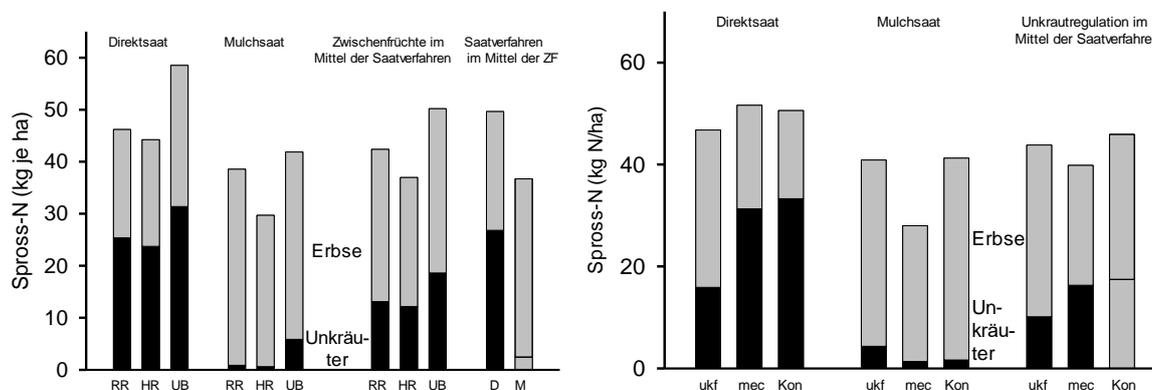


Abbildung 121: Einfluss von Zwischenfruchtbau, Art der Unkrautregulation und Saatverfahren auf die N-Menge im Spross von Unkräuter und Erbse am Standort Calau zur Blüte am 30. Mai 2019 (RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, D = Direktsaat, M = Mulchsaat, ukf = unkrautfrei bis Bestandesschluss, mec = mechanische Unkrautregulation mit dem Rollstriegel, Kon = Kontrolle ohne Unkrautregulation)

Erbse zur Druschreife

Die erzielten Kornertragsleistungen der Erbse lagen im Versuchsmittel am Standort Ogrosen nur bei 4,5, 3,8 und 2,0 dt TM/ha (Jahr 2018, 2019, 2021), am Standort Calau mit entsprechend 14,9, 20,3 und 5,3 dt TM/ha jeweils deutlich darüber. Für die geringen Kornertragsleistungen der Erbsenbestände dürften insbesondere die trocken-heißen Bedingungen in den Vegetationszeiträumen 2018 und 2019 sowie die späte Saat der Erbsen im Jahr 2021 nach anhaltend feuchten Bedingungen im Frühjahr 2021 verantwortlich zeichnen. Die geringen Ertragsleistungen der Erbse spiegeln sich auch in vergleichsweise niedrigen Ernteindizes wieder, die insbesondere am Standort Ogrosen im Mittel der Prüfglieder nur bei 33, 23 und 41 % (Jahre 2018, 2019, 2021) lagen, währenddessen diese Kennwerte auf dem bodenbedingt besseren Standort Calau bei entsprechend 48, 51 und 41 % lagen. Im Mittel der Prüfglieder wurden in vier von sechs geprüften Umwelten nach Mulchsaat deutlich höhere Kornerträge der Erbse erreicht (Ogrosen 2018, beide Standorte in 2019 sowie Ogrosen in 2021). Allerdings waren auch in zwei Fällen leicht höhere Kornerträge nach Direktsaat im Vergleich zur Mulchsaat erzielt worden: Calau 2018 mit 16,7 dt TM/ha versus 13,2 dt TM/ha und Ogrosen 2021 mit 2,2 dt TM/ha versus 1,8 dt TM/ha (Abb. 126-127). Höhere Kornerträge traten hier allerdings nur nach gelungenem Zwischenfruchtbau mit Ramtillkraut/Rispenhirse (Abb. 70) bzw. Rauhafer/Sommerroggen auf. Sofern die Zwischenfruchtgemenge gelungen waren (2017 und 2020), führten sie im Vergleich zur Unkrautbrache im darauffolgendem Jahr zu höheren Erbsenerträgen in den Jahren 2018 an beiden Standorten und in beiden Systemen der Bodenbearbeitung. Im Jahr 2021 war das in analoger Weise auch am Standort Calau gegeben, während dieses am Standort Ogrosen nur in der Mulchsaat und im Falle des Zwischenfruchtgemenges mit Rauhafer in der Direktsaat gegeben war. In einigen Fällen zeichnete sich der Rauhafer, der das entsprechende Zwischenfruchtgemenge in der Regel dominierte als am besten geeignete Zwischenfrucht im Hinblick auf die Ertragsleistung der folgenden Erbse aus. In allen Umwelten führte die von Hand (Standort Ogrosen) bzw. durch den Einsatz eines Voraufauferbizides (Standort Calau) Regulation von Unkräutern (Variante ukf) zu den höchsten Kornerträgen, währenddessen die mechanische Unkrautregulation mit dem Rollstriegel in vielen Fällen mit einem leicht geringeren Kornertrag der Erbse im Vergleich zur Variante „unkrautfrei“ führte. Vermutlich wurden die Erbsen durch den zwei- bis dreimaligen Einsatz des Rollstriegels leicht beschädigt, so dass eine Minderung der Ertragsleistungen die Folge war.

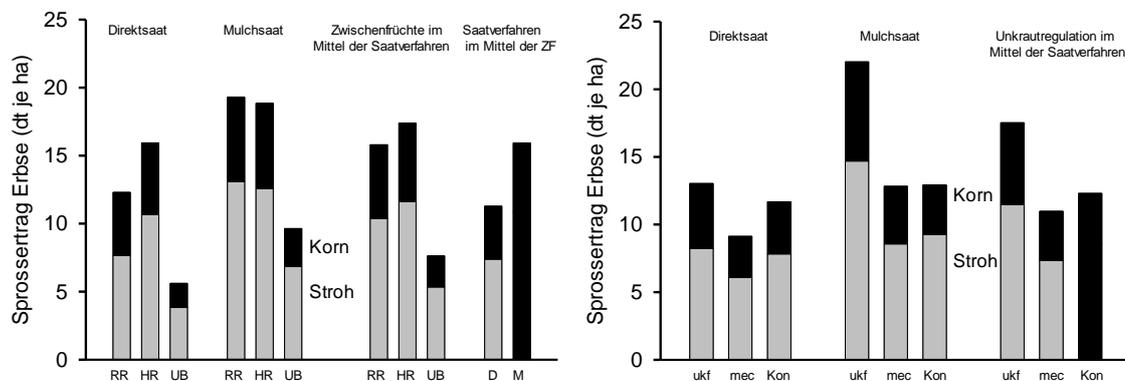


Abbildung 122: Einfluss von Zwischenfruchtbau, der Art der Unkrautregulation und Saatverfahren auf Stroh- und Kornertrag der Erbse am Standort Ogrosen am 01. Juli 2018 (RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, D = Direktsaat, M = Mulchsaat, ukf = unkrautfrei bis Bestandesschluss, mec = mechanische Unkrautregulation mit dem Rollstriegel, Kon = Kontrolle ohne Unkrautregulation)

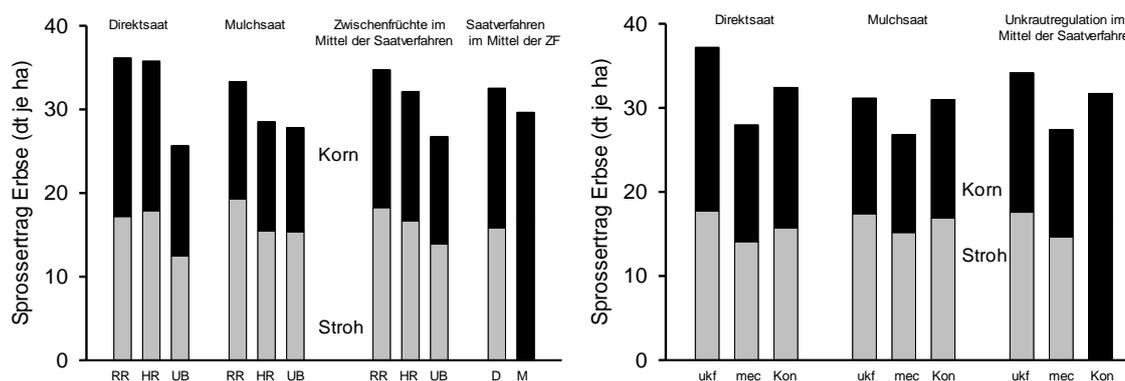


Abbildung 123: Einfluss von Zwischenfruchtbau, der Art der Unkrautregulation und Saatverfahren auf Stroh- und Kornertrag der Erbse am Standort Calau am 01. Juli 2018 (RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, D = Direktsaat, M = Mulchsaat, ukf = unkrautfrei bis Bestandesschluss, mec = mechanische Unkrautregulation mit dem Rollstriegel, Kon = Kontrolle ohne Unkrautregulation)

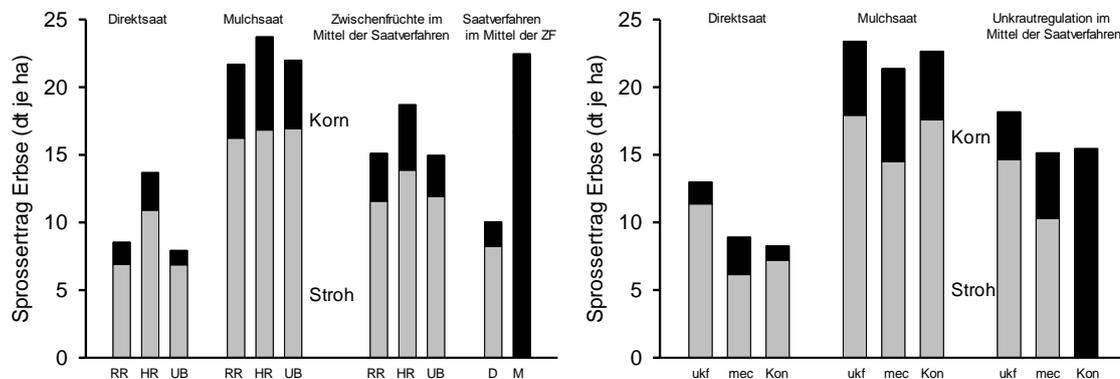


Abbildung 124: Einfluss von Zwischenfruchtbau, der Art der Unkrautregulation und Saatverfahren auf Stroh- und Kornertrag der Erbse am Standort Ogrosen am 04. Juli 2019 (RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, D = Direktsaat, M = Mulchsaat, ukf = unkrautfrei bis Bestandesschluss, mec = mechanische Unkrautregulation mit dem Rollstriegele, Kon = Kontrolle ohne Unkrautregulation)

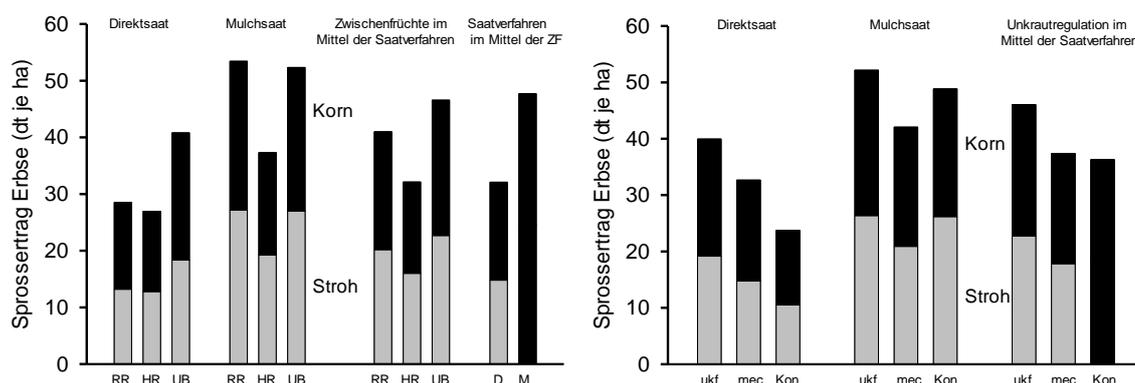


Abbildung 125: Einfluss von Zwischenfruchtbau, der Art der Unkrautregulation und Saatverfahren auf Stroh- und Kornertrag der Erbse am Standort Calau am 04. Juli 2019 (RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, D = Direktsaat, M = Mulchsaat, ukf = unkrautfrei bis Bestandesschluss, mec = mechanische Unkrautregulation mit dem Rollstriegele, Kon = Kontrolle ohne Unkrautregulation)

