

Abschlussbericht

zum

Projekt

„Verbesserung der Nachhaltigkeit von Rapsanbausystemen durch die Etablierung abfrierender legumer Beisaaten“

Auftraggeber: Deutsche Bundesstiftung Umwelt
Aktenzeichen: 32175/01 - 34
Laufzeit: 01.08.2014 – 28.02.2017
Berichtszeitraum: 01.08.2014 – 28.02.2017
Projektleitung: Prof. Dr. Bernhard Carl Schäfer
Bearbeitung: M. Sc. Dorothee Kramps-Alpmann (bis 31.3.2016)
M. Sc Karoline Röper (ab 1.4.2016)
Projektpartner: P. H. Petersen Saatzucht Lundsgaard GmbH

Fachhochschule Südwestfalen Tel.: (02921) 378- 236 /-158
Fachbereich Agrarwirtschaft Fax: (02921) 378-200
Lübecker Ring 2 E-Mail: schaefer.bernhard-carl@fh-swf.de
59494 Soest kramps-alpmann.dorothee@fh-swf.de
karoline.roeper@fh-swf.de

Soest, 27.02.2017

Projektkennblatt
der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt



| | | | | | |
|----|-----------------|---------|-----------|-------------|------------------|
| Az | 32175-34 | Referat | 34 | Fördersumme | 124.811 € |
|----|-----------------|---------|-----------|-------------|------------------|

Antragstitel: Verbesserung der Nachhaltigkeit von Rapsanbausystemen durch die Etablierung abfrierender legumer Beisaaten

Stichworte Raps, Leguminosen, Beisat

| Laufzeit | Projektbeginn | Projektende | Projektphase(n) |
|------------------|-------------------|-------------------|-----------------|
| 30 Monate | 01.08.2014 | 28.02.2017 | 1 |

Zwischenberichte 1

| | | | |
|------------------------------|--------------------------------|------------------------|--|
| Bewilligungsempfänger | Fachhochschule Südwestfalen | Tel 02921/ 378 - 236 | |
| | Kanzler | Fax 02921/ 378-200 | |
| | Herrn Heinz-Joachim Henkemeier | Projektleitung | |
| | Baarstr. 6 | Hr. Prof. B.C. Schäfer | |
| 58636 Iserlohn | Bearbeiter | | |
| | | Fr. K. Röper | |
| | | Fr. D. Kramps-Alpmann | |

Kooperationspartner P. H. Petersen Saatzucht Lundsgaard GmbH
Streichmühler Str. 8a
24977 Grundhof

Zielsetzung und Anlaß des Vorhabens

Insbesondere mit Blick auf die hohen N-Aufwendungen, die die THG-Bilanz des Rapsanbaus belasten, wird dessen Nachhaltigkeit diskutiert. Das dargestellte Anbauverfahren mit abfrierenden legumen Beisaaten bietet das Potential die Einhaltung der in verschiedenen Verordnungen geforderten Nachhaltigkeitsstandards beim Rapsanbau zu verbessern.

Hypothesen und Ziele:

Die Etablierung von abfrierenden legumen Beisaaten im Winterraps bewirkt,

- eine Fixierung von atmosphärischem N im Herbst und eine Verringerung des N-Düngebedarfs zum Raps im Frühjahr. Ziel ist die mineralische N-Düngung um mindestens 30 kg/ha zu reduzieren.
- eine Bindung von überschüssigem Bodenstickstoff in der organischen Pflanzenmasse, welche den Stickstoff vor Auswaschung bewahrt und das Grundwasser schont.
- eine Erhöhung des Rapsertages, bei verringertem Betriebsmittelaufwand.
- eine schnelle Bodenbedeckung im Herbst, folglich eine Reduktion des Unkrautdrucks und die Möglichkeit den Herbizideinsatz zu verringern.

Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

Nicht winterharte Leguminosen werden zeitgleich mit dem Raps ausgesät. Während des Herbstes etablieren sich die Leguminosen gemeinsam mit dem Raps und fixieren symbiotisch Luftstickstoff, bevor sie im Winter durch Frosteinwirkung absterben. Der Raps entwickelt sich im Frühjahr allein weiter und nutzt die positiven Effekte der abgefrorenen legumen Beisat zur Ertragsbildung.

Auf Standorten in Nordrhein-Westfalen und Schleswig-Holstein werden in zwei Versuchsserien

1. geeignete Arten und Mischungen sowie die Herbizidverträglichkeit geprüft. In einer parallelen
2. Versuchsserie werden die Wechselwirkungen von Beisaaten, Herbizideinsatz und N-Düngung auf die Ertragsstruktur und Qualität des Winterrapses sowie auf die o. g. Umweltwirkungen untersucht.

Ergebnisse und Diskussion

Ziel der Untersuchungen ist es durch die Etablierung legumer, frostempfindlicher Beisaaten bei der Rapsaussaat, den Stickstoffdüngungsbedarf ohne Ertragseinbußen um mindestens 30 kg/ha zu reduzieren und gleichzeitig durch eine bessere Bodenbedeckung auf eine Herbizidmaßnahme verzichten zu können. Darüber hinaus sollen die Beisaaten überschüssigen Bodenstickstoff in der organischen Pflanzenmasse binden und den Stickstoff vor Auswaschung bewahren.

In Soest hatte keine der geprüften Varianten Einfluss auf den Raps-ertrag, während sich in Lundsgaard zeigte, dass die Referenz-Varianten ohne Beisaaten 2015 mit zunehmender N-Düngung einen signifikanten Mehrertrag gegenüber den Beisaat-Varianten aufweisen. In 2016 wird mit der Düngung nach Sollwert bereits der Höchstertrag erreicht. Da in Soest auch die N-reduzierten Referenzvarianten keinen Minderertrag verzeichneten, ist davon auszugehen, dass der Raps aufgrund des hohen Mineralisationspotentials des Standortes auch in diesen Varianten noch ausreichend mit Stickstoff versorgt war. In Lundsgaard hingegen, ist das Mineralisationspotential des Bodens deutlich reduziert, sodass der Raps 2015 auch die über den Sollwert hinausgehende N-Gabe noch in Mehrertrag umsetzt. Die Beisaaten in Lundsgaard konnten die reduzierte N-Düngung nicht ausgleichen, da nicht ausreichend Biomasse gebildet werden konnte, um eine ausreichende N-Bindung zu realisieren.

Obwohl sich das dargestellte Versuchsjahr durch einen milden Herbst, der noch lange vegetatives Wachstum zuließ kennzeichnete, konnte 2015 durch die späte Aussaat des Versuches insbesondere in Lundsgaard eine optimale Biomasseentwicklung der Beisaaten nicht mehr gewährleistet werden. Auch durch die Aussaat zum normalen Rapstermin 2015/ 2016 konnte eine deutliche Verbesserung nicht erreicht werden. Grundsätzlich ist ein noch früherer Aussaattermin anzustreben, um den legumen Beisaaten ausreichend Entwicklungszeitraum zu geben und eine höhere N-Bindung in den Beisaaten realisieren zu können.

Bei insgesamt geringerem Unkrautdruck am Standort Soest scheinen die Beisaaten im Vergleich zur unbehandelten Raps-Solo Variante gemessen an der Unkraut-Biomasse eine unkrautunterdrückende Wirkung zu besitzen. In Lundsgaard konnte sich, bei höherem Unkrautdruck insbesondere die Erdklee-Variante behaupten, dies reichte jedoch nicht aus, um eine Pflanzenschutzmaßnahme zu ersetzen. Auch hier könnte sich eine bessere Biomasseentwicklung der Beisaaten durch einen früheren Saattermin als förderlich erweisen.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Im dargestellten Versuchszeitraum wurde im niedersächsischen Wochenblatt Land und Forst ein Beitrag mit ersten Ergebnissen eingereicht. Ein weiterer Beitrag ist für das Frühjahr 2017 in der Zeitschrift Topagrar geplant. Ferner wurden die Ergebnisse in den Fachgruppen der UFOP vorgestellt und diskutiert.

Die Versuchsflächen wurden den Studierenden der Fachhochschule Südwestfalen und den Besuchern des angehörigen Versuchsgutes im Rahmen von Exkursionen vorgestellt und erläutert.

Fazit

Innerhalb der beiden Versuchsjahre konnten für die Standorte Soest und Lundsgaard erste Ergebnisse bezüglich der Eignung von Raps-Beisaaten zur Optimierung der Nachhaltigkeit des Rapsanbaus erzielt werden. Hierbei konnten zwischen den beiden Versuchsstandorten Unterschiede im Stickstoffmineralisationspotential festgestellt werden. Dennoch konnte an keinem Standort ein nennenswerter Beitrag der legumen Beisaaten zur N-Düngung und an sonstigen Einsparmöglichkeiten festgestellt werden. Die Ursachen werden diskutiert und müssen in weiteren Untersuchungen geklärt werden.

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|----|
| Abbildungsverzeichnis | II |
| Tabellenverzeichnis..... | IV |
| Abkürzungsverzeichnis..... | V |
| 1 Zusammenfassung..... | 1 |
| 2 Anlass und Zielsetzung des Projektes..... | 1 |
| 2.1 Stand des Wissens | 2 |
| 3 Arbeitsschritte und angewandte Methoden..... | 6 |
| 3.1 Raps-Beisaaten Druschversuch | 7 |
| 3.2 Raps-Beisaaten-Herbizidscreening | 8 |
| 3.3 Probenahme und statistische Auswertung..... | 9 |
| 4 Ergebnisse | 9 |
| 4.1 Raps-Beisaaten-Druschversuch..... | 9 |
| 4.1.1 Ergebnisse zu Vegetationsende..... | 9 |
| 4.1.2 Ergebnisse zu Vegetationsbeginn..... | 23 |
| 4.1.3 Ernteergebnisse..... | 26 |
| 4.2 Raps-Beisaaten-Herbizidscreening | 29 |
| 5 Diskussion..... | 30 |
| 5.1 Welche Leguminosen(-gemenge) eignen sich für die Beisat am besten?..... | 30 |
| 5.2 Wie reagiert der Raps (Ertrag/Qualität) auf die Beisat?..... | 31 |
| 5.3 Wie viel mineralischer Stickstoff kann durch die legumen Beisaaten zum Raps eingespart werden und welche THG-Reduktion kann dadurch erzielt werden? | 32 |
| 5.4 Kann der Herbizidaufwand tatsächlich reduziert werden? | 33 |
| 5.5 Wie ist die Beisat ökonomisch zu bewerten?..... | 33 |
| 6 Öffentlichkeitsarbeit..... | 33 |
| 7 Literaturverzeichnis..... | 34 |
| Anhang | 36 |