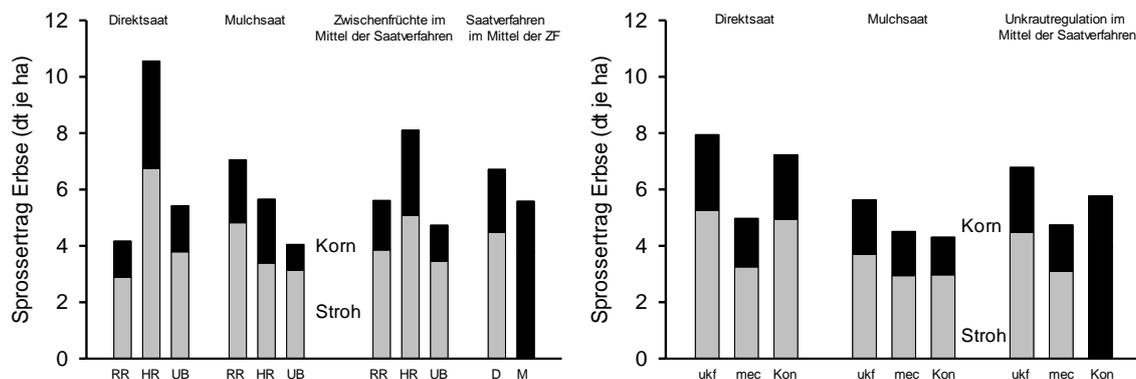


Abbildung 126: Einfluss von Zwischenfruchtbau, der Art der Unkrautregulation und Saatverfahren auf Stroh- und Kornertrag der Erbse am Standort Ogrosen am 19. Juli 2021 (RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, D = Direktsaat, M = Mulchsaat, ukf = unkrautfrei bis Bestandesschluss, mec = mechanische Unkrautregulation mit dem Rollstriegel, Kon = Kontrolle ohne Unkrautregulation)

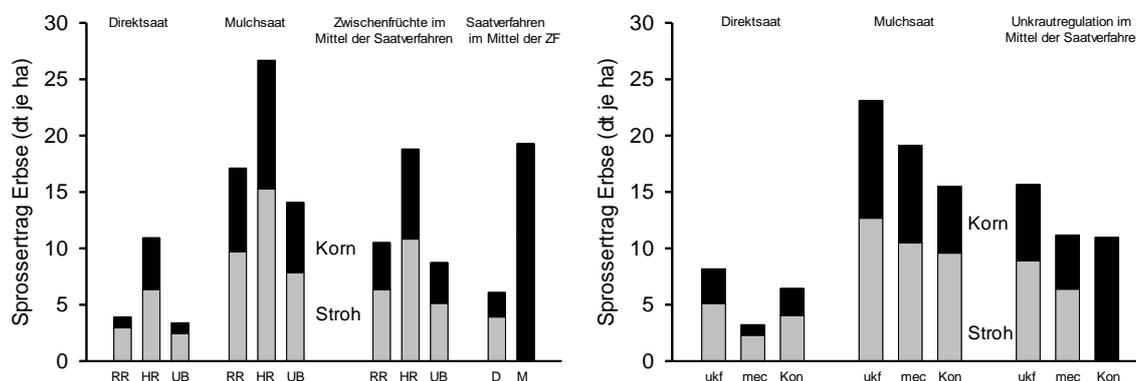


Abbildung 127: Einfluss von Zwischenfruchtbau, der Art der Unkrautregulation und Saatverfahren auf Stroh- und Kornertrag der Erbse am Standort Calau am 19. Juli 2021 (RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, D = Direktsaat, M = Mulchsaat, ukf = unkrautfrei bis Bestandesschluss, mec = mechanische Unkrautregulation mit dem Rollstriegel, Kon = Kontrolle ohne Unkrautregulation)

Zur Druschreife der Erbsen wurde in allen sechs Umwelten die N-Akkumulation im Spross der Unkräuter sowie in Stroh und Korn der Erbse erfasst. Die Summe der N-Akkumulation lag bedingt durch die unzureichende Bestandesentwicklung der Erbsen nur zwischen 34 kg N/ha (Mittel Prüfglieder der Direktsaat in Ogrosen 2019 und 113 kg N/ha (Mittel Prüfglieder der Direktsaat in Calau 2019, wobei in einzelnen Prüfgliedern auch bis zu 152 kg N/ha (Abb. 132 nach Mulchsaat) akkumuliert wurden. Der Anteil Stickstoff der Erbse an der gesamten N-Akkumulation in der Sprossmasse der Unkräuter und Erbse lag am Standort Ogrosen in nahezu allen Fällen deutlich unter den Werten, die am Standort Calau realisiert wurden: Ogrosen 2018: 31%/32%, 2019: 19%/36% und 2021: 18%/17%; Calau 2018: 64%/64%, 2019: 72%/63% und 2021: 16%/36%. Mit Ausnahme des Standortes Calau in 2019 konnte der Anteil im Korn der Erbse akkumulierten N-Menge am der gesamten Spross-N-Menge durch die mechanische Unkrautregulierung um 3 (Calau 2021) bis 18 %-Punkte (Ogrosen 2018), durch den Einsatz eines Herbizides bzw. eine Unkrautkontrolle von Hand um 7 (Calau 2018) bis 16 %-Punkte (Ogrosen 2018)

erhöht werden. Unkrautregulierung bewirkt deshalb in der Regel eine Verschiebung der N-Akkumulation zugunsten des Korns der Erbse.

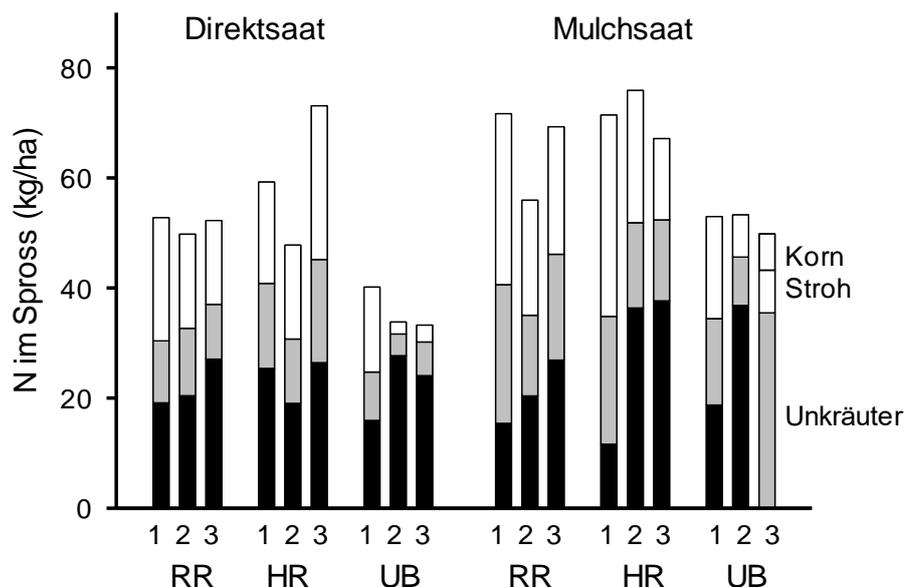


Abbildung 128: Einfluss des Saatverfahrens, des Zwischenfruchtbaus und der Intensität der Unkrautregulation auf die N-Mengen im Spross am Standort Ogrosen am 01. Juli 2018 (RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, 1 = unkrautfrei bis Bestandesschluss, 2 = mechanische Unkrautregulation mit dem Rollstriegel, 3 = Kontrolle ohne Unkrautregulation)

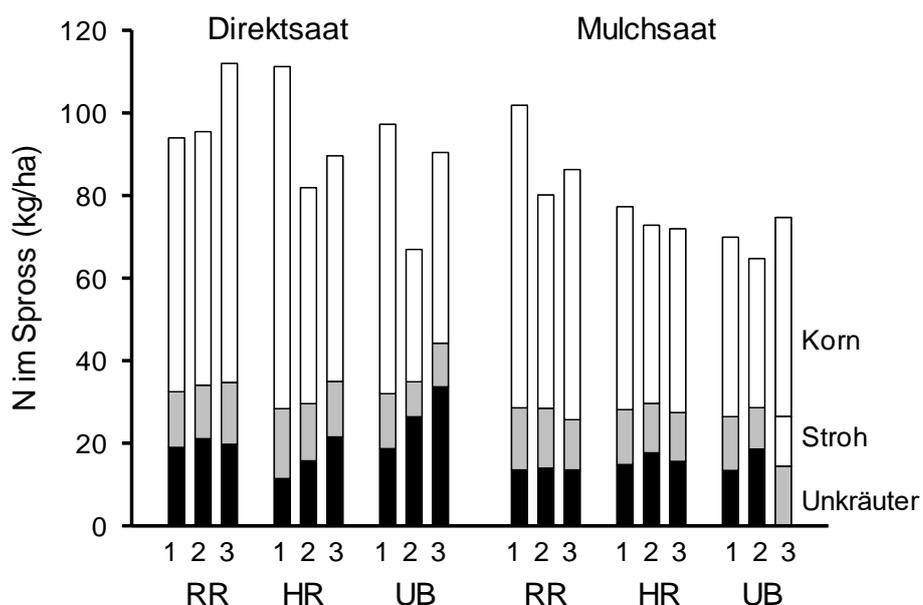


Abbildung 129: Einfluss des Saatverfahrens, des Zwischenfruchtbaus und der Intensität der Unkrautregulation auf die N-Mengen im Spross am Standort Calau am 01. Juli 2018 (RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, 1 = unkrautfrei bis Bestandesschluss, 2 = mechanische Unkrautregulation mit dem Rollstriegel, 3 = Kontrolle ohne Unkrautregulation)

Bestandesschluss, 2 = mechanische Unkrautregulation mit dem Rollstriegel, 3 = Kontrolle ohne Unkrautregulation)

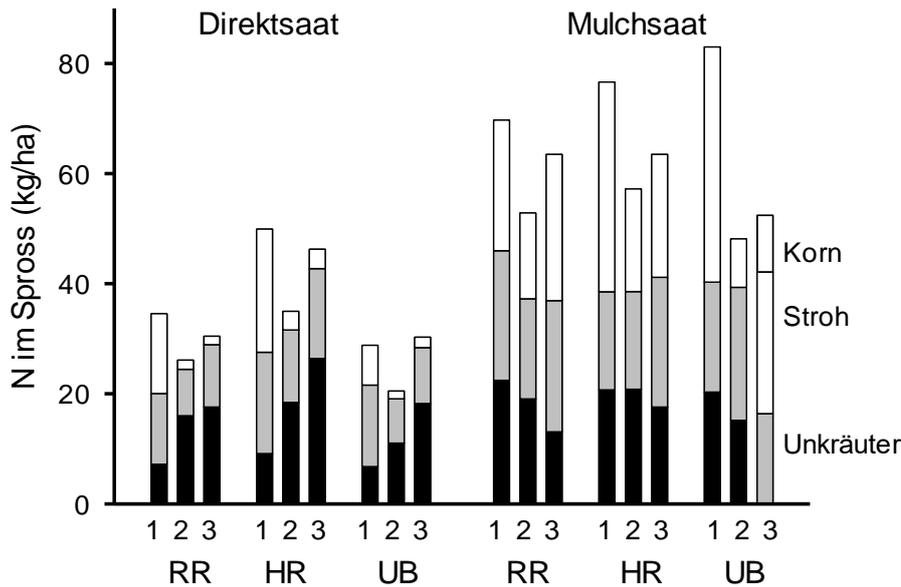


Abbildung 130: Einfluss des Saatverfahrens, des Zwischenfruchtbaus und der Intensität der Unkrautregulation auf die N-Mengen im Spross am Standort Ogrosen am 04. Juli 2019 (RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, 1 = unkrautfrei bis Bestandesschluss, 2 = mechanische Unkrautregulation mit dem Rollstriegel, 3 = Kontrolle ohne Unkrautregulation)

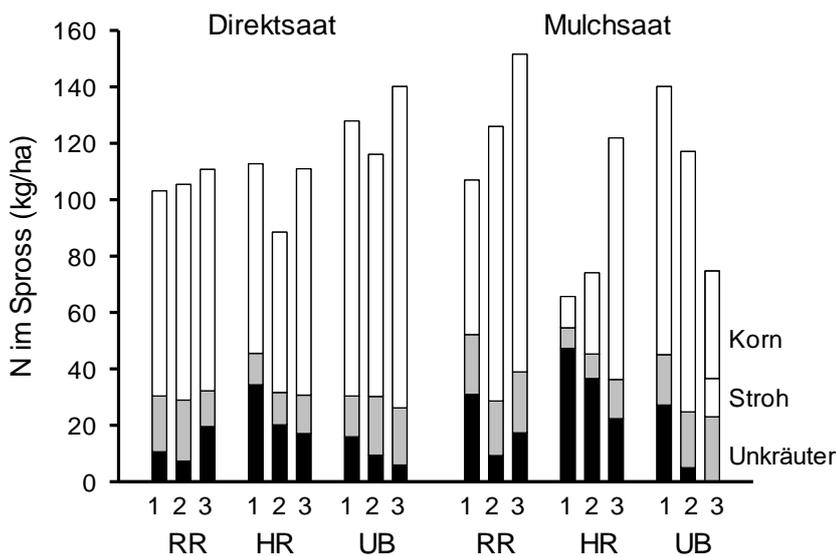


Abbildung 131: Einfluss des Saatverfahrens, des Zwischenfruchtbaus und der Intensität der Unkrautregulation auf die N-Mengen im Spross am Standort Calau am 04. Juli 2019 (RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, 1 = unkrautfrei bis Bestandesschluss, 2 = mechanische Unkrautregulation mit dem Rollstriegel, 3 = Kontrolle ohne Unkrautregulation)

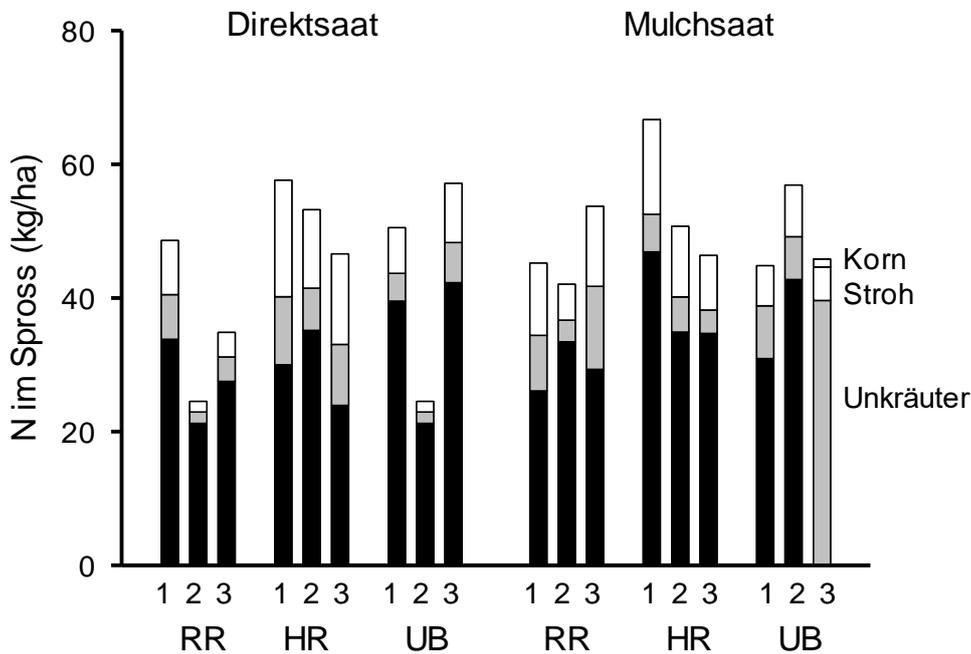


Abbildung 132: Einfluss des Saatverfahrens, des Zwischenfruchtbaus und der Intensität der Unkrautregulation auf die N-Mengen im Spross am Standort Ogrosen am 19. Juli 2021 (RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, 1 = unkrautfrei bis Bestandesschluss, 2 = mechanische Unkrautregulation mit dem Rollstriegel, 3 = Kontrolle ohne Unkrautregulation)

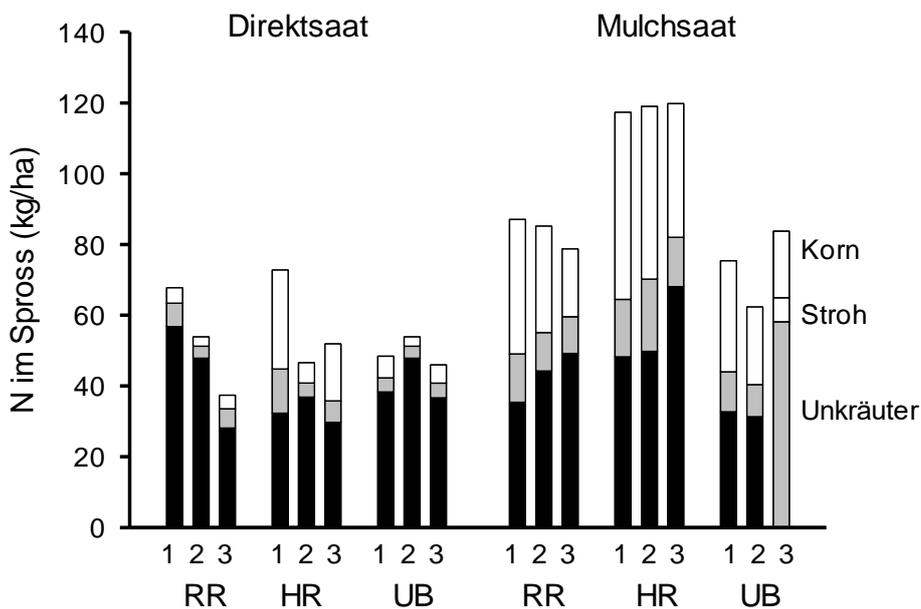


Abbildung 133: Einfluss des Saatverfahrens, des Zwischenfruchtbaus und der Intensität der Unkrautregulation auf die N-Mengen im Spross am Standort Calau am 19. Juli 2021 (RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, 1 = unkrautfrei bis Bestandesschluss, 2 = mechanische Unkrautregulation mit dem Rollstriegel, 3 = Kontrolle ohne Unkrautregulation)

Nach Drusch der Erbsen wurde der residuale Nmin-Vorrat im Boden bis in eine Tiefe von 90 cm erfasst (Abb. 134 bis Abb. 139). Am ökologisch bewirtschafteten Standort Ogrosen lagen diese im Jahr 2019 und 2021 in allen Prüfgliedern in der Summe jeweils unter 30 kg Nmin/ha (Abb. 136 und Abb. 138), während diese im ersten Jahr (2018) nach der Ernte mit im Mittel aller Prüfglieder ca. 40 kg Nmin/ha etwas höher lagen. Am konventionell bewirtschafteten Standort Calau lagen diese Werte im Mittel etwa 10 kg/ha darüber. Nur in drei von sechs Umwelten konnten nach Direktsaat leicht geringere mittlere residuale Nmin-Mengen im Boden festgestellt werden als nach Mulchsaat. Allerdings traten hier auch Wechselwirkungen zu der Art der Zwischenfruchtbewirtschaftung auf. Die Zwischenfruchtbewirtschaftung vor der Saat der Erbse spiegelte sich insgesamt nur in einem geringen Umfang und nicht systematisch auf die Art der Zwischenfrüchte zuordenbar in der Höhe der residualen Nmin-Menge im Boden nach der Ernte der Erbsen wider. Häufig führte allerdings die Beseitigung der Unkräuter in den Erbsen von Hand oder durch den Einsatz des Herbizids zu einem Anstieg der Nmin-Menge im Boden nach der Ernte der Erbsen.

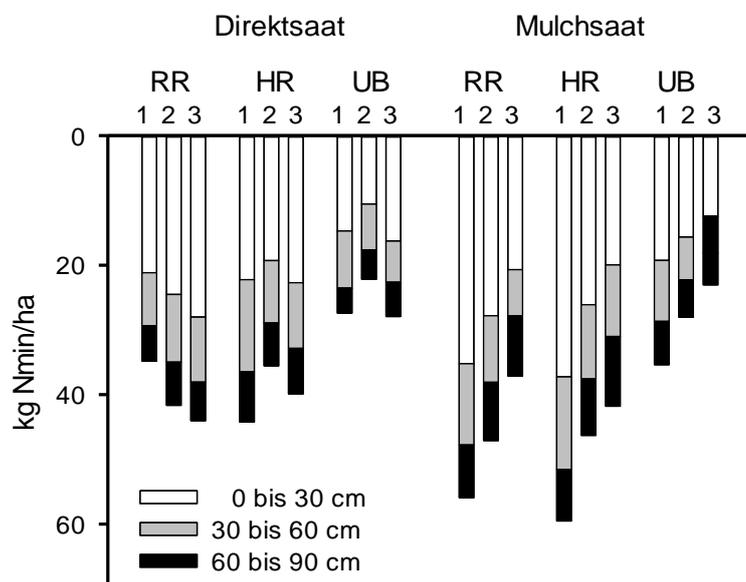


Abbildung 134: Einfluss des Saatverfahrens, des Zwischenfruchtbaus und der Intensität der Unkrautregulation auf die residuale Nmin-Menge im Boden am 02. Juli 2018 am Standort Ogrosen (RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, 1 = unkrautfrei bis Bestandesschluss, 2 = mechanische Unkrautregulation mit dem Rollstriegel, 3 = Kontrolle ohne Unkrautregulation)

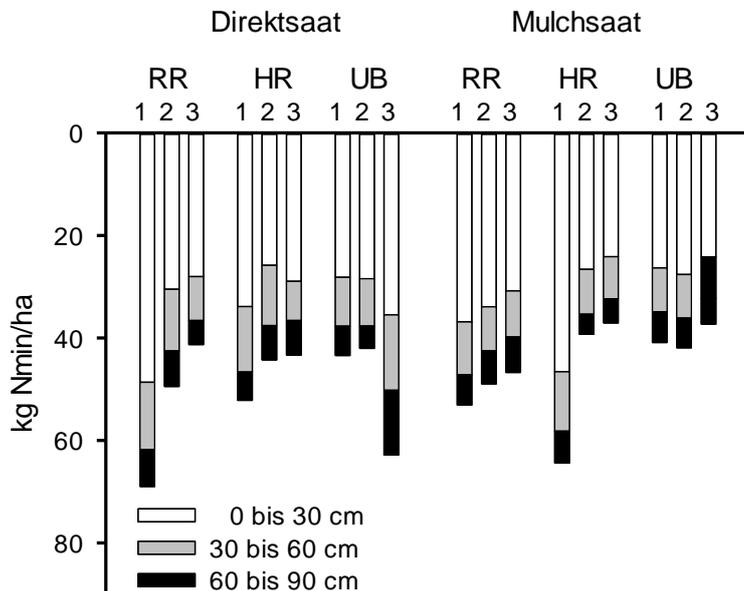


Abbildung 135: Einfluss des Saatverfahrens, des Zwischenfruchtbaus und der Intensität der Unkrautregulation auf die residuale Nmin-Menge im Boden am 021. Juli 2018 am Standort Calau (RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, 1 = unkrautfrei bis Bestandesschluss, 2 = mechanische Unkrautregulation mit dem Rollstriegel, 3 = Kontrolle ohne Unkrautregulation)

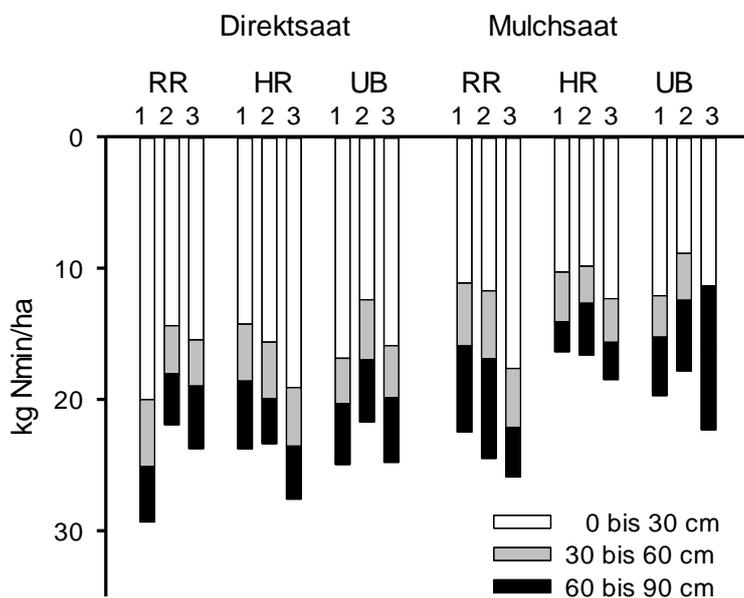


Abbildung 136: Einfluss des Saatverfahrens, des Zwischenfruchtbaus und der Intensität der Unkrautregulation auf die residuale Nmin-Menge im Boden am 19. Juli 2019 am Standort Ogrosen (RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, 1 = unkrautfrei bis Bestandesschluss, 2 = mechanische Unkrautregulation mit dem Rollstriegel, 3 = Kontrolle ohne Unkrautregulation)