Abbildungsverzeichnis

| | |
|--|----|
| Abbildung 1: Rapsfrischmasse (g/m^2) auf zwei Standorten zu verschiedenen Entwicklungsstadien, bei variierenden Beisaaten und entsprechender N-Düngung (verändert nach: Cetiom 2012)..... | 3 |
| Abbildung 2: Einfluss einer Beisaat zum Raps mit dem Gemenge aus Saatplatterbse, Bockshornklee und Linse (rechts) auf die Entwicklung von Storchschnabel im Vergleich zu einem Raps ohne Beisaat (links) (verändert nach: CETIOM 2010)..... | 4 |
| Abbildung 3: Einfluss einer Untersaat zum Raps auf die Deckungsgrade (DG) der Kultur, der Untersaat und des Unkrautes im Vergleich zu einem Raps ohne Untersaat Beisaat (links); BACHINGER et al. 2007 | 5 |
| Abbildung 4: Raps-Biomasse (TM dt/ha) zu Vegetationsende 2014 und 2015 an den Standorten Soest und Lundsgaard (2014 Lundsgaard GD 5% Variante = 2,64 dt/ha TM, Soest ohne Statistik, 2015 GD 5% Ort = 1,33 dt/ha TM, GD 5% Variante und GD 5% Ort x Variante = n.s.) | 10 |
| Abbildung 5: N-Gehalt der Raps-Biomasse zu Vegetationsende 2014 und 2015 an den Standorten Soest und Lundsgaard (2015 GD 5% Ort = 0,11%N, GD 5% Variante= n.s., GD 5% Variante x Ort = n.s.) | 11 |
| Abbildung 6: N-Gehalt der Beisaaten-Biomasse zu Vegetationsende 2014 und 2015 an den Standorten Soest und Lundsgaard (2014 Mittelwert \pm SD, 2015 GD5% Ort x Variante = 0,6 % N) | 13 |
| Abbildung 7: In der oberirdischen Beisaaten-Biomasse gebundene N-Menge zu Vegetationsende 2014 und 2015 (2015 GD5% Ort x Variante = 4,3 kg/ha N) | 14 |
| Abbildung 8: kumulierter Kulturdeckungsgrad von Raps und Beisaaten an den Standorten Soest und Lundsgaard zu Vegetationsende (GD5% Standort*Variante*Jahr = 9,2%) | 15 |
| Abbildung 9: Kulturdeckungsgrad (%) zu Vegetationsende am Standort Soest und Lundsgaard nach Raps und Beisaaten getrennt.(2015 GD 5% KDG Raps Ort x Beisaat =11,3%; GD 5% KDG Beisaat Ort x Beisaat = 4,7%) | 16 |
| Abbildung 10: Unkraut-Biomasse (FM) zu Vegetationsende 2014 und 2015 an den Standorten Soest und Lundsgaard | 18 |
| Abbildung 11: Wurzelhalsdurchmesser (mm) der Rapspflanzen zu Vegetationsende 2014 und 2015 an den Standorten Soest und Lundsgaard in Abhängigkeit der Beisaatvarianten. (2014 ohne WDH, 2015 GD5% Ort*Variante = 1,4 mm) | 19 |
| Abbildung 12: Sprossachsenlänge (mm) der Rapspflanzen zu Vegetationsende 2014 und 2015 an den Standorten Soest und Lundsgaard in Abhängigkeit der Beisaatvarianten. (2014 ohne WDH, 2015 GD5% Ort*Variante = 1,8 mm) | 20 |
| Abbildung 13: Nmin-Werte (kg N/ha) zu Vegetationsende in Soest (2014 und 2015) und Lundsgaard (2015) (2015/16: GD5% Ort 0-30cm = 1,0 kg/ha N; GD5% Ort 30-60cm = 0,6 kg/ha N; GD5% Ort 60-90cm = 0,8 kg/ha N; GD5% Ort 0-90cm = 1,7 kg/ha N; alle anderen Haupt und Wechselwirkungen = n.s.)..... | 22 |
| Abbildung 14: Raps-Biomasse (TM) zu Vegetationsbeginn 2015 an den Standorten Soest und Lundsgaard (2014/15 Lundsgaard GD 5 % Variante = 2,8 dt/ha TM)(2015/16 GD 5% Ort x Variante =4,6 dt/ha TM) | 24 |
| Abbildung 15: N-Gehalt der Raps-Biomasse zu Vegetationsbeginn 2015 und 2016 an den Standorten Soest und Lundsgaard (Lundsgaard 2014/15 GD5% Variante = n.s.; 2015/16 GD5% Variante x Ort =0,37%)..... | 25 |

| | |
|--|-----------|
| Abbildung 16: N_{min}-Gehalte im Boden 0-90 cm an den Standorten Soest und Lundsgaard zu Vegetationsbeginn im Mittel der Versuchsjahre 2014/15 und 2015/16 (GD5% Ort x Variante 5,7 kg/ha N_{min} 0-90 cm)..... | 26 |
| Abbildung 17: Rapsertag (9% Feuchte) an den Standorten Soest und Lundsgaard (GD 5 % Jahr * Standort * Variante = 4,4 dt/ha)..... | 26 |
| Abbildung 18: Ölgehalt des Rapses im Mittel der Erntejahre 2014/15 und 2015/16 (GD 5 % Standort * Variante = 0,6%)..... | 28 |
| Abbildung 19: Ölertrag (kg/ha Öl) an den Standorten Soest und Lundsgaard (GD 5 % Jahr * Standort * Variante = 228 kg/ha)..... | 28 |
| Abbildung 20: Einzelne Saatwickeln im Rapsbestand in Soest am 03.07.2015 | 30 |
| Abbildung 21: Erdklee unterhalb des Rapsbestandes in Soest am 03.07.2015 | 31 |
| Abbildung 22: Rapsertag am Standort Soest in Abhängigkeit von der Höhe der N-Düngung in den Jahren 2014-2016 im Projekt Klimafarm (SCHÄFER et. al. 2017) | 32 |

Tabellenverzeichnis

| | |
|--|----|
| Tabelle 1: Standortbeschreibungen | 6 |
| Tabelle 2: Variantenplan Druschversuch | 7 |
| Tabelle 3: Variantenplan Herbizid-Screening | 8 |
| Tabelle 4: Biomasseerträge (dt/ha TM) der Beisaaten zu Vegetationsende 2014 und 2015 an den Standorten Soest und Lundsgaard (Lundsgaard 2014/15 GD5% Variante =0,8 dt/ha TM, 2015/16 GD 5% Ort * Variante =2,1 dt/ha TM) | 12 |
| Tabelle 5: Kulturdeckungsgrad (%) der Beisaaten am Standort Soest zu Vegetationsende 2014, aufgegliedert nach ihren Komponenten | 17 |
| Tabelle 6: Kulturdeckungsgrad (%) der Beisaaten am Standort Soest zu Vegetationsende 2015, aufgegliedert nach ihren Komponenten | 17 |
| Tabelle 7: Kulturdeckungsgrad (%) der Beisaaten am Standort Lundsgaard Vegetationsende 2015, aufgegliedert nach ihren Komponenten | 17 |
| Tabelle 8: Zusammenhang zwischen Raps-, Beisat- und Unkrautbiomasse (FM) zu Vegetationsende 2014 und 2015 an den Standorten Soest und Lundsgaard | 19 |
| Tabelle 9: Durchschnittlicher „Stand nach Winter“ von Raps und Beisaaten zu Vegetationsbeginn | 23 |
| Tabelle 10: Phytotox-Bonitur in Lundsgaard zu Vegetationsende 2014 (1 = keine Schäden; 9 = abgestorbene Pflanzen)..... | 29 |
| Tabelle 11: Bonitur- und Arbeitstermine an den Standorten in den Jahren 2014/15 und 2015/16..... | 36 |

Abkürzungsverzeichnis

| | |
|-----|--|
| AB | Ackerbohne (<i>Vicia faba</i> L.) |
| AXK | Alexandrinerklee (<i>Trifolium alexandrinum</i> L.) |
| BHK | Bockshornklee (<i>Trigonella foenum graecum</i> L.) |
| EK | Erdklee (<i>Trifolium subterraneum</i> L.) |
| FE | Futtererbse (<i>pisum sativum</i> L.) |
| FL | Futterlinse (<i>Lens culinaris</i>) |
| GD | Grenzdifferenz |
| KDG | Kulturdeckungsgrad |
| RW | Rotwicke (<i>Vicia angustifolia</i>) |
| SPE | Saatplatterbse (<i>Lathyrus sativus</i> L.) |
| SW | Saatwicke (<i>Vicia sativa</i> L.) |
| SW | Sollwert |
| UKG | Unkrautdeckungsgrad |
| VB | Vegetationsbeginn |
| VE | Vegetationsende |
| WK | Weißklee (<i>Trifolium repens</i> L.) |

1 Zusammenfassung

Ziel des Projektes ist es durch die Etablierung legumer, frostempfindlicher Beisaaten bei der Rapsaussaat, den Stickstoffdüngungsbedarf im Folgejahr ohne Ertragseinbußen um mindestens 30 kg/ha zu reduzieren und gleichzeitig durch eine bessere Bodenbedeckung auf eine Herbizidmaßnahme verzichten zu können. Darüber hinaus sollen die Beisaaten überschüssigen Bodenstickstoff in der organischen Pflanzenmasse binden und den Stickstoff vor Auswaschung bewahren.

Bei insgesamt geringem Unkrautdruck am Standort Soest haben die Beisaaten 2014/15 im Vergleich zur unbehandelten Raps-Solo Variante gemessen an der Unkraut-Biomasse eine unkrautunterdrückende Wirkung gezeigt, 2015/16 konnte dieser Effekt nicht beobachtet werden. In Lundsgaard konnte sich, bei höherem Unkrautdruck in beiden Jahren insbesondere die Erdklee-Variante behaupten.

Die legumen Beisaaten haben mit einer Schwankungsbreite von 5 bis 33 kg N/ha in Abhängigkeit von Standort und Jahr unterschiedlich viel Stickstoff in der oberirdischen Biomasse gebunden. Eine Beeinflussung des Boden- N_{\min} -Wertes durch die Leguminosen konnte im Herbst nicht festgestellt werden. In Lundsgaard konnten in beiden Jahren keine Veränderungen des N_{\min} -Wertes ermittelt werden, in Soest weisen einzelne Varianten um 5-10 kg erhöhte Boden N_{\min} -Werte zu Vegetationsbeginn auf.

Während in Soest keine der geprüften Varianten Einfluss auf den Rapsertag hatte, zeigte sich in Lundsgaard, dass die Referenz-Varianten ohne Beisaaten insbesondere mit zunehmender N-Düngung einen signifikanten Mehrertrag gegenüber den Beisaat-Varianten aufweisen. Die Beisaaten konnten am Standort Lundsgaard weder die reduzierte N-Düngung noch die fehlende Pflanzenschutzmaßnahme kompensieren.

Als Ursache werden vor allem die noch nicht optimierten Aussattermine diskutiert.

2 Anlass und Zielsetzung des Projektes

Insbesondere mit Blick auf die hohen N-Aufwendungen, die die THG-Bilanz des Rapsanbaus belasten, wird dessen Nachhaltigkeit diskutiert. Mit dem in dem Projektvorhaben vorgesehenen Anbauverfahren soll die Nachhaltigkeit des Rapsanbaus verbessert werden.

In dem Projekt werden nicht winterharte Leguminosen zeitgleich mit dem Raps ausgesät. Während des Herbstes etablieren sich die Leguminosen gemeinsam mit dem Raps, bevor sie im Winter durch Frosteinwirkung absterben. Der Raps entwickelt sich im Frühjahr allein weiter und nutzt idealerweise die positiven Effekte der abgefrorenen legumen Beisaat zur Ertragsbildung.

Durch die Etablierung von abfrierenden legumen Beisaaten im Winterraps sollen folgende Ziele verfolgt werden:

- Fixierung von atmosphärischem N im Herbst und eine Verringerung des N-Düngebedarfs zum Raps im Frühjahr. Ziel ist die mineralische N-Düngung um mindestens 30 kg/ha zu reduzieren.
- Bindung von überschüssigem Bodenstickstoff in der organischen Pflanzenmasse, welche den Stickstoff vor Auswaschung bewahrt und das Grundwasser schont.
- Erhöhung des Rapsertages, bei verringertem Betriebsmittelaufwand.
- schnelle Bodenbedeckung im Herbst, folglich eine Reduktion des Unkrautdrucks und die Möglichkeit den Herbizideinsatz zu verringern.