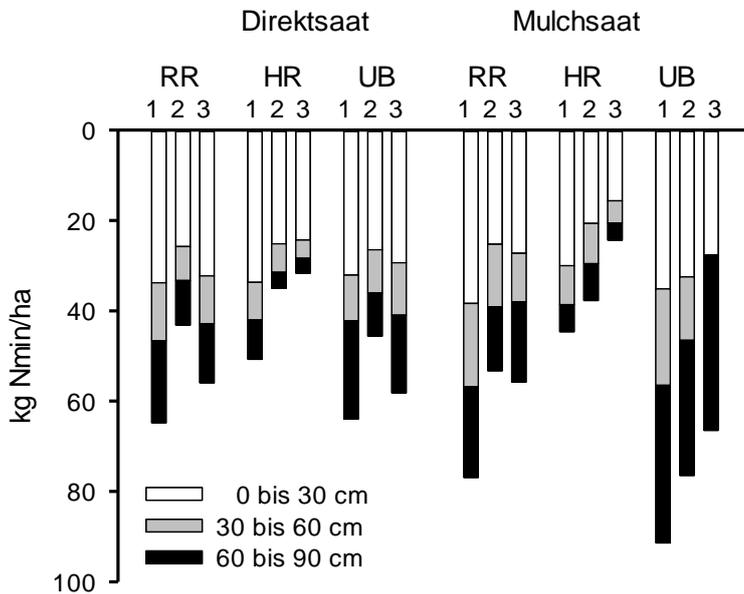


Abbildung 137: Einfluss des Saatverfahrens, des Zwischenfruchtbaus und der Intensität der Unkrautregulation auf die residuale Nmin-Menge im Boden am 19. Juli 2019 am Standort Calau (RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, 1 = unkrautfrei bis Bestandesschluss, 2 = mechanische Unkrautregulation mit dem Rollstriegel, 3 = Kontrolle ohne Unkrautregulation)

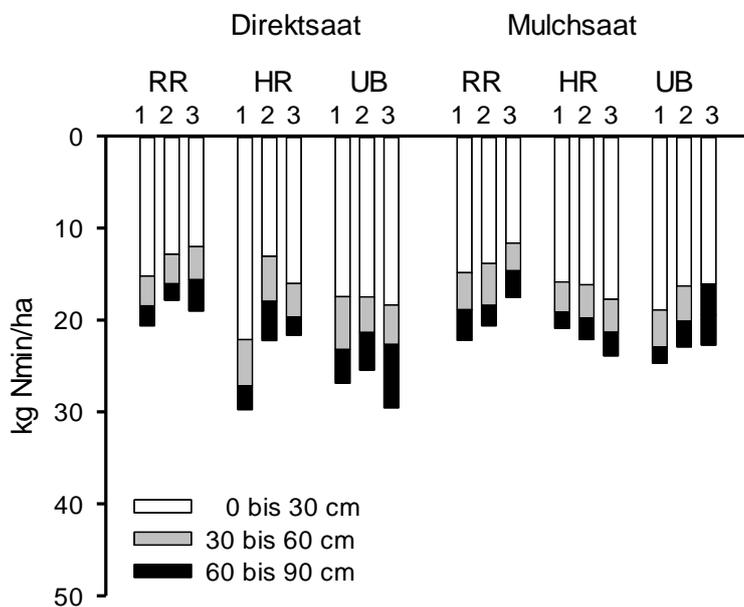


Abbildung 138: Einfluss des Saatverfahrens, des Zwischenfruchtbaus und der Intensität der Unkrautregulation auf die residuale Nmin-Menge im Boden am 21. August 2021 am Standort Ogrosen (RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, 1 = unkrautfrei bis Bestandesschluss, 2 = mechanische Unkrautregulation mit dem Rollstriegel, 3 = Kontrolle ohne Unkrautregulation)

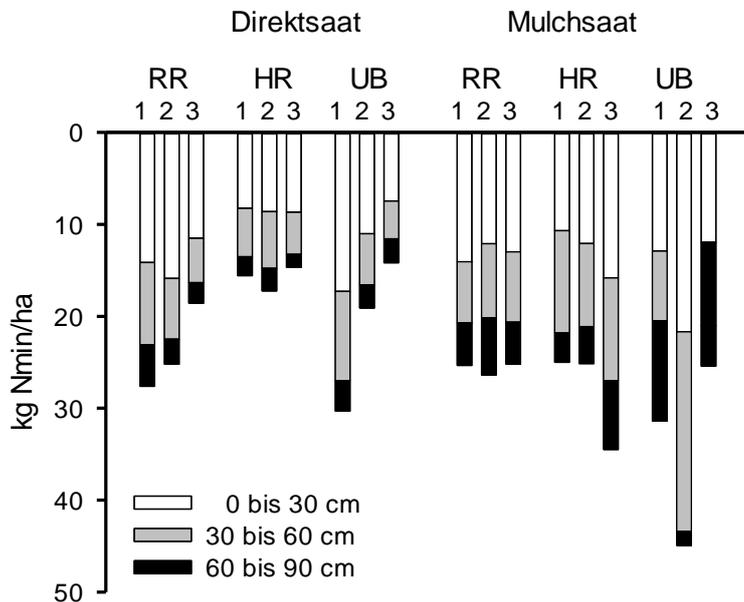


Abbildung 139: Einfluss des Saatverfahrens, des Zwischenfruchtbaus und der Intensität der Unkrautregulation auf die residuale Nmin-Menge im Boden am 21. August 2021 am Standort Calau (RR = Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispensorge, HR = Zwischenfrucht Rauhafer/Roggen, UB = Unkrautbrache, 1 = unkrautfrei bis Bestandesschluss, 2 = mechanische Unkrautregulation mit dem Rollstriegel, 3 = Kontrolle ohne Unkrautregulation)

4.3.2 Schlußfolgerung

Im Vorhaben des Teilprojektes der HTW Dresden sollten nachstehende Fragestellungen bearbeitet werden, die im Rahmen der Einordnung der vorliegenden Versuchsergebnisse hier beantwortet werden sollen.

Frage 1: Eignen sich nichtlegume Zwischenfruchtgemenge und wenn ja, welche vor Erbse zur indirekten Unkrautregulierung in Erbse?

Geprüft wurden im vorliegenden Vorhaben Zwischenfruchtgemenge aus Ramtillkraut und Rispensorge einerseits und Rauhafer und Sommerroggen andererseits. Dabei sollten komplementäre Effekte eines Gemengebaus, z.B. im Hinblick auf die Ressourcenkomplementarität, gezielt genutzt werden wie sie unter anderem auch bei Schappert et al. (2019) beschrieben sind. Ramtillkraut und Rauhafer erwiesen sich in den Gemengen, sofern die in den Feldversuchen gekeimt sind, als deutlich konkurrenzstärker als die jeweiligen Gemengepartner Rispensorge bzw. Sommerroggen. Dieses zeigte sich insbesondere in der ersten Zwischenfruchtphase (2017) an beiden Standorten. Hier bildete die Rispensorge bzw. der Sommerroggen im Gemenge mit Ramtillkraut weniger als 12% des gesamten Sprossmasseertrages des Gemenges (Abb. 54 sowie Tab. 25). Bei trockenheitsbedingtem Ausfall der Entwicklung des Ramtillkrautes im Sommer und Spätsommer der Jahre 2018 und 2019 sowie am Standort Ogrosen im Jahr 2020 konnte allerdings das Ausbleiben des Wachstums des Ramtillkrautes durch die Rispensorge vor allem am Standort Ogrosen im Jahr 2020 sehr gut kompensiert werden (Abb. 55, Abb. 56 und Abb. 57). Insofern hat sich ein Gemengebau der Zwischenfrüchte als stabilisierend auf die Anbausysteme erwiesen. Ramtillkraut und Rispensorge wiesen bei gutem Wachstum ein hohes Aufnahmevermögen für Stickstoff aus dem Boden auf und erreichten in der Zwischenfruchtphase bei rechtzeitigem Aufgang und gutem Wachstum bei Saat Mitte Juli eine Sprossmasse, die ein relativ weites C/N-Verhältnis von über 30 im Jahr 2017 aufwies (Tab. 35). Je verzögerter der Aufgang der Zwischenfrüchte erfolgte, desto enger war das C/N-Verhältnis in der Sprossmasse der Zwischenfrüchte am Ende der Vegetationsperiode (Tab. 36, Tab. 37 und Tab. 38).

Die Sprossmasse der Unkrautbrachen wies hingegen in vielen Fällen ein engeres C/N-Verhältnis als der Zwischenfruchtbestände auf. Während das Ramtillkraut in allen Versuchsjahren keine keimfähigen Samen trotz

früher Saat ausgebildet hat, war dieses bei der Rispenhirse in der Regel der Fall. So waren in einigen Fällen auch einzelne, vermutlich in der Zwischenfruchtphase durch die Rispenhirse gebildete Samen, Pflanzen der Rispenhirse in den Erbsenbeständen erwachsen, die als Nachteil einer frühen Saat mit Zwischenfruchtbaubau bei der Rispenhirse zu werten sind. Deshalb kann die Rispenhirse trotz schnellem und gutem Wachstum und Bildung einer Sprossmasse mit weitem C/N-Verhältnis nur für die Fälle empfohlen werden, in denen sie nach der Saat im Zwischenfruchtbaubau nicht mehr die Samenreife erlangt. Dieses dürfte in aller Regel an einen Saatzeitpunkt mit Beginn des Monats August gebunden sein.

Allerdings würden dann mit verspätetem Saattermin vermutlich die positiven Wirkungen des Zwischenfruchtbaus auf die Erbse gemindert werden, wie Untersuchungsergebnisse von Mick & Schmidtke (2016) bereits zeigen konnten. Hier war bereits ein um 14 Tage auf Ende Juli verzögerter Aussaattermin der Zwischenfrucht Rispenhirse in den nachfolgenden Erbsen mit einer deutlichen Minderung der suppressiven Wirkung auf das Unkrautwachstum verbunden. Ramtillkraut kann hingegen bei früherer Saat im Juli und ausreichender Bodenfeuchte für die Keimung als uneingeschränkt geeignet für einen nichtlegumigen Zwischenfruchtbaubau vor Erbse eingestuft werden, zumal auch die Keimung und das Wachstum von Unkräutern in der Erbse nach der Zwischenfrucht Ramtillkraut sowohl in Direktsaat als auch in Mulchsaat im Falle einer guten Zwischenfruchtentwicklung deutlich durch das Ramtillkraut gemindert wurde.

Der Sommerroggen war in keinem der geprüften Fälle in der Lage im Gemenge mit Rauhafer höhere Biomasseerträge zu bilden. Er erlangte zudem bei Saat und Aufgang im Juli bis in der Regel Ende September die Samenreife und starb entwicklungsbedingt dann auch ab. Zwar war in den nachfolgenden Erbsen kein Auflaufen von Ausfallroggen in den Beständen zu beobachten, wegen ausgebliebener Massebildung des Sommerroggens kann er zumindest für einen Gemengebau mit Rauhafer nicht als nichtlegumige Zwischenfrucht vor Erbse empfohlen werden. In Reinsaat kann Sommerroggen allerdings eine gute Eignung als Zwischenfrucht aufweisen, wie Rühlemann et al. (2015) zeigen konnten.

Die unter den geprüften Zwischenfrüchten beste Eignung dürfte der Rauhafer aufweisen. Er konnte auch unter trocken-warmen Bedingungen in den Sommern 2018 und 2019 noch vergleichsweise gut etabliert werden und wies ebenfalls unter feuchteren Bedingungen ein gutes Wachstum auf beiden Prüfstandorten auf. Die hohe Anpassungsfähigkeit des Rauhafer an Umweltbedingungen kam auch in der vorliegenden Untersuchung dadurch zum Ausdruck, dass er als einzige der vier geprüften Arten unter allen acht getesteten Umwelten gut etabliert und ein entsprechendes Sprosswachstum zeigte. Zugleich war nach guter Etablierung des Rauhafer auch eine Minderung der Keimung und des Wachstums von Unkräutern in der nachfolgenden Erbse zu beobachten, was die herausragende Eignung des Rauhafer für diese Zwecke unterstreicht.