2.1 Stand des Wissens

Der moderne Pflanzenbau basiert auf arten- und sortenreinen Beständen. Um hohe Erträge sicher zu erreichen, werden Einflüsse konkurrierender Arten möglichst gering gehalten. Mischbestände z.B. aus Getreide und Leguminosen werden nur selten, und wenn dann aufgrund umweltpolitischer Förderprogramme (LWK NRW 2013), im ökologischen Landbau oder in Low Input Systemen (AUFHAMMER et al. 2004) angebaut. Grundsätzlich sind diese Mischbestände anbautechnisch anspruchsvoller zu führen. Die Unkrautregulierung und die unterschiedliche Abreife erfordern eine sorgfältige Planung bei der Wahl der Mischungspartner. Zusätzlich können technische Probleme bei der Ernte und Nacherntebehandlung auftreten. Andererseits bieten Mischbestände von N-bedürftigen Arten mit Leguminosen die Möglichkeit die symbiontische N-Fixierung der Leguminosen zur Ertragsbildung der Mischungspartner zu nutzen. Dabei können die Gesamterträge von Zwei- oder Dreikomponentenmischungen von Getreide und Leguminosen die Erträge der jeweils leistungsfähigsten Komponente im Reinbestand übertreffen (AUFHAMMER et al. 2005 a, b). WERNER (1986) und KRAUME (1989) haben die Effekte von Unter- und Beisaaten auf Mais und Zuckerrüben untersucht und modellmäßig beschrieben. Beisaaten können eine deutliche Unkraut unterdrückende Wirkung entfalten. Ob eine Beisaat in der weiteren Entwicklung zur Konkurrenz der Hauptkultur wird, hängt davon ab wie stark sie sich entwickeln kann (WERNER 1986, KRAUME 1989).

Raps muss für eine optimale Ertragsbildung bereits vor dem Winter die für die Ertragsbildung erforderlichen Organe wie Seitentriebe und Blüten anlegen und im Winter weiter differenzieren. Das setzt vor Winter die Entwicklung von 6 - 8 Blättern mit einem Wurzelhalsdurchmesser von > 5 mm voraus (DIEPENBROCK 2006, SCHÄFER 2011). Wurzelhalsdurchmesser von 8 mm werden als optimal angesehen. Für eine sichere Überwinterungsfähigkeit sollten die Einzelpflanzen eine Sprosstrockenmasse von über einem Gramm erreichen (opt. 1,5 - 2,0 g TS) (MENDHAM & SCOTT 1975, SCHÄFER 2011). Dies kann auf den meisten Standorten bei einer Aussaat im August bei normalen Umwelt- und Konkurrenzbedingungen sicher erreicht werden, oft besteht sogar die Gefahr einer zu starken Entwicklung mit Beginn der Sprossachsenstreckung. Sprossachsenlängen über 20 mm sind ungünstig, da dann die Überwinterungsfähigkeit der Rapspflanzen deutlich herabgesetzt ist (DIEPENBROCK 2006). In vielen Anbaugebieten werden deshalb im Herbst Wachstumsregulatoren eingesetzt (ROSSBERG et al. 2002) oder die Aussaattermine nach hinten verlegt (SCHÄFER 2011).

Die optimale Terminierung der Aussaat ist heute vor dem Hintergrund verschiedener Entwicklungen sehr differenziert vorzunehmen. Der Klimawandel hat zu einer Verlängerung der Vegetationszeit geführt (MUNLV 2007), die sich auch im Herbst bemerkbar macht. Zudem ist zukünftig immer häufiger mit milden Wintertemperaturen zu rechnen, die ein Weiterwachsen des Rapses in der Zeit von November bis Februar wahrscheinlicher machen. Die Frohwüchsigkeit einiger Sorten, vor allem der Hybriden, eröffnet weitere Spielräume für die Aussaat (SCHÄFER 2011). Beides bietet Ansätze für die Entwicklung von Anbauverfahren für Raps mit abfrierenden legumen Beisaaten. Im Gegensatz zu den Mischungen von Körnerleguminosen mit Sommergetreide sind hier die Leguminosen nur als temporärer Mischungspartner bis zum ersten Frost erwünscht. Diesbezügliche Versuche mit Mischungen von Leguminosen mit Raps sind allerdings selten.

In Frankreich gibt es bereits erste, sehr vielversprechende Erfahrungen mit dem System der abfrierenden legumen Beisaat im Raps. Auch in England sowie parallel zum hier dargestellten Projekt in Thüringen (GRAF und GURGEL 2015) wird seit Kurzem an dem neuen Anbausystem geforscht.

In Abbildung 1 ist die Entwicklung der oberirdischen Frischmasse des Rapses dargestellt (CETIOM 2012). Während die durchgezogenen Linien die ungedüngten Varianten darstellen, wurden die gestrichelten Varianten gedüngt. Bei der Düngung wurde jedoch zwischen den Varianten differenziert. Im Vergleich zum Raps ohne Beisaat, wurde die zu den Varianten mit Leguminosenbeisaat gedüngte N-Menge um 30 kg/ha reduziert. In den Varianten mit Beisaaten präsentierte sich der Raps im Allgemeinen frohwüchsiger als in der Variante

ohne Beisat, obwohl die N-Düngung reduziert wurde. Diese Erfahrung konnte durch die Versuche in England, insbesondere in dünnen Rapsbeständen, bestätigt werden. Weiterhin wurde dort in den Varianten mit Beisat durchschnittlich ein größerer Wurzelhalsdurchmesser im Raps gemessen (FARMERS GUIDE 2014).

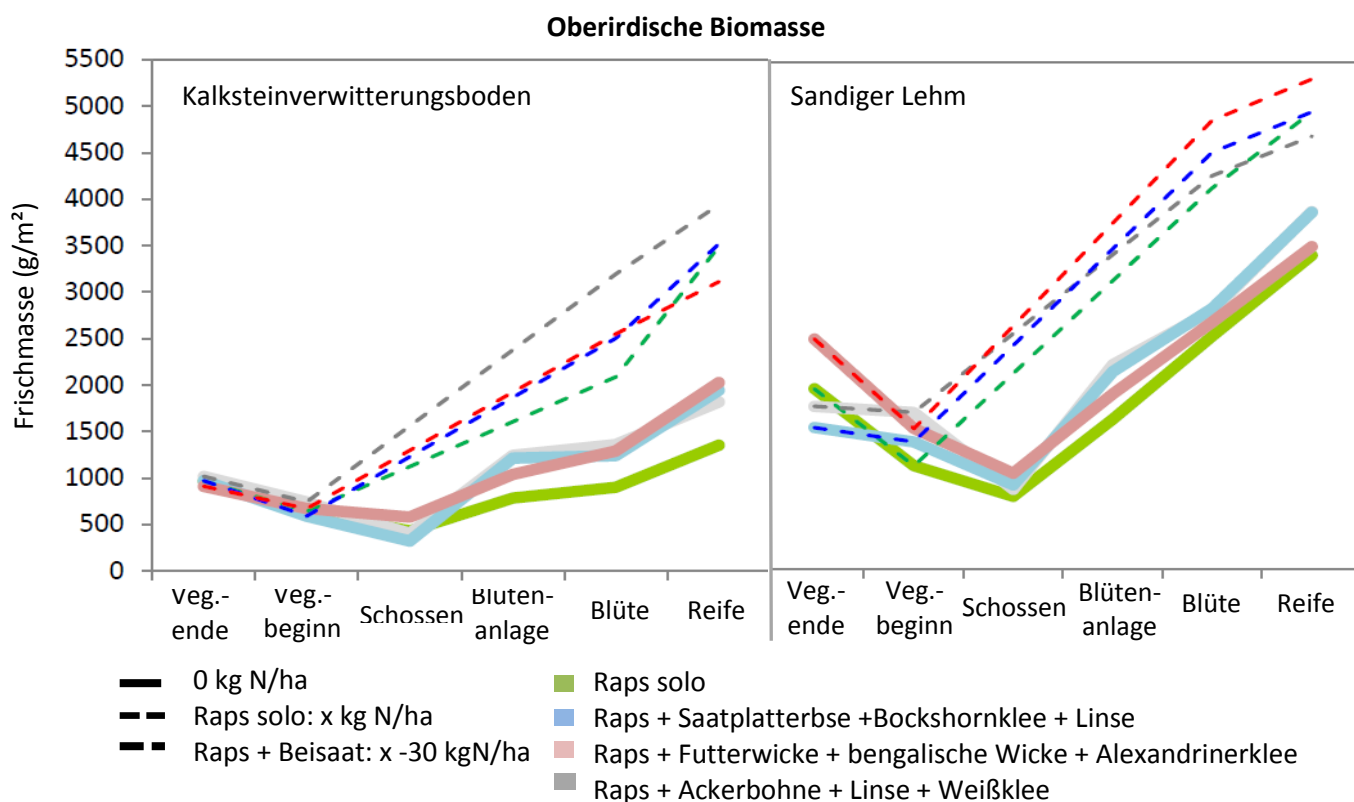


Abbildung 1: Rapsfrischmasse (g/m²) auf zwei Standorten zu verschiedenen Entwicklungsstadien, bei variierenden Beisaaten und entsprechender N-Düngung (verändert nach: Cetiom 2012)

Weitere Versuchsergebnisse deuten darauf hin, dass Raps in Kombination mit einer legumen Beisat das Potential hat 1-2 dt Mehrertrag bei einer gleichzeitig um 30 kg N/ha reduzierten N-Düngung zu erzielen. Eine Erklärung hierfür könnte in einer Erhöhung der Schotenzahl liegen (CETIOM 2012).

Darüber hinaus werden Effekte auf die Ackerbegleitkräuter erwartet. Abbildung 2 beschreibt, dass die Beisat zwar kaum Einfluss auf die Anzahl an Storchnabelpflanzen hat, deren Biomasseentwicklung jedoch durch die Beisat deutlich gehemmt wurde.

Einfluss der Rapsbeisat auf die Unkrautunterdrückung in Direktsaat (2009)

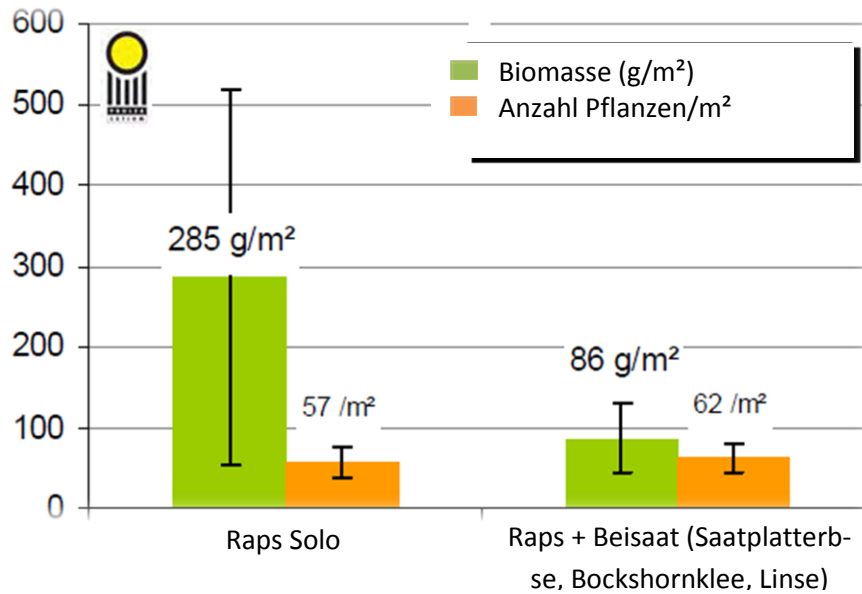


Abbildung 2: Einfluss einer Beisat zum Raps mit dem Gemenge aus Saatplatterbse, Bockshornklee und Linse (rechts) auf die Entwicklung von Storchschnabel im Vergleich zu einem Raps ohne Beisat (links) (verändert nach: CETIOM 2010)

(SCHOCHOW & PAULSEN (2005) untersuchten die unkrautregulierende Wirkung und belegten durch Messung eine Abnahme der photosynthetisch aktiven Strahlung durch die Beschattung der Beipflanzen. Zudem gibt es erste Hinweise aus Frankreich, dass ein Anbausystem mit legumen Beisaaten im Raps einen positiven Einfluss auf den Schadinsektenruck haben kann (CETIOM 2012). In Fortsetzung dieser Versuche konnten LANDÉ sowie CADOUX mit ihren Teams (LANDÉ et al 2013 , CADOUX et al. 2015) an vier Standorten in Frankreich eine verbesserte Unkrautkontrolle, eine Milderung der Schäden durch den Schwarzen Kohltriebrüssler (*Ceutorhynchus pictarsis*) und im Frühjahr eine verbesserte N-Effizienz bei gleichbleibenden bis ansteigenden Erträgen feststellen. Dabei weisen die Beisaaten mit Ackerbohne und Linse die besten Ergebnisse auf.

In Deutschland wurden bisher nur sehr wenige Untersuchungen zur Reaktion von Raps auf legume Beisaaten durchgeführt. Diese fanden unter den Bedingungen des Ökologischen Landbaus statt. PAULSEN et al. (2003 a,b) konnten in einem einjährigen Streifenversuch bei einer Weißkleeuntersaat im ökologischen Rapsanbau keine messbare Verbesserung der N-Versorgung von Winterraps feststellen. Krankheitsbedingtes Lager führte zu erheblichen Ernteverlusten beim Raps in den Parzellen mit Weißkleeuntersaat, da diese den Raps überwuchs. Dennoch waren die Erträge der Varianten mit und ohne Weißkleeuntersaat gleich. BACHINGER et al. (2007) führten in Brandenburg Kleinparzellen- und Praxisversuche zur N-Dynamik bei Winterraps mit Erbsen- und Lupinenbeisaaten auf Grenzstandorten des ökologischen Rapsanbaues durch, die allerdings witterungs- und schädlingsbedingt nur zu eingeschränkt verwertbaren Ergebnissen führten. Im ersten Jahr überwuchs auf den Praxisflächen die Beisat den aufgrund von Trockenheit verzögert aufgelaufenen Raps und verhinderte dadurch eine ausreichende Herbstentwicklung. Im zweiten Jahr kontrollierte der Raps die Beisaaten besser, dennoch winterete der Raps aufgrund extremer Kahlfröste aus. Allerdings verminderten die Beisaaten den Unkrautdeckungsgrad (Abb. 3). Die Autoren halten weitere Untersuchungen zur Ermittlung der optimalen Saatstärken von Raps und Beisat für notwendig.

Die ersten Ergebnisse aus Thüringen (GRAF und GURGEL 2015) sind ebenfalls nicht einheitlich, je nach Jahreswitterung und dem damit verbundenen Zeitpunkt des Abfrierens der Beisat werden Mehrerträge beim Raps von 1,7-3,8 dt/ha (91% TM) aber auch Ertragseinbußen berichtet.

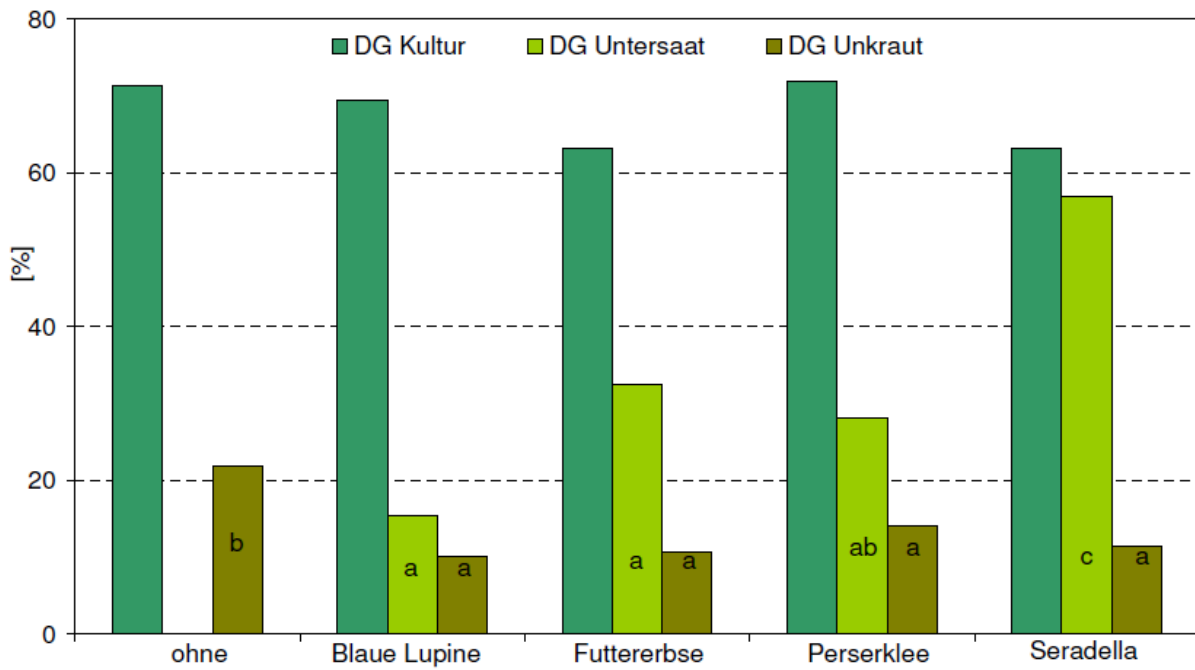


Abbildung 3: Einfluss einer Untersaat zum Raps auf die Deckungsgrade (DG) der Kultur, der Untersaat und des Unkrautes im Vergleich zu einem Raps ohne Untersaat Beisat (links); BACHINGER et al. 2007

Als Nebenbefund wurde in einzelnen Versuchen im Raps mit Erbsenbeisaten eine signifikante Abnahme des Befalls mit Larven des Gefleckten Kohltriebrüsslers (*Ceutorhynchus pallidactylus*) sowie eine deutlich höhere Parasitierung der Larven des Rapsglanzkäfers (*Meligethes aeneus*) durch Schlupfwespen festgestellt (PAULSEN et al. 2006).

3 Arbeitsschritte und angewandte Methoden

Aufbauend auf diesen Zielen muss geprüft werden:

- Welche Leguminosen(-gemenge) eignen sich für die Beisat am besten?
- Wie reagiert der Raps (Ertrag/Qualität) auf die Beisat?
- Wie viel mineralischer Stickstoff kann zum Raps eingespart werden und welche THG-Reduktion kann dadurch erzielt werden?
- Kann der Herbizidaufwand tatsächlich reduziert werden?
- Wie ist die Beisat ökonomisch zu bewerten?

Diese Fragestellungen wurden in den Versuchsjahren 2014/15 und 2015/16 an den Standorten Lundsgaard und Soest in zwei Versuchsserien (Druschversuch und Herbizidscreening) geprüft. Einheitlich über alle Versuche wurde Raptor als Rapsorte ausgewählt. Diese kennzeichnet sich bei guten Ausprägungsstufen in Ölgehalt und Ertrag durch eine verhaltene Vorwinterentwicklung und durch einen zügigen Start im Frühjahr, so dass den Beisaaten eine ausreichende Herbstentwicklung ohne Unterdrückungsgefahr durch den Raps ermöglicht wurde.

Tabelle 1: Standortbeschreibungen

| | Soest | Lundsgaard |
|------------|---|--|
| Bundesland | NRW | Schleswig-Holstein |
| Naturraum | Soester Börde | Angeln – Östliches Hügelland |
| Höhenlage | 80 m ü. NN | 24 m ü. NN |
| Klima | ca. 750 mm Niederschläge, durchschnittliche Jahrestemperatur 9,0 °C | ca. 1028 mm Niederschläge, durchschnittliche Jahrestemperatur 9,0 °C |
| Bodenart | Ut2 | sL |
| Bonität | 70-75 BP | 45-55 BP |

In den verschiedenen Varianten wurde an jedem Standort für beide Versuchsfragen eine einheitliche Saatstärke gewählt. Diese betrug standortüblich in Soest 45 kf. K/m² und in Lundsgaard 60 kf. K/m². Während der Raps und die Beisaaten in Soest in beiden Jahren als Gemenge gesät wurden, wurde in Lundsgaard 2014 aufgrund der vorhandenen Aussaattechnik die Bestellung in alternierenden Reihen durchgeführt. In beiden Versuchsjahren wurde in Soest ein ortsüblicher Saattermin um den ersten September (05.09.2014, 31.8.2015) gewählt. In Lundsgaard konnte 2014 nur noch ein verspäteter Aussattermin Anfang September realisiert werden (03.09.2014), 2015 wurde zum ortsüblichen Termin am 21.8.2015 ausgesät.

2014/15 war insgesamt ein sehr warmes Jahr, wobei insbesondere der milde Herbst mit langer Vegetation und der Winter für dieses Projekt von Bedeutung waren. Die Durchschnittstemperatur des Winters 2014/15 lag mit 1,8 °C um 1,6 °C über dem Klimawert der Referenzperiode 1961 bis 1990 (DWD, 2015a). An beiden Standorten traten nur kurze und zudem schwache Frostperioden auf, so dass selbst Zwischenfruchtbestände mit Senf oder Phacelia nicht abfroren.

Der Herbst und Winter 2015/16 war wieder insgesamt warm bei nahezu durchschnittlicher Niederschlagsmenge und Sonnenscheindauer. Der September und der Oktober fielen kühl, sonnenscheinarm und trocken aus. Die Niederschläge reichten an beiden Standorten für das Pflanzenwachstum aus. Die Monate November und Dezember waren außergewöhnlich warm, so dass die Vegetation nicht zur Ruhe kam (DWD 2015b, DWD2016a). Erst Mitte Januar wurde es vorübergehend winterlich und die Zwischenfruchtbestände froren ab und die Pflanzenentwicklung stoppte, bis es schließlich im Februar erneut mild wurde und reichliche Niederschläge die Böden auffüllten, so dass sie meist unbefahrbar wurden.

Im Frühling entwickelten sich die Pflanzen langsam aber weitgehend ohne Probleme. Insgesamt verlief der Frühling und Sommer unauffällig - im Gegensatz zu den Vorjahren war es weder deutlich zu warm noch extrem trocken. Im Juli und August sorgte der ständige Wechsel zwischen nassen und trockenen Phasen für eine schwierige Raps- und Getreideernte (DWD 2016b, c).

3.1 Raps-Beisaaten Druschversuch

In diesem randomisierten Blockversuch wurden sechs Beisaatvarianten mit reduzierter N-Düngung und einer ausschließlichen Graminizidbehandlung, vier Raps-Varianten mit variierender N-Düngung und Pflanzenschutzmaßnahmen gegenübergestellt (Tabelle 2).

Tabelle 2: Variantenplan Druschversuch

| Variante | Beisaat - Arten | Pfl./m ² | kg/ha | N-Düngung (kg/ha) | Herbizid-Behandlung* | Kürzel |
|----------|--|--------------------------|-------------|-------------------|-------------------------------|---------------------|
| 1 | Saatplatterbse Bockshornklee Futterlinse | 15-20 50-70 50-70 | 22 kg/ha | SW - 30 | Graminizid | SPE, BHK, FL |
| 2 | Saatplatterbse Bockshornklee Schwarze Linse Saatwicke | 15-20 50-70 50-70 | 25 kg/ha | SW - 30 | Graminizid | SPE, BHK, FL, SW |
| 3 | Alexandrinerklee Saatwicke Rotwicke | 60-100 20-30 20-30 | 21 kg/ha | SW - 30 | Graminizid | AXK, SW, RW |
| 4 | Ackerbohne | 10 | 60 kg/ha | SW - 30 | Graminizid | AB |
| 5 | Erdklee | 250 | 12-14 kg/ha | SW - 30 | Graminizid | EK |
| 6 | Alexandrinerklee | 250 | 6-8 kg/ha | SW - 30 | Graminizid | AXK |
| 7 | Raps Solo | | | SW - 30 | Graminizid + Butisan Gold | RS -30 N |
| 8 | Raps Solo | | | SW | Graminizid.+ Butisan Gold | RS SW |
| 9 | Raps Solo | | | SW + 30 | Graminizid .+ Butisan Gold | RS + 30 N |
| 10 | Raps Solo | | | SW | Graminizid | RS SW Gr |

*Soest Graminizid: 2014 Agil 0,6l/ha; 2015 Agil +Tilmor 0,75 + 0,7 l/ha; Butisan Gold 2014 + 2015 2,0l/ha.