Frage 2: Treten zwischen Anbausystem (konventionell/ökologisch), Bodenbearbeitung und Art des Zwischenfruchtgemenges signifikante Wechselwirkungen auf Ertragsbildung der Körnerleguminosen und Unkrautwachstum auf, die ein spezifisches pflanzenbauliches Management je nach Anbausystem erfordern?

Ein systematischer Vergleich war zwischen den Anbausystemen aufgrund der Durchführung der Untersuchungen in Praxisbetrieben nicht möglich. So waren in allen Versuchsjahren die Bodenbedingungen hinsichtlich Bodenart und Menge an pflanzenverfügbarem Wasser im Boden auf dem langjährig ökologisch bewirtschafteten Standort für das Wachstum der Erbsen schlechter als auf den langjährig konventionell bewirtschafteten Flächen. Deshalb fielen im Mittel die Kornerträge der Erbsen vermutlich in allen drei Prüfjahren auf den langjährig ökologisch bewirtschafteten Ackerschlägen deutlich geringer aus. Im Trockenjahr 2019 fielen die Unterschiede besonders markant aus, währenddessen unter niederschlagsreicheren Bedingungen die Unterschiede im Jahr 2020 im Mittel vergleichsweise gering waren.

Während zu Vegetationsende nach Zwischenfruchtbau nur in einem von 4 Jahren (Jahr 2020, Abb. 65) durch einen über alle Zwischenfruchtbestände gemittelt deutlich höheren Vorrat an Nmin-N im Boden charakterisiert war, lagen auf dem konventionell bewirtschafteten Standort in allen vier Jahren im Frühjahr zur Saat der Erbse im Boden stets nahezu unabhängig von der Art der Zwischenfruchtbewirtschaftung höhere Nmin-Mengen vor als auf den langjährig ökologisch bewirtschafteten Standorten. Dieses spiegelte sich allerdings nicht in einer höheren Sprossmassebildung oder höheren N-Aufnahme der Unkräuter in den Erbsen bis zum Blüte der Erbsen am Standort Calau im Vergleich zum Standort Ogrosen wider. Auch im Hinblick auf die Anzahl Unkrautpflanzen je m² spiegelten sich die zu Vegetationsbeginn auf den konventionell bewirtschafteten Ackerflächen stets höheren Nmin-Vorräte im Boden nicht in im Vergleich zu den langjährig ökologisch bewirtschafteten Flächen erhöhte Anzahl Unkräuter wider.

Die Unkrautbrache, d.h. die unterlassene Einsaat von Zwischenfrüchten wirkte sich mit Ausnahme des Jahres 2019 am Standort Calau stets im Vergleich zur Einsaat von Zwischenfrüchten nachteilig auf die Ertragsbildung der Erbse aus, sowohl in der Direktsaat als auch in der Mulchsaat. Auch hierin unterschieden sich die langjährig unterschiedlich bewirtschafteten Ackerflächen an den Standorten Ogrosen und Calau nicht. Eine Unkrautbrache kann somit auch bereits in der Zwischenfruchtphase auf die Ertragsbildung der Erbse derart nachteilig wirken und diese Nachteile können auch nicht durch eine intensivere Bodenbearbeitung vor Saat der Erbse aufgehoben werden. Vermutlich hat hier die Ackerquecke (*Elymus repens*), die auf den Standorten zum Teil in erhöhtem Umfang vertreten war, durch einen unterlassenen Zwischenfruchtbau so stark profitiert, so dass ihr Wachstum durch eine einmalige Bodenbearbeitung zur Saat der Erbse unzureichend eingeschränkt wurde. Diese Ergebnisse verdeutlichen, dass ein temporäres Aussetzen einer Bewirtschaftung – häufig naturschutzfachlich begründet - auch mittelfristig Nachteile auf das Wachstum von Kulturpflanzen hervorrufen kann.

Nach Direktsaat war in allen sechs Umwelten bis zur Blüte der Erbsen im Mittel aller Prüfglieder eine höhere Sprossmassebildung der Unkräuter zu verzeichnen als nach Mulchsaat, wobei allerdings die Unterschiede in den langjährig ökologisch bewirtschafteten Flächen – anders als erwartet – geringer ausfielen als auf den konventionell bewirtschafteten Flächen. Die Bodenbearbeitung vor Saat entfaltete deshalb in den langjährig konventionell bewirtschafteten Ackerschlägen für die Verringerung des Unkrautwachstums in den Erbsen eine größere Relevanz als in den langjährig ökologisch bewirtschafteten Ackerschlägen. Unabhängig von der langjährigen Vorbewirtschaftung der Flächen konnte durch den zwei bis dreimaligen Einsatz des Rollstriegels die in den Erbsen gebildete Unkrautsprossmasse bis zur Blüte der Erbsen nur in vergleichsweise geringem Maße reduziert werden wie der Vergleich zur Kontrolle (ohne Unkrautregulation in den Erbsen) zeigt. Der Einsatz des Rollstriegels führte vielmehr zu einer tendenziellen Verringerung der Ertragsleistung der Erbsen bis zur Blüte.

Generell lässt sich schlussfolgern, dass bei langjährig konventioneller Bewirtschaftung trotz Anbau von nichtlegumen Zwischenfruchtgemengen mit einem erhöhten Vorrat an Nmin-Stickstoff im Boden zur Saat der Erbse zu rechnen ist, der allerdings offenbar nicht zu einer im Vergleich zu einer langjährig ökologischen Bewirtschaftung erhöhtem Wachstum von Unkräutern führt. Eine reduzierte Bodenbearbeitung mit z.B. einem Einsatz eines Grubbers und einer Kreiselegge zur Saat zeigte auf das Wachstum der Unkräuter in den konventionell bewirtschafteten Flächen eine im Vergleich zur Direktsaat stärker reduzierende Wirkung als in den langjährig ökologisch bewirtschafteten Flächen. Gleichwohl konnte nur in einem von 6 Umwelten durch Direktsaat unter trocken-warmen Bedingungen im Sommer ein im Mittel höherer Korntrag der Erbsen erzielt werden als nach Mulchsaat. Eine zumindest geringe Intensität der Bodenbearbeitung vor Saat der Erbse scheint deshalb in den meisten Fällen erforderlich zu sein, um das Wachstum von Unkräutern in Erbsen deutlich zu mindern und gleichzeitig die Korntragsleistung der Erbse zu steigern. Ein gelungener Zwischenfruchtbau mit Ramillkraut oder Rauhafer verringerte aber die Unterschiede in der Ertragsleistung der Erbse zwischen Direkt- und Mulchsaat wie die Ergebnisse des ersten Versuchsdurchlaufs im Jahr 2018 an beiden Standorten zeigen. Damit wurden hier auch unter leichten (sandigen) Bodenverhältnissen Ergebnisse auf mittel-schweren Böden von Mick & Schmidtke (2016) bestätigt.

Frage 3: Kann durch eine Kombination von Zwischenfruchtanbau und Rollstriegeleinsatz der Unkrautbesatz in pfluglos angebauten Erbsen nachhaltig reduziert werden?

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeiten lassen erkennen, dass durch den zwei bis dreimaligen Einsatz eines Rollstriegels unter konventionellen Anbaubedingungen weder der Sprossertrag der Unkräuter signifikant vermindert noch die Kornertragsleistung der Erbse erhöht werden konnte. Wesentlich wirksamer zeigte sich ein gelungener Zwischenfruchtanbau mit Ramtillkraut oder Rauhafer sowohl auf die Minderung der Verunkrautung in der Erbse als auch die Kornertragsleistung der Erbse. In Kombination mit einer reduzierten Bodenbearbeitung lassen sich Körnererbsen sowohl unter konventionellen als auch unter Bedingungen des ökologischen Landbaus ohne eine Regulierung von Unkräutern in Erbsen – mechanisch oder mit Herbiziden – erfolgreich anbauen. Die Untersuchungen zeigen deshalb trotz schwieriger Witterungsbedingungen in 2018 und 2019 mit trocken-heißen Sommern und kühl-feuchten Bedingungen im Jahr 2021 deutlich auf, dass einem gezielten Zwischenfruchtanbau und einer reduzierten Bodenbearbeitung zur Saat der Erbse die wirksamsten Instrumente darstellen, um eine Unkrautregulierung in Erbsen unterlassen zu können. Dem Einsatz eines Rollstriegels zur mechanischen Unkrautregulation scheint in dieser Hinsicht die geringste Bedeutung zuzukommen.

Frage 4: Unter welchen Bedingungen des Zwischenfruchtbaus und der Bodenbearbeitung führt eine Unkrautregulierung durch Herbizideinsatz oder Rollstriegeleinsatz noch zu einer signifikanten Erhöhung der Kornertragsleistung der Körnerleguminose?

Der zwei- bis dreimalige Einsatz eines Rollstriegels führte weder unter ökologischen noch unter konventionellen Anbaubedingungen zu signifikanten Mehrerträgen an Kornmasse bei der Erbse, offenbar weil die Erbse empfindlich auf den Einsatz des Rollstriegels reagiert hat. Diese Feststellung traf sowohl für die Bedingungen des Rollstriegeleinsatzes nach Direkt- wie nach Mulchsaat zu. Der Einsatz eines Vorauffaflerherbizids führte nur in den Fällen zu einer Erhöhung des Kornertrages bei der Erbse, in denen ein unzureichendes Wachstum der vorherigen Zwischenfrüchte zu verzeichnen war während diese nach erfolgreichem Zwischenfruchtanbau im Jahr 2018 gering ausfielen (Abb. 123).

Die geprüften Versuchsfaktoren – Zwischenfruchtanbau, Bodenbearbeitung zur Saat sowie Unkrautregulation in Erbsen nahmen nur in geringem Umfang und nicht systematisch Einfluss auf die N-, P und K-Gehalte in der Erbse zur Blüte und auf die residualen N_{min}-Mengen im Boden. Es ließ sich lediglich eine Tendenz zu geringeren N_{min}-Vorräten im Boden nach Direktsaat im Vergleich zur Mulchsaat in drei von sechs Fällen ableiten.

Die Ergebnisse des Vorhabens lassen trotz witterungsbedingter Einschränkungen in der Versuchsdurchführung zentrale Schlussfolgerungen für die Praxis zu:

Bei früher Saat im Juli und ausreichender Sprossmasseentwicklung (> 30 dt Trockenmasse je Hektar) waren Ramtillkraut und Rauhafer in der Lage, die Anzahl Unkräuter und deren Sprossertragsbildung bis zur Blüte der Erbse deutlich zu reduzieren und gleichzeitig die Kornertragsbildung der Erbse positiv zu beeinflussen. Trotz hoher N-Aufnahme der Zwischenfrüchte bis Vegetationsende und weitem C/N-Verhältnis in der Sprossmasse der Zwischenfrüchte (C/N > 30) konnte durch den Zwischenfruchtanbau im Vergleich zu einer Unkrautbrache der N_{min}-Vorrat im Boden zur Saat der Erbse nicht markant reduziert werden. Daraus lässt sich schließen, dass offenbar die in Ramtillkraut und Rauhafer gebildeten sekundären Pflanzeninhaltsstoffe allelopathische Wirkungen entfalten und die Keimung und das Wachstum der Unkräuter in Erbsen gehemmt haben.

Rauhafer erwies sich im Zwischenfruchtbau als die im Vergleich zu Ramtillkraut deutlich sichere Zwischenfruchtpflanze, da sie sowohl unter trocken-warmen Bedingungen als auch unter kühl-feuchten Bedingungen in der Vegetationsperiode der Zwischenfrüchte einen geschlossenen Bestand bilden und Unkräuter gut unterdrücken konnte.

Ramtillkraut und Rauhafer waren nicht in der Lage trotz früher Saat Anfang/Mitte Juli fertile Samen auszubilden, so dass hierdurch auch keine Ausfallsamen dieser Arten entstanden sind, die in Folgekulturen auftreten.

Sommerroggen war der Konkurrenz des Rauhafers stark unterlegen und bildete im Gemenge mit Rauhafer nur geringe Sprosserträge je Hektar aus, weshalb Sommerroggen im Zwischenfruchtbau nicht als Gemengepartner mit Rauhafer empfohlen werden kann.