*Lundsgaard Graminizid: 2014 Targa super 1,25l/ha; 2015 Panarex 1,25l/ha; Butisan Gold 2014 + 2015 2,0l/ha.

Hierbei stellt die Variante 8 das praxisübliche Anbauverfahren für Raps dar. Die Differenzierung in der N-Versorgung wurde erst mit der Ausbringung der Frühjahrsdüngung gegeben. Zum Vegetationsende gibt es somit keinen Unterschied zwischen den Varianten „RS – 30 N“, „RS SW“ und „RS + 30 N“. Am Standort Soest wurde der Versuch 2014/15 in fünf und aufgrund der Erfahrungen des ersten Versuchsjahres 2015/16 in acht Wiederholungen angelegt, wobei die fünfte bzw. fünfte bis achte Wiederholung für destruktive Parzellen verwendet wurden, in welchen die Biomasse-Ernten zu Vegetationsende und -beginn durchgeführt wurden. In Lundsgaard brauchten hierfür keine zusätzlichen Wiederholungen angelegt werden, da Dreifachparzellen gesät wurden, sodass neben der Kerndruschfläche zusätzlich ausreichend Fläche für die Biomasse-Ernten zur

Verfügung stand. Die Aussaat von Raps und Beisaaten erfolgte in Soest in beiden Jahren im Gemenge, in Lundsgaard wurden 2014 Raps und Beisaaten in alternierenden Reihen und 2015 ebenfalls im Gemenge ausgesät. Die N-Düngung wurde bis zur Höhe des Sollwertes -30 kg/ha N betriebsüblich appliziert. Die Ergänzung bis zum Sollwert bzw. Sollwert + 30 kg/ha N erfolgte zur letzten Düngung in BBCH 49-50. Der Pflanzenschutz mit Ausnahme der Herbizidbehandlungen (Tabelle 2) erfolgte betriebsüblich.

3.2 Raps-Beisaaten-Herbizidscreening

Zusätzlich zum Druschversuch wurde 2014 an beiden Standorten ein weiterer Versuch angelegt, in dem die Verträglichkeit der Beisaaten gegenüber den Standard-Voraufbau-Herbiziden im Raps getestet wurde. Über die in dem Druschversuch anlegten Varianten hinaus wurden weitere potentielle Beisaat-Mischungen einbezogen. Die Varianten wurden ohne Wiederholung als Beobachtungsversuch angelegt. Jeweils zum Vegetationsende wurde der Stand bzw. Schädigungen der Beisaaten durch die Herbizidwirkung bonitiert. Aussaattermin und Saatstärke wurden analog zum Druschversuch gewählt.

Tabelle 3: Variantenplan Herbizid-Screening

| Faktor 1: Beisaaten | | | |
|----------------------------|---|--|--|
| Beisaat-Variante | Arten | Beisaat-Variante | Arten |
| 1 | Saatplatterbse, Bockshornklee Futterlinse | 6 | Alexandrinerklee, Bockshornklee Saatwicke |
| 2 | Saatplatterbse, Bockshornklee, Schwarze Linse, Saatwicke | 7 | Futterlinse |
| 3 | Alexandrinerklee, Saatwicke, Rotwicke | 8 | Ackerbohne |
| 4 | Ackerbohne, Futterlinse Weißklee | 9 | Erdklee |
| 5 | Ackerbohne, Futtererbse | 10 | Alexandrinerklee |
| Faktor 2: Herbizide | | | |
| Herbizid-Variante | Bezeichnung | Aufwandmenge (l/ha) | Wirkstoff |
| 1 | Kontrolle | 0,0 | - |
| 2 | Fuego | 0,75 | 500 Metazachlor |
| 3 | Fuego Top | 1 | 375 Metazachlor + 125 Quinmerac |
| 4 | Butisan Kombi | 1,5 | 200 Metazachlor + 200 Dimethenamid |
| 5 | Butisan Gold | 1,5 | 200 Metazachlor + 200 Dimethenamid + 100 Quinmerac |
| 6 | Centium 36 CS + Stomp Aqua | 0,2 + 0,6 | 36 Clomazone + 455 Pendimethalin |
| 7 | Butisan Aqua Pack | 1,5 Butisan Kombi + 0,6 Stomp Aqua | 200 Metazachlor + 200 Dimethenamid + 455 Pendimethalin |
| 8 | Colzor Trio | 2,5 | 30 Clomazone + 188 Dimethachlor + 188 Napropamid |

3.3 Probenahme und statistische Auswertung

Zu Vegetationsende und Vegetationsbeginn wurden auf den Destruktiv-Parzellen jeweils Quadratmeterernten der oberirdischen Biomasse nach Raps und Beisaaten getrennt durchgeführt. Das Pflanzenmaterial wurde frisch gewogen, zerkleinert und geteilt. Der Trockensubstanzgehalt wurde an einer Teilprobe bei 105°C über Nacht bestimmt. Eine weitere Teilprobe wurde für die Inhaltsstoffbestimmung bei 60°C für mindestens 72h getrocknet, auf 1 mm vermahlen und für die weiteren Analysen in verschließbaren Einmalgefäßen gelagert.

Die Bestimmung des N-Gehaltes erfolgte mit Hilfe der Verbrennung nach Dumas (VDLUFA 1983, 2006), der Aschegehalt wurde durch trockene Veraschung im Muffelofen bei 550°C (VDLUFA 1983) bestimmt.

Die statistische Verrechnung im Druschversuch erfolgte mit Hilfe des Statistikprogrammpaketes IBM SPSS Statistics 21, für die Varianzanalysen wurde die Prozedur ANOVA verwendet. Da in Soest im Jahr 2014/15 für die Biomasseernten zu Vegetationsende und –beginn keine Wiederholungen vorlagen, musste hier auf eine varianzanalytische Auswertung verzichtet werden. Sonst mussten keine Einschränkungen vorgenommen werden. In den Abbildungen sind bei signifikanten Haupt- und Wechselwirkungen die Grenzdifferenzen als Fehlerbalken angegeben.

Da das Herbizidscreening ohne Wiederholungen als Beobachtungsversuch angelegt wurde, erfolgt keine statistische Auswertung.

4 Ergebnisse

4.1 Raps-Beisaaten-Druschversuch

4.1.1 Ergebnisse zu Vegetationsende

Am Standort Soest konnte sich der Raps auch aufgrund der milden Witterung bis zum Vegetationsende gut entwickeln und erreichte 2014 noch das BBCH-Stadium 19 bzw. 2015 das Stadium 18. In Lundsgaard konnte er sich 2014 wegen des späteren Saattermins lediglich bis zum BBCH-Stadium 16 entwickeln. 2015 erreichte er dort das Stadium BBCH 17. Obwohl in Soest der Raps 2015 6 Tage früher gesät wurde konnte er bis zum Beprobungstermin die Vorjahresentwicklung nicht ganz erreichen. In Lundsgaard ist 2015 die Vorwinterentwicklung deutlich besser als im Vorjahr. Der Entwicklungsvorsprung in Soest im Vergleich zu Lundsgaard spiegelt sich auch in den die Biomasse betreffenden Parametern zu Vegetationsende wider.

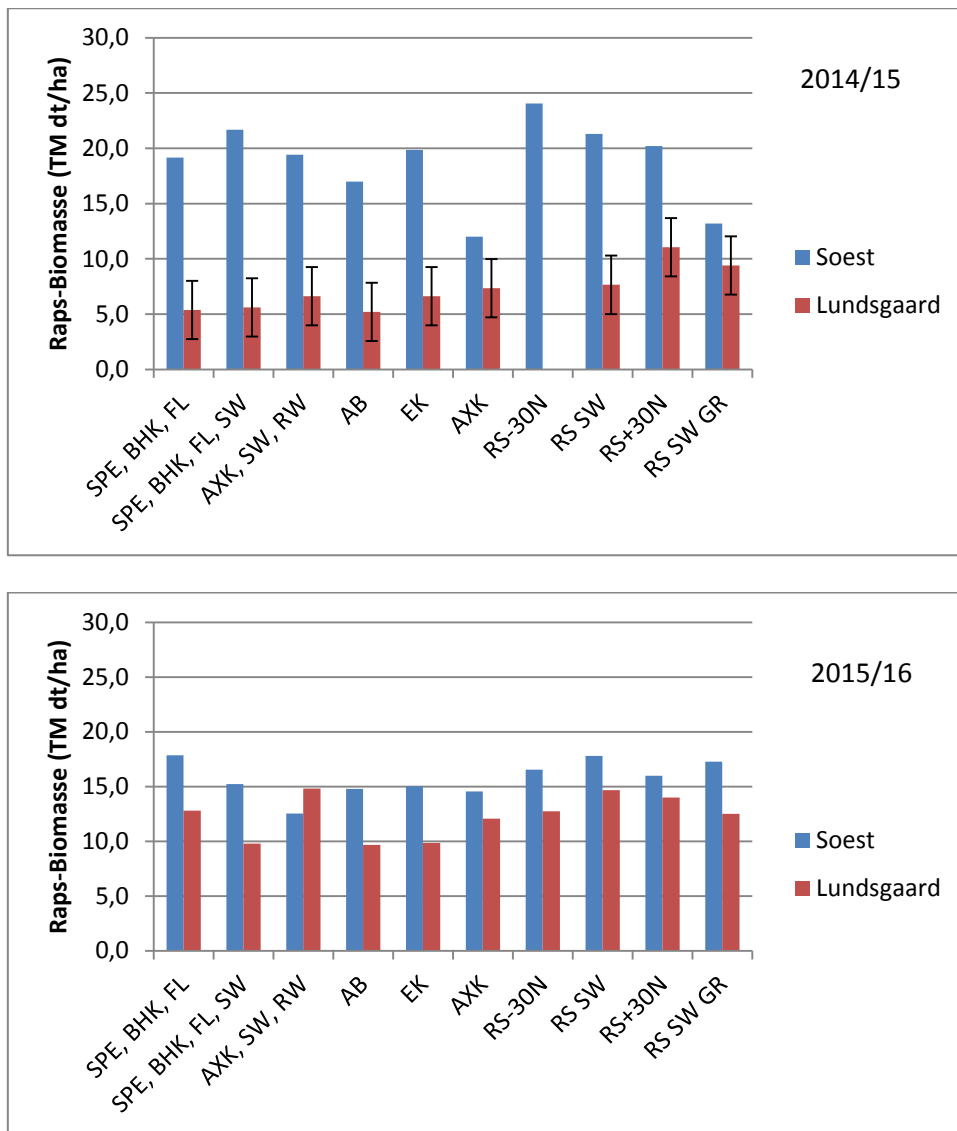


Abbildung 4: Raps-Biomasse (TM dt/ha) zu Vegetationsende 2014 und 2015 an den Standorten Soest und Lundsgaard (2014 Lundsgaard GD 5% Variante = 2,64 dt/ha TM, Soest ohne Statistik, 2015 GD 5% Ort = 1,33 dt/ha TM, GD 5% Variante und GD 5% Ort x Variante = n.s.)

In Soest wurde 2014 mit einer durchschnittlichen Anzahl von 38 Pflanzen/m² trotz geringerer Saatstärke (45 kf. K/m²) eine höhere Bestandesdichte erzielt als in Lundsgaard mit 23 Pflanzen/m² (60 kf. K/m²). Im Jahr 2015 entspricht die Pflanzenzahl in Soest (32 Pflanzen/m²) und Lundsgaard (56 Pflanzen/m²) den Erwartungen.

Ausgehend von den weiter entwickelten Pflanzen konnte am Standort Soest in beiden Jahren eine größere Raps-Biomasse als in Lundsgaard geerntet werden (Abbildung). Dabei waren 2015 die Unterschiede sehr viel geringer, aber noch gesichert (Soest 15,8 dt/ha TM, Lundsgaard 12,3 dt/ha TM). An beiden Standorten konnte in beiden Jahren keine gesicherte Beeinflussung des Raps-Biomasseertrages durch die Beisaaten oder die reduzierte Herbizidbehandlung erkannt werden.

Im Herbst 2014 und 2015 konnte in Soest in den Varianten mit Raps-Beisaat tendenziell ein höherer N-Gehalt im Raps analysiert werden, als in den Varianten ohne Beisaat (Abbildung). Gleichzeitig liegen die N-

Gehalte in Soest insgesamt etwas über denen in Lundsgaard, wo keine Effekte durch die Beisaaten festgestellt werden können.

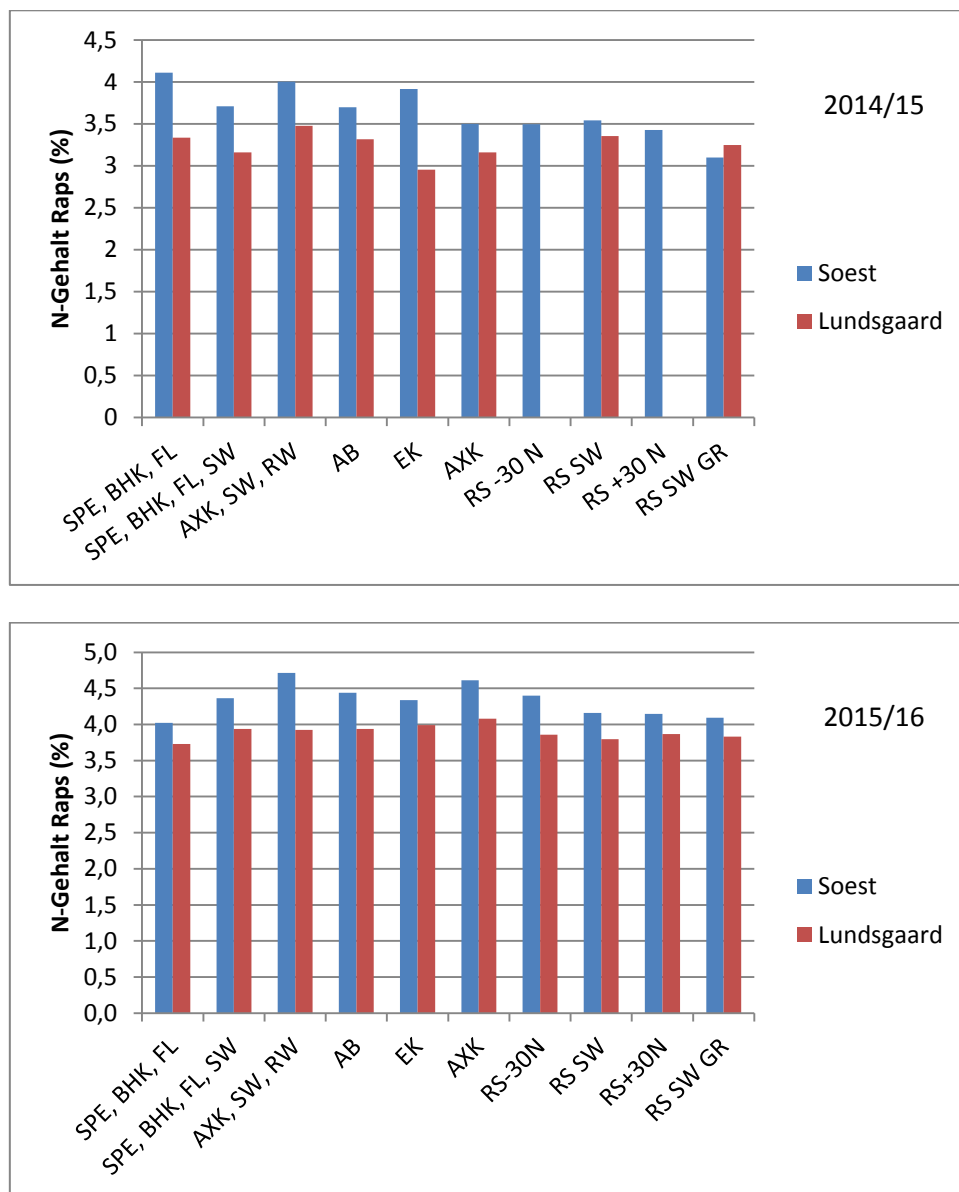


Abbildung 5: N-Gehalt der Raps-Biomasse zu Vegetationsende 2014 und 2015 an den Standorten Soest und Lundsgaard (2015 GD 5% Ort = 0,11%N, GD 5% Variante= n.s., GD 5% Variante x Ort = n.s.)

Ausgehend von den Biomasseerträgen der Beisaaten (Tabelle 4) und deren N-Gehalt kann die in der oberflächlichen Biomasse gebundene N-Menge bestimmt werden, die dem Raps nach dem Abfrieren der Beisaaten zur Verfügung gestellt wird.

Tabelle 4: Biomasseerträge (dt/ha TM) der Beisaaten zu Vegetationsende 2014 und 2015 an den Standorten Soest und Lundsgaard (Lundsgaard 2014/15 GD5% Variante =0,8 dt/ha TM, 2015/16 GD 5% Ort * Variante =2,1 dt/ha TM)

| | Soest 2014/15 | Soest 2015/16 | Lundsgaard 2014/15 | Lundsgaard 2015/16 |
|-------------------------|------------------|------------------|-----------------------|-----------------------|
| SPE, BHK, FL | 2,2 | 4,7 | 2,1 | 1,0 |
| SPE, BHK, FL, SW | 2,6 | 5,6 | 2,9 | 1,1 |
| AXK, SW, RW | 5,1 | 11,9 | 3,5 | 2,1 |
| AB | 1,7 | 5,6 | 2,6 | 2,3 |
| EK | 2,7 | 11,9 | 3,8 | 11,9 |
| AXK | 4,0 | 8,5 | 2,1 | 2,5 |

Die Beisat-Mischung „AXK, SW, RW“ konnte in Soest in beiden Jahren den höchsten Beisat-Biomasseertrag bilden (2015/2016 zusammen mit EK) und schnitt in Lundsgaard mit einem mittleren Biomasseertrag von 2,8 dt/ha TM ebenfalls gut ab. In Soest brachte auch der Alexandrinerklee „AXK“ gute Ergebnisse, dagegen konnte sich in Lundsgaard der Erdklee „EK“ in beiden Jahren am besten etablieren und die größte Trockenmasse bilden, 2015 erreichte der Erdklee auch in Soest einen Spitzenplatz. Während die Beisatmischungen „SPE, BHK, FL“ und „SPE, BHK, FL, SW“ im Biomasseertrag an beiden Standorten nur max. durchschnittliche Werte erreichen, scheinen die Mischung „AXK, SW, RW“, der Erdklee (EK) und der Alexandrinerklee „AXK“ besser an die Bedingungen am Soester Standort und der Erdklee „EK“ besser an die Lundsgaarder Verhältnisse angepasst zu sein.

Bezüglich der N-Gehalte der Beisaaten konnte 2014 am Standort Lundsgaard bei allen Beisaaten tendenziell ein höherer N-Gehalt festgestellt werden, als in Soest, wo insbesondere die Varianten „SPE, BHK, FL, SW“ und „EK“ eher abfielen (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** 6). In Lundsgaard sind zwischen den verschiedenen Beisaaten keine Unterschiede im N-Gehalt ersichtlich. 2015 sind die N-Gehalte in Soest (3,0 % N)erheblich höher als in Lundsgaard (2,0 % TM). Zusätzlich sind zwischen den Beisaaten erhebliche Unterschiede zu finden (Abb. 6). Vor allem im Erdklee und im Alexandrinerklee werden extrem niedrige N-Gehalte gefunden.

Insbesondere aufgrund der Biomasseerträge zeichnen sich 2014 für den Standort Soest die Varianten „AXK, SW, RW“ und der Alexandrinerklee „AXK“ als die Beisaaten mit der höchsten N-Bindung ab, 2015 kommt der Erdklee noch dazu. Nur diese drei Varianten erreichen 2015 in Soest N-Bindungsraten über 25 kg/ha (Abb. 7). Dagegen erreicht in Lundsgaard in beiden Jahren nur der Erdklee „EK“ N-Bindungsraten über 10 kg/ha N (Abbildung).

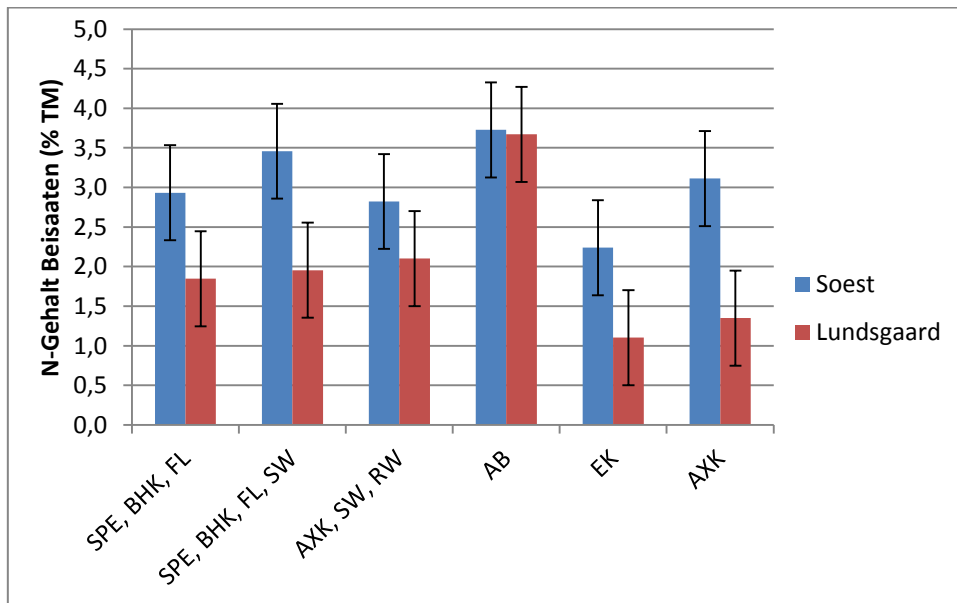
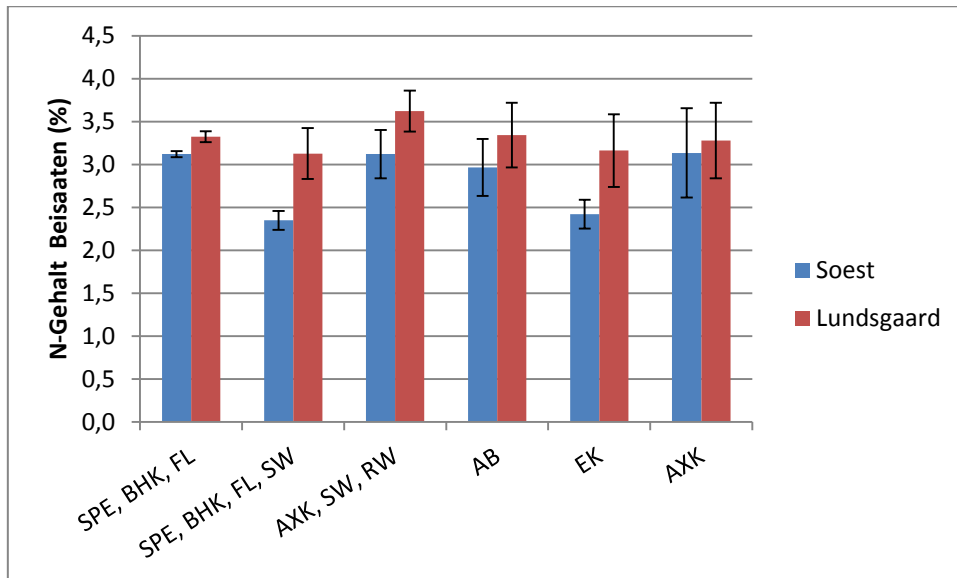