Rispenhirse und Sommerroggen bildeten bei Aussaat Anfang/Mitte Juli fertile Samen bis Vegetationsende aus, Samen, die in der nachgebauten Erbse aufliefen und für die Erbse eine Konkurrenz darstellten. Deshalb können Sommerroggen und Rispenhirse nur für einen entsprechenden Zwischenfruchtbau mit deutlich späterem Aussaattermin (ab Anfang/Mitte August) empfohlen werden.

Mit Hilfe einer Mulchsaat, d.h. reduzierter Bodenbearbeitung zur Saat der Erbse mit Grubber und Kreiselegge, kann das Unkrautwachstum in der Erbse im Vergleich zu einer Direktsaat sowohl im ökologischen als auch konventionellen Landbau deutlich gesenkt werden. In Kombination mit einem erfolgreich verlaufenden Zwischenfruchtbau vor der Erbse mit bis Mitte Juli des Vorjahres gesättem Ramtillkraut oder Rauhafer können Erbsen erfolgreich ohne jegliche Unkrautregulierung in den Erbsen durch mechanische oder chemische Maßnahmen in Mulchsaat angebaut werden.

Durch zwei bis dreimaligen Einsatz eines Rollstriegels in den Erbsen konnte das Unkrautwachstum in Erbsen nur wenig zurückgedrängt werden. Der Rollstriegeleinsatz in der Erbse führte offenbar häufig zu leichten Verletzungen der Erbse, so dass nach dessen Einsatz auch leichte Mindererträge zu verzeichnen waren.

Der residuale Nmin-Vorrat nach Erbse konnte auch durch einen gelungenen Zwischenfruchtbau mit Nichtleguminosen nicht maßgeblich reduziert werden.

5 Diskussion

5.1 Wie kann der Zwischenfruchtanbau erfolgreicher etabliert werden

Die Wirkungen der ZF ergeben sich in Bezug auf Unkrautunterdrückung in den Körnerleguminosen aus einer Reduktion der Nmin-Gehalte im Oberboden möglichst bis zum Bestandsschluss und aus einer möglichst dichten Mulchauflage nach der Aussaat der Körnerleguminosen. Um zu verhindern, dass nach dem Absterben der ZF in deren Biomasse gespeicherte Stickstoff vor dem Bestandsschluss wieder mineralisiert wird, muss die

Zwischenfruchtbiomasse vor dem Absterben ein C/N-Verhältnis von > 25 aufweisen. Gleichzeitig soll die Bildung keimfähiger Samen aus den ZF vermieden werden, um einen Durchwuchs in der Folgekultur zu verhindern.

Weite C/N-Verhältnisse in der Zwischenfruchtbiomasse können nach unseren Beobachtungen in den untersuchten ZF dann erreicht werden, wenn die Aussaat zeitig und zu guten Auflaufbedingungen erfolgt. Hohe Sicherheit bieten hier Saattermine im Juli, vorstellbar wären auch Termine im Juni, sofern bodenwasserschonend gearbeitet wird. Verfahrenstechnisch kommt eine Vordrusch- oder Mähdruschsaat mit Belassen des Strohs als Häcksel auf dem Feld in Frage, für RR ist auch eine Etablierung als Untersaat im späteren Frühjahr denkbar, da bei dieser Pflanzenart die Bildung keimfähiger Samen unwahrscheinlich ist.

Frühe Saattermine (z. B. Juli) geben auch hinsichtlich einer hohen Biomassebildung Sicherheit, sofern ausreichend Wasser verfügbar ist. Damit kann erreicht werden, dass auch nach einer Mulchsaat mit Saatbettbereitung eine ausreichende Bodenbedeckung aus abgestorbener Zwischenfruchtbiomasse zur Verfügung steht und diese aufgrund des weiten C/N-Verhältnisses nur sehr langsam abgebaut wird, optimaler Weise unter Verbrauch von Nmin im Saatbettbereich. Eine vollständige Bodenbedeckung mit Mulch, die einen keimauslösenden Lichtreiz auf Unkrautsamen ausschließt, kann nur mit der DS der Körnerleguminosen erreicht werden.

Da die verspätete Zwischenfruchtaussaat in der landwirtschaftlichen Praxis häufiger vorkommt und diese dann nur mäßige Effekte (Bodenschutz, Wurzeleistung, N-Rückhalt) erzielen lässt, sollten weitere ZF bezüglich ihrer Eignung für eine zeitige Aussaat oder als Untersaat in der Vorkultur untersucht werden.

5.2 Wie gut funktioniert eine Unkrautregulierung in "Echtzeit" durch Sensorik

Die Praktikabilität der teilflächenspezifischen Unkrautregulierung lässt sich durch Sensoreinsatz in 2 Varianten gut umsetzen.

In Variante 1: wird mittels H-Sensor jeweils vor einem Bekämpfungsgang die gesamte Fläche gescannt und der Unkrautbesatz kartiert werden. Der Einsatz von Bekämpfungstechnik erfolgt dann nur auf den Teilflächen mit bekämpfungsbedürftigem Besatz. Diese Variante ist sinnvoll bei großflächig zusammenhängenden Teilflächen mit gleichem Unkrautbesatz.

In Variante 2: wird der H-Sensor zum Messen während der Bekämpfung eingesetzt (Echtzeit-Anwendung). Das Messergebnis kann in ein Steuersignal überführt werden, welches das Unkrautbekämpfungsgerät steuert (Ausheben/Einsetzen der Werkzeuge, Veränderung der Arbeitsintensität). Diese Variante ermöglicht die Reaktion auf kleinflächige Heterogenitäten im Unkrautbesatz.

Für beide Varianten sind für jeden Einsatzzeitpunkt Schwellenwerte im Unkrautbesatz festzulegen, ab deren Erreichen eine mechanische Bekämpfung nötig ist. Dies setzt im Prinzip eine Prognose voraus, wann der nächste Bekämpfungsdurchgang erfolgt und wie weit sich bis dahin Unkräuter die aktuell unterhalb des Schwellenwertes liegen, entwickeln. In der Praxis erfolgt bisher der Einsatz von Striegeln eher vorbeugend, also sobald Unkräuter keimen, wird ganzflächig bekämpft. Der Schwellenwert des ersten Striegeleinsatzes wird dementsprechend niedrig angesetzt und mit jedem weiteren Einsatz dynamisch erhöht. Entsprechend wurde im Projekt in der Praxiserprobung vorgegangen. Die Schwellenwerte orientierten sich dabei an den Messergebnissen der Parzellenversuche 2018-2020 und geben ähnlich der praxisüblichen Entscheidung über den Einsatzzeitpunkt des Striegels eher standortspezifische Erfahrungswerte wieder. In jedem Fall sollte bei der Einsatzentscheidung bzw. Schwellenwertfestlegung beachtet werden, dass ein eventuell notwendiger Striegedurchgang witterungsbedingt nicht oder erst später möglich ist.

Sowohl die Praxistests der HO als auch die des LfULG 2021 haben gezeigt, dass es einerseits möglich ist, während der Arbeit mit einem Roll- und einem Zinkenstriegel die Bearbeitung teilflächenspezifisch gesteuert nach dem sensorisch gemessenen Unkrautdeckungsgrad durchzuführen. Bei Arbeitsgeschwindigkeiten von 5 bis zu 8 km/h und der Positionierung des Unkrautsensors an der Traktorfront konnte so schnell auf ein Überschreiten der jeweils voreingestellten Schwellenwerte passgerecht reagiert werden. Auch die Anpassung der Zinkenvorspannung an unterschiedliche Unkrautdeckungsgrade ist bei Zinkenstriegeln mit hydraulisch verstellbaren Vorspannfedern in Echtzeit möglich. Für einen kombinierten Einsatz (ausheben/einsetzen sowie Zinkenvorspannung anpassen) müssen Steuermodule zum direkten Eingriff in die Hydraulik am Striegel entwickelt werden. Der kombinierte Einsatz von Ein-/Aussetzen (teilflächig) und angepasster Zinkenvorspannung (dynamischer Zinkendruck) zeigte zu jedem Einsatzzeitpunkt in der Praxiserprobung (Upscaling) die effektivsten Ergebnisse hinsichtlich Unkrautunterdrückung und Ertragsleistung.

Striegel (Roll- und Zinkenstriegel) werden mittels Schlepperhydraulik über den Heckdreipunkt eingesetzt oder ausgehoben. Sollen Arbeitsgeschwindigkeiten von > 10 km/h oder mehr realisiert werden, ist die Reaktionsgeschwindigkeit dieses Systems zu träge. Entweder gibt man dem Sensor mehr Vorlaufzeit zum Messen durch eine Montage weiter vor dem Schlepper oder setzt Schnellaushubsysteme bei den Striegeln ein, wie beim im Rahmen der Projektarbeit angepassten Rollstriegel mit Klapprahmen (APV). Ein solcher Klapprahmen könnte einen Rollstriegel mit größerer Arbeitsbreite (z. B. 12 m) in mehrere kleine Segmente unterteilen, die dann jeweils separat durch je einen Sensor je Segment angesteuert werden

5.3 Biologie und Technik im Verbund

Mit Zusammenführung beider Systemansätze zur Unkrautreduzierung lassen sich herbizidfreie Verfahren des Erbsen- bzw. Ackerbohnenanbaus optimieren. Gelingt es, biomassereiche Zwischenfruchtbestände zu etablieren, die zur Körnerleguminosenaussaat viel strohähnliches Mulchmaterial und wenig Nmin im der Oberboden hinterlassen, kann bei günstigen Bedingungen ohne Unkrautbekämpfung ein ähnlich hoher Ertrag wie nach Herbizideinsatz oder mehrmaligem Striegeleinsatz erzielt werden. Gelingt es zusätzlich, vor und während des Zwischenfruchtanbaus das Ausfallgetreide, Ausfallraps usw. zu bekämpfen, kann sogar eine Direktsaat von Körnerleguminosen ohne Unkrautregulierung erfolgreich etabliert werden. Im Projekt gelang dies allerdings nur auf dem D-Standort im Jahr 2018. Problematisch wird eine Direktsaat auf bindigeren Böden, wenn Striegeleinsätze erforderlich werden. Die im Projekt eingesetzten Rollstriegel waren auf den Direktsaatflächen nicht in der Lage, ausreichend tief in den Boden einzudringen. Hier müssten schwerere Rollwerkzeuge wie Rotationshacken (Rotary Hoe und ähnliche) zum Einsatz kommen, die allerdings der Idee vom unbewegten Boden bei Direktsaat widersprechen.

Nach Mulchsaat hingegen fanden die Rollstriegel weitgehend gelockerte Bodenoberflächen vor, die eine wirksame Arbeit ermöglichten. Abfrierende Zwischenfrüchte vor Mulchsaat von Körnerleguminosen können den Ausgangunkrautdruck verringern, so dass wenige bzw. unter guten Bedingungen keine Striegeleinsätze Ertragsgleichheit mit Herbizideinsatz zeigten. Auch mit Mulchauflagen war der eingesetzte Sensor in der Lage, zuverlässig Unkrautdeckungsgrade zu erfassen und Steuersignale für Striegel zu generieren. Bei geringeren Mulchauflagen waren auch Zinkenstriegel ohne Verstopfungen einsetzbar, die ein hydraulisches Anpassen der Zinkenvorspannung ermöglichen

6 Verwertbarkeit der Ergebnisse

Die Ergebnisse zum Zwischenfruchtanbau zur Unkrautreduzierung lassen sich mit leichten Anpassungen an die jeweilige betriebliche Situation in der Praxis anwenden (Saatzeitpunkt, Stoppelbearbeitung vor ZF-Saat, Artenwahl).

Der Einsatz von Unkrautsensoren ist zur Erfassung von Unkrautdeckungsgraden praktisch möglich. Prinzipiell wurde das mit dem verwendeten H-Sensor gezeigt. Darauf aufbauend sind technische Anpassungen erforderlich, insbesondere hinsichtlich der kleiner teiligen Segmentierung der Unkrautbekämpfung. Aufgrund der geringen Selektivität beider mechanischen Unkrautbekämpfung reicht eine Unterscheidung zwischen Kulturpflanze und Unkraut aus, eine Identifizierung der Unkrautgattungen oder –arten ist nicht erforderlich.