Abbildung 6: N-Gehalt der Beisaaten-Biomasse zu Vegetationsende 2014 und 2015 an den Standorten Soest und Lundsgaard (2014 Mittelwert \pm SD, 2015 GD5% Ort x Variante = 0,6 % N)

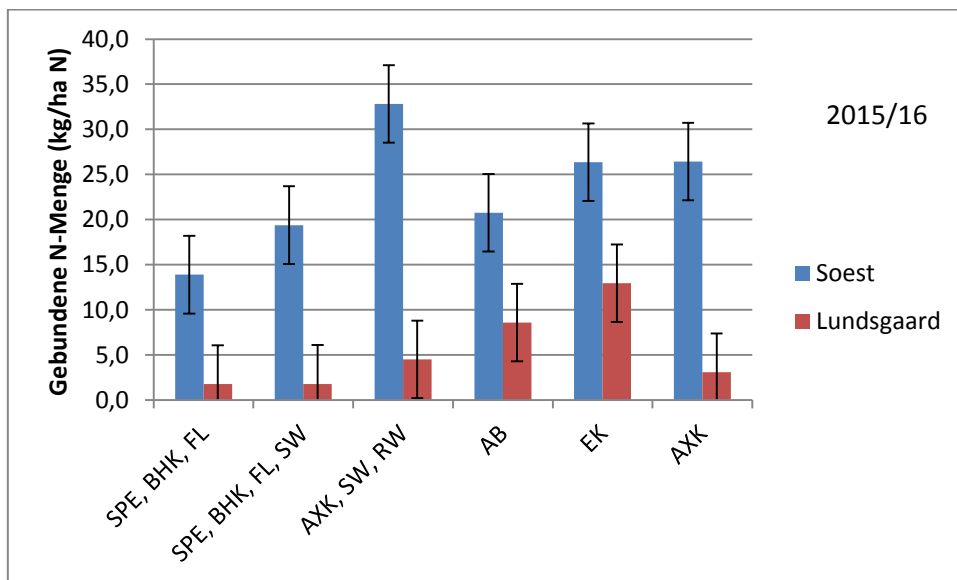
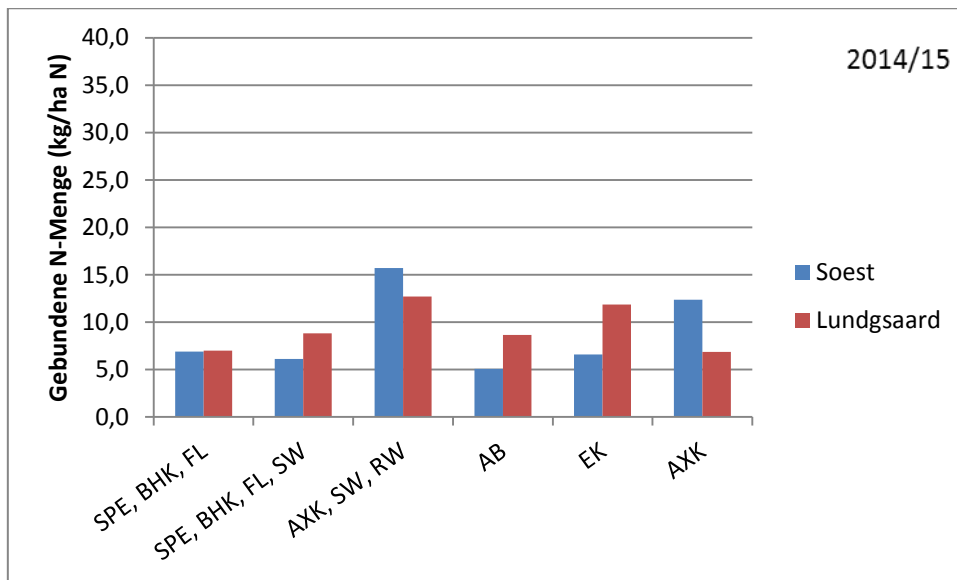


Abbildung 7: In der oberirdischen Beisaaten-Biomasse gebundene N-Menge zu Vegetationsende 2014 und 2015 (2015 GD5% Ort x Variante = 4,3 kg/ha N)

Ausgehend von der weiteren Pflanzenentwicklung, dem größeren Biomassertrag und einer größeren Bestandesdichte des Rapses konnte 2014 am Standort Soest auch eine signifikant höhere Kulturdeckung (Raps + Beisat) als in Lundsgaard festgestellt werden. Gleichzeitig konnte für Soest eine stärkere Differenzierung zwischen den Varianten erkannt werden (Abbildung 8). Im Jahr 2015/16 konnte bei einigen Varianten an beiden Standorten ein Überwachsen des Rapses durch die Beisatvarianten beobachtet werden, so dass sich dann aus den einzelnen Kulturpflanzendeckungsgraden kumulierte Kulturpflanzendeckungsgrade über 100% ergeben. Das ist insbesondere bei der Variante Erdklee an beiden Standorten gegeben.

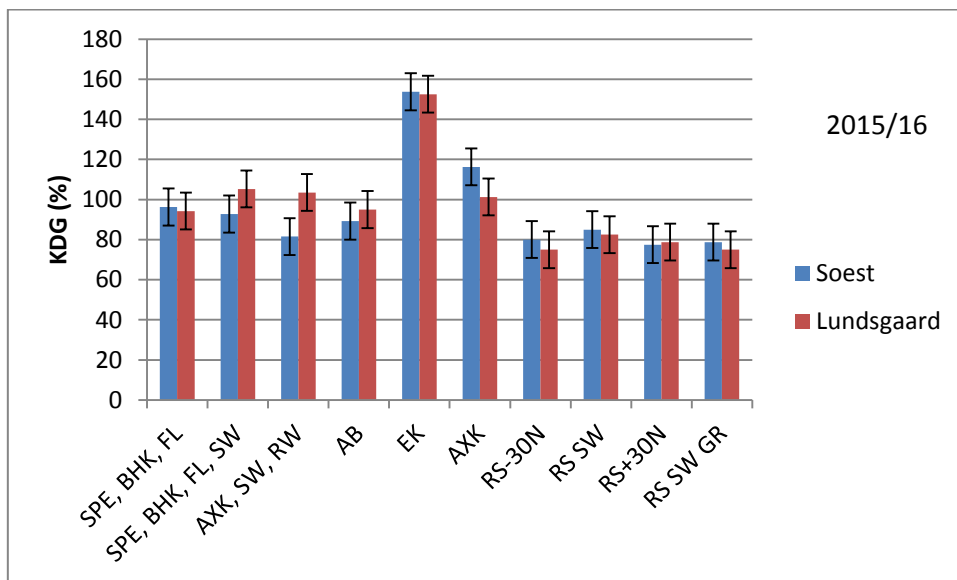
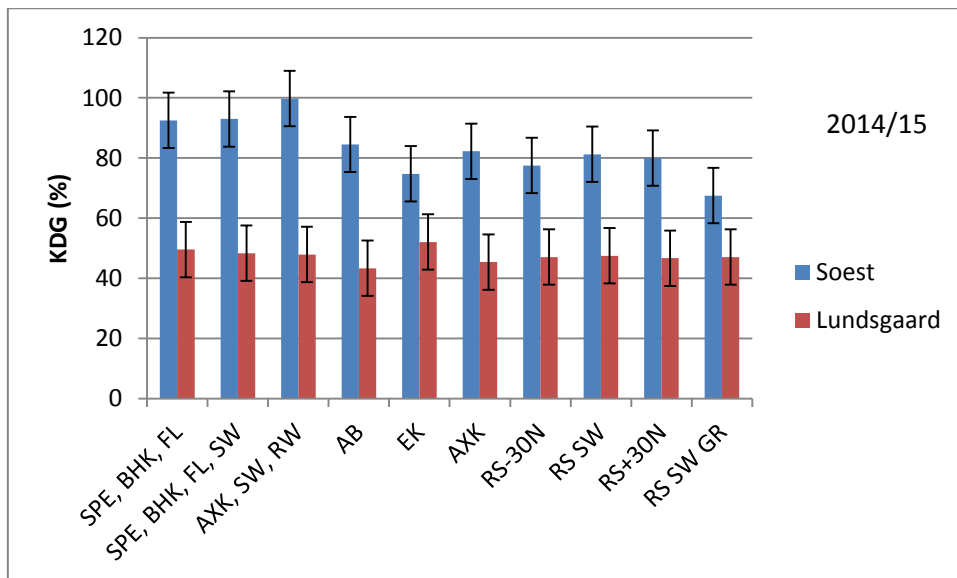


Abbildung 8: kumulierter Kulturdeckungsgrad von Raps und Beisaaten an den Standorten Soest und Lundsgaard zu Vegetationsende (GD5% Standort*Variante*Jahr = 9,2%)

Insbesondere mit den Beisaatmischungen bestehend aus mehreren Komponenten konnte eine signifikant höhere Bodenbedeckung erzielt werden, als in den Raps-Solo Varianten. Darüber hinaus fiel die Variante „RS SW GR“ ähnlich wie bei dem Raps-Biomasseertrag bei dem Kulturdeckungsgrad signifikant ab. In Lundsgaard konnte mit dem Erdklee „EK“ eine etwas höhere Bodenbedeckung erzielt werden. Diese Variante konnte an dem Standort bereits den höchsten Beisaat-Biomasseertrag liefern.