7 Weiterführende Fragestellungen

Wie können Zwischenfrüchte sicher etabliert werden (Trockenheit, hohe Biomassebildung, sicheres Absterben ohne Samenbildung, Zusammensetzung des Mulches) und welche Pflanzenarten sind für welche Aussaatverfahren geeignet? Welche Zwischenfrüchte sind vor nicht-legumen Hauptkulturen geeignet und wie können diese sicher etabliert werden? Lassen sich Sensoren mit anderen (indirekten) Messverfahren zur Abschätzung des Unkrautdeckungsgrades einsetzen? Lassen sich Hacken entsprechend steuern? Ist mit der verwendeten Sensorik eine Erfassung von Bodenbrütern möglich?

Welche Sekundäreffekte hat ein teilflächenspezifischer Einsatz mechanischer Geräte (Bodenwasser, Humus, Bodenbrüterschutz, Laufkäferschutz)?

Darüber hinaus könnte eine weiterführende Fragestellung sich mit einer veränderten Sichtweise auf die Ackerbegleitflora auseinandersetzen und neue Wege der Unkrautregulierung zu entwickeln. Die Ackerbegleitflora könnte in diesem System differenziert betrachtet werden, wobei als Unkraut eine unerwünschte und problematische Pflanze im Bestand, als Beikraut eine wirtschaftlich unkritische und ggf. schützenswerte Pflanze in Koexistenz mit Kulturpflanzen bezeichnet angenommen wird. Die Klassifizierung erfolgt unter Berücksichtigung des betriebsspezifischen Pflanzenbaus (ökologisch, konventionell, hybrid z.B. mechanisch und chemisch) sowie den Standort- und Witterungsbedingungen im Rahmen der Fruchtfolge (nicht nur einzelne Fruchtglieder wie in der bisherigen Untersuchung) und der Auswirkung auf die Biodiversität der jeweiligen Fläche. Bei den Regulierungsmaßnahmen ist abzuwägen, in welchem Maße Unkräuter bekämpft bzw. Beikräuter toleriert oder zeitweise nicht reguliert werden, um die pflanzliche Biodiversität zu erhöhen und Lebensräume bzw. Nahrungsquelle für Insekten zu schaffen und zu erhalten. Dazu könnten drohnen-/bodengestützte Sensorsysteme zur Pflanzenerkennung getestet, weiterentwickelt und validiert. Mit vorhandener Kamertechnik zur Pflanzenerkennung wird ab Projektbeginn die Ackerbegleitflora bestimmt. In einer weiterführenden Fragestellung wäre es denkbar, dass diese Systeme weiterentwickelt (Multisensorik) werden, um durch Integration der Daten in ein KI-Entscheidungssystem zusätzliche Optionen zuzuschaffen. Hierzu könnten Daten drohnen-gestützter LiDAR-, Multi- und Hyperspektralsensorik eingesetzt, integriert und eine multisensorale Analyse dieser Daten vorgenommen werden. Ebenfalls könnten Verfahren (mechanisch/chemisch) für die kleinräumige Unkrautbekämpfung weiterentwickelt werden. Die Entscheidung, wann welche Pflanzen mit welcher Methode zu behandeln sind, könnte mit einem wissensbasierten Management der Ackerbegleitflora unterstützt werden.

8 Zusammenfassung

Entlang der Standorte, folgend dem Bodenartgradienten, von ertragsreichen Lehmschluffen bis hin zu ertragsärmeren Lehmsanden kann eine Nmin Reduktion durch ZF nur unter sehr guten Anbaubedingungen (z.B. ausreichend Niederschlag und frühe Aussaat der ZF, Etablierung eines C:N-Verhältnis der ZF und Mulchmaterial > 30), wie in 2017/2018 vorherrschte, möglich sein. Dadurch kann ausreichend Biomasse (> 2 t/ha TM) der ZF gebildet werden und dementsprechend sich eine mächtige Mulchauflage etablieren, welche deutlich das Unkraut unterdrücken kann. Weiterhin konnte in Kombination mit der von uns gewählten mechanischen Unkrautregulierung (Rollstriegel) ein einsatzfähiger effizienter Verbund (H-Sensor – Umwandlung von Sensorsignal in Steuersignal – Automatisches Absenken und Ausheben des Rollstriegels) etabliert werden. Darüber hinaus wurde erfolgreich im

Untersuchungsjahr 2021 die teilflächenspezifische Unkrautregulierung in Echtzeit zu etabliert, auf andere Methoden der mechanischen Unkrautregulierung übertragen und der konstruierte Verbund weiter entwickelt (praxisnahes „Upscaling“ von Versuchspartellen auf Schlagebene). Es konnte weiterhin gezeigt werden, dass die TM-Kornträge und Ertragsqualität (z.B. Protein) im Vergleich zwischen mechanischer Unkrautregulierung (via Rollstriegel, mindestens 3 Überfahrten) und Herbizideinsatz in den Jahren 2018-2020 sich nicht signifikant unterscheiden. Wenn der Anbau der Zwischenfrucht in der gesamten Fruchtfolge gelingt und die Förderung erfolgt, schneidet die Variante der mechanischen Unkrautregulierung mindestens gleich gut oder sogar ökonomischer ab. Weiterhin zeigt die ökonomische Betrachtung erstaunlich geringe Unterschiede zwischen DS und MS, trotz signifikant geringerer Erträge in der DS.

9 Veröffentlichungen

10/2020: Bauern Zeitung. Biologie und Technik im Verbund

01/2021: Lumbrico. Zwischenfruchtanbau und Sensorsteuerung zur teilflächenspezifischen mechanischen Unkrautregulierung

02/2022: Journal of cultivated plant (eingereicht). Do we need intercrops for successful weed suppression - if we have mechanical and herbicidal approaches?

Literaturverzeichnis

- BÄRBERI, P., MAZZONCINI, M. (2001): Changes in weed community composition as influenced by cover crop and management system in continuous corn. *Weed Science* 49(4), 491-499.
- BÄRBERI, P. (2002): Weed management in organic agriculture: are we addressing the right issues? *Weed research* 42(3), 177-193.
- BASTIANELLI, D., GROSJEAN, F., PEYRONNET, C., DUPARQUE, M., REGNIER, J.M. (1998): Feeding value of pea (*Pisum sativum*, L.) 1. Chemical composition of different categories of pea. *Animal Science* 67, 609-619.
- BERBEĆ, A., FELEDYN-SZEWCZK, B. (2018) Biodiversity of weeds and soil seed bank in organic and conventional farming systems. *Research for Rural Development* 2, 12-18.
- BLOCH, R., WECHSUNG, F., HEß, J., BACHINGER, J. (2015): Climate change impacts of legume-grass swards: implications for organic farming in the Federal State of Brandenburg, Germany. *Regional environmental change* 15, 405-414.
- BMEL. (2018): Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft. Erntebericht 2018. <https://www.bmel.de/DE/Landwirtschaft/Pflanzenbau/Ackerbau/Texte/Ernte2018.html> 1-28.
- CARR, P. M., GARDNER, J. J., SCHATZ, B. G., ZWINGER, S. W., GULDAN, S. J. (1995): Grain yield and weed biomass of a wheat-lentil intercrop. *Agronomy Journal* 87(3), 574-579.
- DEBROY, J. P. D. B. S., SARKAR, D. (2010): the R Development Core Team. 2010. nlme: linear and nonlinear mixed effects models. R package version 3, 1–97.
- DAVIS, A.S., HILL, J.D., CHASE, C.A., JOHANNIS, A.M., LIEBMAN, M. (2012): Increasing cropping system diversity balances productivity, profitability and environmental health. *PLoS ONE* 7(10), e47149.
- FAO STAT. (2019): Food and Agriculture Organization of the United Nations, Statistics Division. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>
- FOLEY, R.C., GAO, L.L., SPRIGGS, A., SOO, L.Y., GOGGIN, D.E., SMITH, P.M., SINGH, K.B. (2011): Identification and characterisation of seed storage protein transcripts from *Lupinus angustifolius*. *BMC Plant Biology* 11, 59.
- GENTSCH, N., BOY, J., KENNEDY BATALLA, J.D., HEUERMANN, D., VON WIREN, N., SCHWENEKER, D., FEUERSTEIN, U., GROß, J., BAUER, B., REINHOLD-HUREK, B., HURREK, T., CESPEDES, F.C., GUGGENBERGER, G. (2020): Catch crop diversity increases carbon input and microbial biomass. *Biology and Fertility of Soils* 56, 943-957.
- GERHARDS, R., & OEBEL, H. (2007): Practical experiences with a system for site-specific weed control in arable crops using real-time image analysis and GPS-controlled patch spraying. *Weed research*, 46(3), 185-193.
- GRUBINGER, V. P., MINOTTI, P. L. (1990): Managing white clover living mulch for sweet corn production with partial rototilling. *American Journal of Alternative Agriculture*, 4-12.
- HEIBENHUBER, A., HABER, W., KRÄMER, C. (2015): 30 Jahre SRU-Sondergutachten" Umweltprobleme der Landwirtschaft"-eine Bilanz.
- HILTBRUNNER, J., LUGINBÜHL, C., BUCHMANN, U., HERZOG, C., HUNZIKER, H., SCHERRER, C. (2012): Mechanical control of weeds within the crop row of organically grown soybeans. *Julius-Kühn-Archiv* (434), 251.
- IGBASAN, F.A., GUENTER, W., WARKENTIN, T.D., MCANDREW, D.W. (1996): Protein quality of peas as influenced by location, nitrogen application and seed inoculation. *Plant foods for human nutrition* 49, 93-105.
- JENSEN, E. S. (1996): Grain yield, symbiotic N₂ fixation and interspecific competition for inorganic N in pea-barley intercrops. *Plant and soil* 182(1), 25-38.
- JOBST, F., DEMMEL, M., URBATZKA, P. (2015): Mechanische Beikrautregulierung im ökologischen Sojaanbau.
- KLEMCKE, S., GLENDE, S., ROHN, S. (2013): The Revitalization of domestic Grain legumes Consumer survey for General purchase behavior as well as for image evaluation of Legumes. *Ernährungs Umschau* 60, 52-57.
- KRUIDHOF, H. M., BASTIAANS, L., KROPFF, M. J. (2008): Ecological weed management by cover cropping: effects on weed growth in autumn and weed establishment in spring. *Weed research* 48(6), 492-502.
- KRUPA, U. (2008): Main nutritional and antinutritional compounds of bean seeds-a review. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences* 58, 149-155.

- KÖPKE, U., NEMECEK, T. (2010): Ecological services of faba bean. *Field crops research* 115, 217-233.
- MACARULLA, M.T., MEDINA, C., DE DIEGO, M.A., CHAVARRI, M., ZULET, M.Á., MARTÍNEZ, J.A., PORTILLO, M.P. (2001): Effects of the whole seed and a protein isolate of faba bean (*Vicia faba*) on the cholesterol metabolism of hypercholesterolaemic rats. *British Journal of Nutrition* 85, 607-614.
- MACHLEB, J., KOLLEND, B., PETEINATOS, G., GERHARDS, R. (2018): Adjustment of Weed Hoeing to Narrowly Spaced Cereals. *Agriculture* 8(4), 54.
- MASSUCATI, L. F. P., KÖPKE, U. (2011): Faba bean (*Vicia faba* L.): response to occasional direct seeding into straw residues under temperate climate conditions. In *Organic is Life-Knowledge for Tomorrow*, pp. 198-201.
- MASSUCATI, L. F. P. (2013): Temporäre Direktsaat von Ackerbohnen (*Vicia faba* L.) im Ökologischen Landbau. *Schriftenreihe des Instituts für Organischen Landbau*, Bonn, Verlag Köster 1-174.
- MIYAZAWA, K., MURAKAMI, T., TAKEDA, M., MURAYAMA, T. (2010): Intercropping green manure crops—effects on rooting patterns. *Plant and soil* 331(1-2). 231-239.
- MÜNZE, R., ORLINSKIY, P., GUNOLD, R., PASCHKE, A., KASKE, O., BEKETOV, M. A., HUNDT, M., BAUER, C., SCHÜÜRMAN, G., MÖDER, M., LIESS, M. (2015): Pesticide impact on aquatic invertebrates identified with Chemcatcher® passive samplers and the SPEARpesticides index. *Science of The Total Environment* 537, 69-80.
- NEMECEK, T., VON RICHTHOFEN, J.S., DUBOIS, G., CASTA, P., CHARLES, R., PAHL, H. (2008): Environmental impacts of introducing grain legumes into European crop rotations. *European journal of agronomy* 28, 380-393.
- NEUHAUS, C., GEILFUS, C. M., MÜHLING, K. H. (2014): Increasing root and leaf growth and yield in Mg-deficient faba beans (*Vicia faba*) by MgSO₄ foliar fertilization. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 177(5), 741-747.
- PEIGNÉ, J., BALL, B. C., ROGER-ESTRADE, J., DAVID, C. (2007): Is conservation tillage suitable for organic farming? A review. *Soil use and management* 23(2), 129-144.
- Pekrun, C., Claupein, W. (2006): The implication of stubble tillage for weed population dynamics in organic farming. *Weed Research* 46(5), 414-423.
- Peterson, P.R., Sheaffer, C.C., Hall, M. (1992): Drought effects on perennial forage legume yield and quality. *Agron Journal* 84, 774-779.
- PINHEIRO, J., BATES, D., DEBROY, S., SARKAR, D. (2018): the R Core team (2008) nlme: linear and nonlinear mixed effects models. R package version 3.
- PREISSEL, S., RECKLING, M., SCHLÄFKE, N., ZANDER, P. (2015): Magnitude and farm-economic value of grain legume pre-crop benefits in Europe: a review. *Field Crops Research* 175, 64-79.
- RECKLING, M., BERGKVIST, G., WATSON, C. A., STODDARD, F. L., ZANDER, P. M., WALKER, R. L., PRISTERI A., TONCEA, I., BACHINGER, J. (2016): Trade-offs between economic and environmental impacts of introducing legumes into cropping systems. *Frontiers in plant science* 7, 669.
- RECKLING, M., DÖRING, T. F., BERGKVIST, G., STODDARD, F. L., WATSON, C. A., SEDDIG, S., CHMIELEWSKI, F. M., BACHINGER, J. (2018): Grain legume yields are as stable as other spring crops in long-term experiments across northern Europe. *Agronomy for sustainable development* 38(6), 63.
- ROGERS, A., AINSWORTH, E. A., LEAKEY, A. D. (2009): Will elevated carbon dioxide concentration amplify the benefits of nitrogen fixation in legumes? *Plant Physiology* 151(3), 1009-1016.
- RÜHLEMANN, L., SCHMIDTKE, K., BELLINGRATH-KIMURA, S.D. (2015): Short-term effects of differentiated tillage on dry matter production and grain yield of Autumn and Spring sown grain legumes grown monocropped and intercropped with cereal grains in organic farming. *Plant Production Science* 18, 76-92.
- RÜHLEMANN, L., SCHMIDTKE, K. (2015): Evaluation of monocropped and intercropped grain legumes for cover cropping in no-tillage and reduced tillage organic agriculture. *European Journal of Agronomy* 65, 83-94.
- RÜHLEMANN, L., SCHMIDTKE, K. (2016): The suitability of non-legume cover crops for inorganic soil nitrogen immobilisation in the transition period to an organic no-till system. *Plant Production Science* 19(1), 105-124.
- Schappert, A., Schumacher, M., Gerhard, R. (2019): Seed Control Ability of Single Sown Cover Crops Compared to Species Mixtures. *Agronomy* 9, 294.
- SCHMIDT, H., WILD, M. (2013): Faktoren des Körnererbsenertrages in der Ökolandbaupraxis. *Tagungsband der 12. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau* 98.

- SCHUMACHER, H., PAULSEN, H.M., GAU, A.E., LINK, W., JÜRGENS, H.U., SASS, O., DIETERICH, R. (2011): Seed protein amino acid composition of important local grain legumes *Lupinus angustifolius* L., *Lupinus luteus* L., *Pisum sativum* L. and *Vicia faba* L.. *Plant breeding* 130, 156-164.
- SOANE, B.D., BALL, B.C., ARVIDSSON, J., BASCH, G., MORENO, F., ROGER-ESTRADE, J. (2012): No-till in northern, western and south-western Europe: A review of problems and opportunities for crop production and the environment. *Soil & Tillage Research* 118, 66-87.
- SPRENT, J. I. (2009): Legume nodulation: a global perspective. John Wiley & Sons. Inc., Indianapolis, Indiana.
- STEER, B. T., HOCKING, P. J., LOW, A. (1985): Nitrogen nutrition of sunflower (*Helianthus annuus* L.): concentrations, partitioning between organs and redistribution of N in seven genotypes in response to N supply. *Field Crops Research* 12, 17-32.
- STROTHMANN, W., RUCKELSHAUSEN, A., HERTZBERG, J., SCHOLZ, C., LANGSENKAMP, F. (2017): Plant classification with In-field-labeling for crop/weed discrimination using spectral features and 3D surface features from a multi-wavelength laser line profile system. *Computers and Electronics in Agriculture* 134, 79-93.
- TEASDALE, J. R., BESTE, C. E., POTTS, W. E. (1991): Response of weeds to tillage and cover crop residue. *Weed Science* 39(2), 195-199.
- TEASDALE, J. R., MOHLER, C. L. (2000): The quantitative relationship between weed emergence and the physical properties of mulches. *Weed Science* 48(3), 385-392.
- URBATZKA, P., DEMMEL, M., JOBST, F. (2017): Untersuchung verschiedener Techniken zur Beikrautregulierung beim Anbau von Soja.
- VOISIN, A. S., SALON, C., MUNIER-JOLAIN, N. G., NEY, B. (2002): Quantitative effects of soil nitrate, growth potential and phenology on symbiotic nitrogen fixation of pea (*Pisum sativum* L.). *Plant and soil* 243(1), 31-42.
- VON RICHTHOFEN, J. S., PAHL, H., NEMECEK, T., ODERMATT, O., CHARLES, R., CASTA, P., DUBOIS, G. (2006): Economic interest of grain legumes in European crop rotations. GL-Pro Report WP3 58.
- WATSON, C.A., RECKLING, M., PREISSEL, S., BACHINGER, J., BERGKVIST, G., KUHLMAN, T., ZANDER, P. (2017): Grain legume production and use in European agricultural systems. *Advances in Agronomy* 144, 235-303.
- WEIS, M., GUTJAHR, C., AYALA, V. R., GERHARDS, R., RITTER, C., SCHÖLDERLE, F. (2008): Precision farming for weed management: techniques. *Gesunde Pflanzen*, 60(4), 171-181.
- WITTEN, S., BÖHM, H., AULRICH, K. (2015): Effect of variety and environment on the contents of crude nutrients, lysine, methionine and cysteine in organically produced field peas (*Pisum sativum* L.) and field beans (*Vicia faba* L.). *Applied Agriculture and Forestry Research* 65, 205-216.
- WOLBER, D. M. (2014): Development of resistance of *Apera spica-venti* (L.) P. Beauv. (loose silky-bent) in Lower Saxony in 2013-also increasingly against Pinoxaden. *Julius-Kühn-Archiv* 443, 280-286.
- ZANDER, P., AMJATH-BABU, T.S., PREISSEL, S., RECKLING, M., BUES, A., SCHLÄFKE, N., MURPHY-BOKERN, D. (2016): Grain legume decline and potential recovery in European agriculture: a review. *Agronomy for sustainable development* 36, 1-20.

A 1 Anhang

In den Tabellen A1 bis A3 befindlich die LSD für Ertrag, Unkrautbiomasse und Unkrautdeckungsgrad dargestellt.

Tabelle A 1: Mittelwerte des Ertrags [t/ha] in der dreifaktoriellen ANOVA mit LSD durch Tukey-Test; A = Bodenbearbeitungsverfahren (RT, NT); B = Zwischenfrucht; C = Unkrautunterdrückungsmethode.

Faktor					Mittelwert	LSD (ABC_BvAC)
A	B	C				
		chemisch	mechanisch	ohne		
DS	mit	2.38	1.57	1.85	1.93	0.93
	ohne	1.89	1.24	1.56	1.56	0.93
MS	mit	2.29	1.85	1.57	1.57	0.93
	ohne	2.23	1.97	1.54	1.54	0.93
A						
DS		2.13	1.40	1.70	1.75	
MS		2.26	1.91	1.56	1.91	
B						
DS		2.33	1.71	1.71	1.92	
MS		2.06	1.60	1.55	1.74	
Mittelwert		2.20	1.66	1.63	1.83	
LSD (ABC_CvAB)		1.14	1.14	1.14		

Tabelle A 2: Mittelwerte der Unkrautbiomasse [t/ha] in der dreifaktoriellen ANOVA mit LSD durch Tukey-Test; A = Bodenbearbeitungsverfahren (MS, DS); B = Zwischenfrucht; C = Unkrautunterdrückungsmethode.

Faktor					Mittelwert	LSD (ABC_BvAC)
A	B	C				
		chemisch	mechanisch	ohne		
DS	mit	0.47	1.29	1.20	0.98	0.68
	ohne	0.63	1.63	1.49	1.25	0.68
MS	mit	0.43	1.07	1.23	0.91	0.68
	ohne	0.72	1.16	1.33	1.07	0.68
A						
DS		0.55	1.46	1.34	1.12	
MS		0.58	1.11	1.28	0.99	
B						
DS		0.45	1.18	1.21	0.95	
MS		0.68	1.39	1.41	1.16	
Mittelwert		0.56	1.29	1.31	1.05	
LSD (ABC_CvAB)		1.14	1.14	1.14		

Tabelle A 3: Mittelwerte der Unkrautdeckungsgrad [%] in der dreifaktoriellen ANOVA mit LSD durch Tukey-Test; A = Bodenbearbeitungsverfahren (MS, DS); B = Zwischenfrucht; C = Unkrautunterdrückungsmethode

Faktor					Mittelwert	LSD (ABC_BvAC)
A	B	C				
		chemisch	mechanisch	ohne		
DS	mit	18.16	26.37	22.94	22.49	
	ohne	25.02	28.97	29.88	27.96	
MS	mit	12.15	16.07	24.81	17.68	
	ohne	10.18	16.64	34.83	20.55	
A						
DS		21.59	27.67	26.41	25.22	26.92
MS		11.17	16.36	29.82	19.11	26.92
B						
DS		15.16	21.22	23.87	20.08	
MS		17.60	22.81	32.35	24.25	
Mittelwert		16.38	22.01	28.11	22.17	
LSD (ABC_CvAB)		42.12	42.12	42.12		



Abbildung 140: Direktsaatparzellen-Drillmaschine des ZAFT e.V. an der HTW Dresden, ausgestattet mit Cross Slot Säscharen (Foto: Schmidtke, 2015)



Abbildung 141: Cross Slot Sächar der Direktsaatparzellen-Drillmaschine mit pneumatischer Saatgutzuführung (Foto: Rühlemann, 2014)



Abbildung 142: Frontalansicht Cross Slot Säschar (links) sowie Profilansicht des Kreuzschlitzes nach der Saat (Fotos: Rühlemann, 2014)



Abbildung 143: Gemenge aus Ramtilk/ Rispenshirse der Versuchsanlage Ogrosen am 31. Oktober 2017 (Foto: Schmidtke, 2017)



**Abbildung 144:Gemeinde aus Rauhafer/Sommerroggen der Versuchsanlage Ogrosen am 31. Oktober 2017
(Foto: Schmidtke, 2017)**



**Abbildung 145:Gemeinde aus Rauhafer/Sommerroggen der Versuchsanlage Ogrosen am 31. Oktober 2017
(Foto: Schmidtke, 2017)**

Unkrautbrache

Rauhafer/Sommerroggen

Ramtillkraut/Rispenhirse



Abbildung 146: Zwischenfruchtbestände der Versuchsanlage Calau am 31. Oktober 2017 (Foto: Schmidtke, 2017)



Abbildung 147: Abgefrorener Zwischenfruchtbestand Ramtillkraut/Rispenhirse der Versuchsanlage Ogrosen am 16. März 2018 (Foto: Schmidtke, 2018)



Abbildung 148: Abgefrorener Zwischenfruchtbestand Rauhafer/Sommerroggen der Versuchsanlage Ogrosen am 16. März 2018 (Foto: Schmidtke, 2018)



Abbildung 149: Abgefrorener Bestand der Unkrautbrache der Versuchsanlage Ogrosen am 16. März 2018 (Foto: Schmidtke, 2018)



Abbildung 150: Mulchdecke aus Ramtillkraut/Rispenhirse (links) und Rauhafer/Sommerroggen (rechts) nach Direktsaat Erbse am Standort Ogrosen am 31. März 2018 (Foto: Schmidtke, 2018)



Abbildung 151: Mulchdecke aus Ramtkraut/Rispenhirse (links) und Rauhafer/Sommerroggen (rechts) nach Direktsaat Erbse am Standort Ogrosen am 31. März 2018 (Foto: Schmidtke, 2018)