Zusätzlich wurde der Kulturdeckungsgrad zu Vegetationsende nach Raps und Beisaaten differenziert ermittelt (2014 nicht in Lundsgard, Abb. 9) und auch die Beisaaten in ihren Einzelkomponenten ermittelt. Tabelle

5

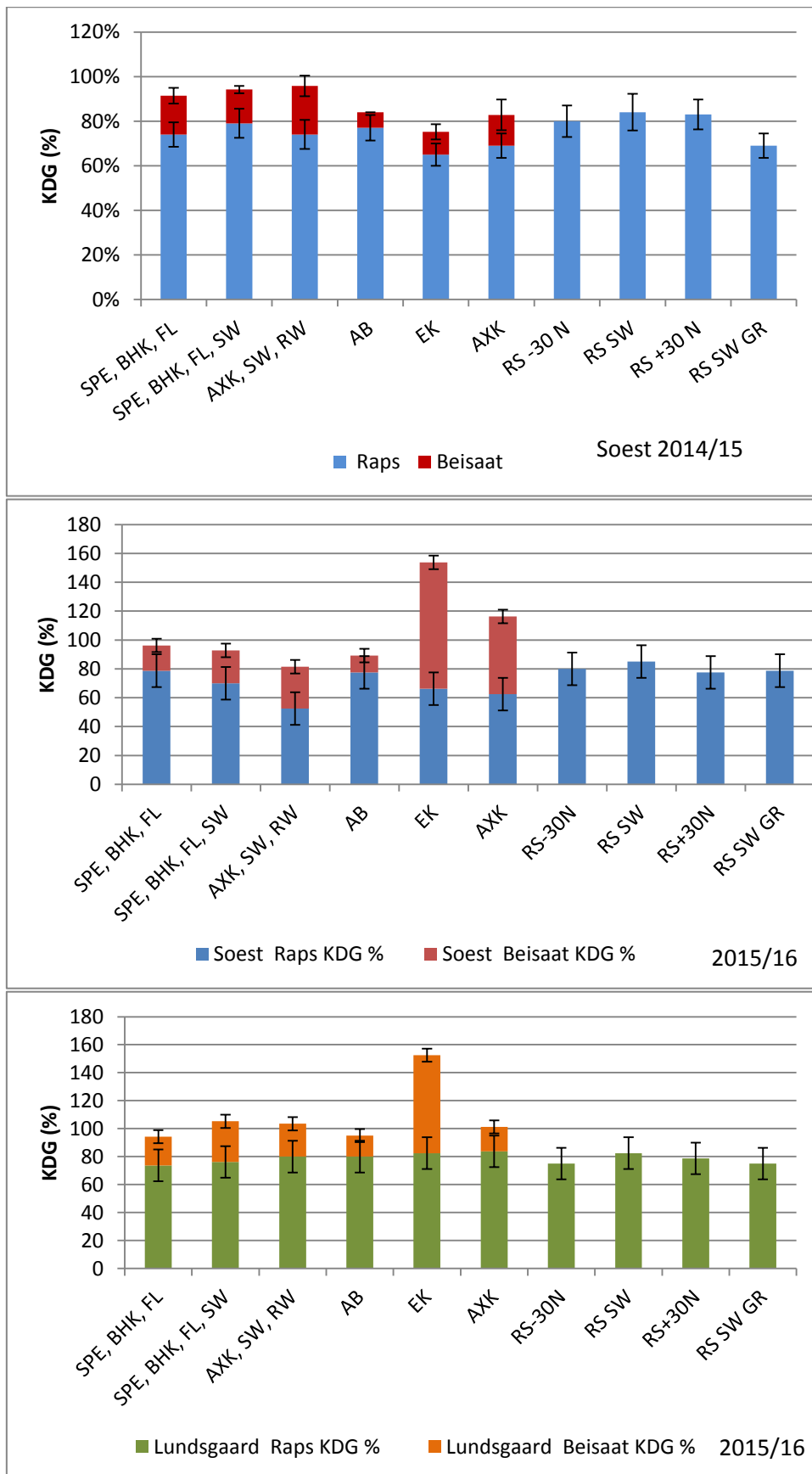


Abbildung 9: Kulturdeckungsgrad (%) zu Vegetationsende am Standort Soest und Lundsgaard nach Raps und Beisaaten getrennt.(2015 GD 5% KDG Raps Ort x Beisaat =11,3%; GD 5% KDG Beisaat Ort x Beisaat = 4,7%)

Tabelle 5: Kulturdeckungsgrad (%) der Beisaaten am Standort Soest zu Vegetationsende 2014, aufgliedert nach ihren Komponenten

| | Bocks- hornklee | Saat- wicke | Rot- wicke | Futter- linse | Saatplatt- erbse | Alex.- klee | Acker- bohne | Erdklee |
|-------------------------|--------------------|----------------|---------------|------------------|---------------------|----------------|-----------------|---------|
| SPE, BHK, FL | 5 | | | 8 | 4 | | | |
| SPE, BHK, FL, SW | 4 | 3 | | 6 | 3 | | | |
| AXK, SW, RW | | 4 | 6 | | | 11 | | |
| AB | | | | | | | 7 | |
| EK | | | | | | | | 10 |
| AXK | | | | | | 14 | | |

Tabelle 6: Kulturdeckungsgrad (%) der Beisaaten am Standort Soest zu Vegetationsende 2015, aufgliedert nach ihren Komponenten

| | Bocks- hornklee | Saat- wicke | Rot- wicke | Futter- linse | Saatplatt- erbse | Alex.- klee | Acker- bohne | Erdklee |
|-------------------------|--------------------|----------------|---------------|------------------|---------------------|----------------|-----------------|---------|
| SPE, BHK, FL | 3,5 | | | 11,25 | 2,75 | | | |
| SPE, BHK, FL, SW | 4 | 4,5 | | 9,25 | 5 | | | |
| AXK, SW, RW | | 10,25 | 4,5 | | | 11 | | |
| AB | | | | | | | 11,75 | |
| EK | | | | | | | | 87,5 |
| AXK | | | | | | 53,75 | | |

Tabelle 7: Kulturdeckungsgrad (%) der Beisaaten am Standort Lundsgaard Vegetationsende 2015, aufgliedert nach ihren Komponenten

| | Bocks- hornklee | Saat- wicke | Rot- wicke | Futter- linse | Saat- platt- erbse | Alex.- klee | Acker- bohne | Erdklee |
|-------------------------|--------------------|----------------|---------------|------------------|--------------------------|----------------|-----------------|---------|
| SPE, BHK, FL | 9 | | | 7 | 4,5 | | | |
| SPE, BHK, FL, SW | 9,5 | 8,5 | | 7 | 4 | | | |
| AXK, SW, RW | | 7,5 | 4,75 | | | 11,25 | | |
| AB | | | | | | | 15 | |
| EK | | | | | | | | 70 |
| AXK | | | | | | 17,5 | | |

Am Standort Soest herrschte im Vergleich zu Lundsgaard in beiden Jahren ein deutlich geringerer Unkrautdruck (Abbildung 10). In Lundsgaard konnte 2014 zu Vegetationsende in der „EK“- Variante und den mit Herbizid behandelten Varianten „RS SW“ und „RS + 30 kg N“ signifikant weniger Unkrautbiomasse erfasst werden. Der Erdklee scheint somit eine unkrautunterdrückende Wirkung zu haben, die jedoch nicht das Niveau einer Herbizidbehandlung erreicht. 2015 konnte dieser Effekt nur in Soest beobachtet werden.

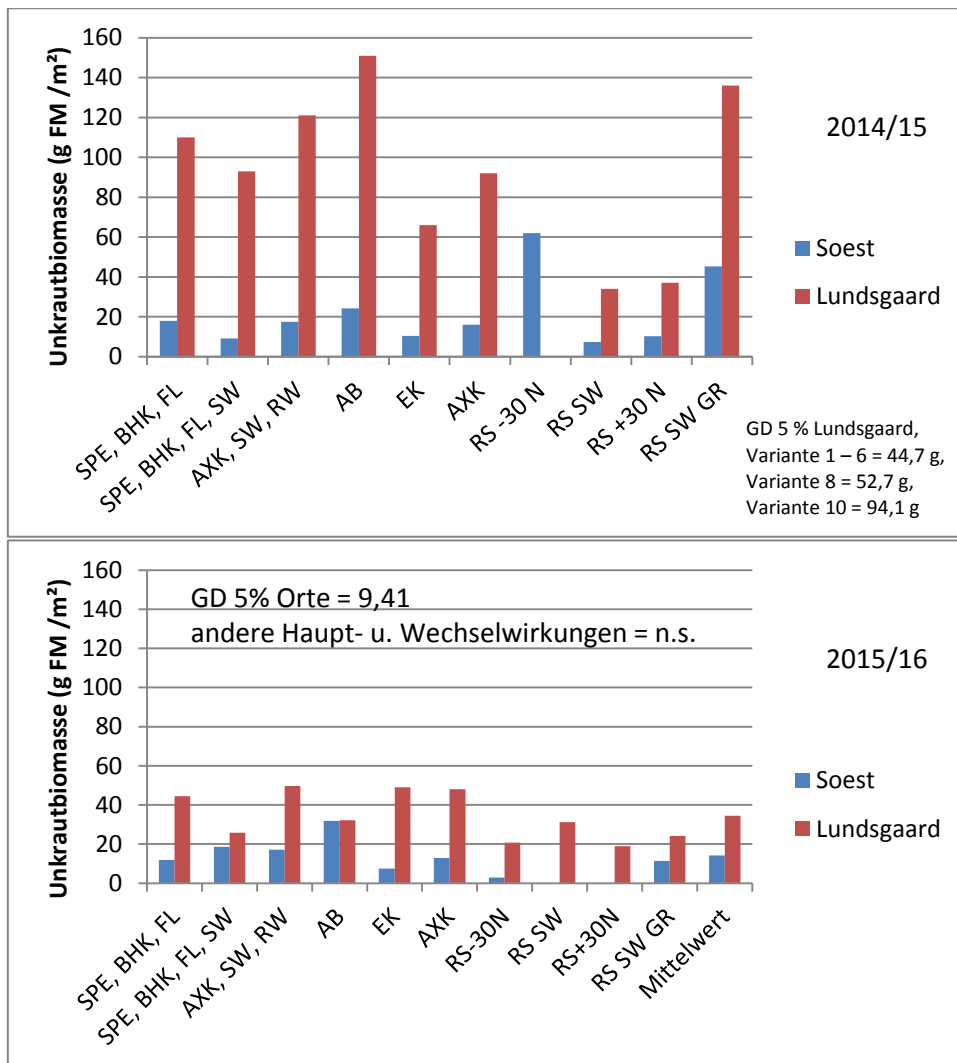


Abbildung 10: Unkraut-Biomasse (FM) zu Vegetationsende 2014 und 2015 an den Standorten Soest und Lundsgaard

Dies kann jedoch nicht allein durch die Biomasseentwicklung erklärt werden (Tabelle8). So ist 2014 an beiden Standorten der Einfluss der Raps-Biomasse auf die Unkraut-Biomasse größer, als der Einfluss der Beisaaten-Biomasse. 2015 lassen sich an beiden Standorten keine Beeinflussungen der Unkrautbiomasse durch die Beisaaten oder die Rapsbiomasse erkennen. Hier sind andere Einflussgrößen wie die Herbizidbehandlung in den Raps-Solovarianten entscheidender.

Tabelle 8: Zusammenhang zwischen Raps-, Beisat- und Unkrautbiomasse (FM) zu Vegetationsende 2014 und 2015 an den Standorten Soest und Lundsgaard

| Standort | Unabhängige Variable | Abhängige Variable | r | Anzahl |
|-----------------|----------------------|--------------------|---------|--------|
| Lundsgaard 2014 | Beisat-Biomasse | Raps-Biomasse | 0,606** | n =24 |
| Soest 2014 | Beisat-Biomasse | Raps-Biomasse | 0,039 | n =18 |
| Lundsgaard 2014 | Beisat-Biomasse | Unkraut-Biomasse | -0,111 | n =24 |
| Soest 2014 | Beisat-Biomasse | Unkraut-Biomasse | -0,164 | n =18 |
| Lundsgaard 2014 | Raps-Biomasse | Unkraut-Biomasse | -0,371* | n =33 |
| Soest 2014 | Raps-Biomasse | Unkraut-Biomasse | -0,360 | n =24 |
| Lundsgaard 2015 | Beisat-Biomasse | Raps-Biomasse | -0,256 | n =24 |
| Soest 2015 | Beisat-Biomasse | Raps-Biomasse | -0,296 | n =24 |
| Lundsgaard 2015 | Beisat-Biomasse | Unkraut-Biomasse | 0,264 | n =24 |
| Soest 2015 | Beisat-Biomasse | Unkraut-Biomasse | -0,184 | n =24 |
| Lundsgaard 2015 | Raps-Biomasse | Unkraut-Biomasse | -0,109 | n =40 |
| Soest 2015 | Raps-Biomasse | Unkraut-Biomasse | -0,001 | n =32 |

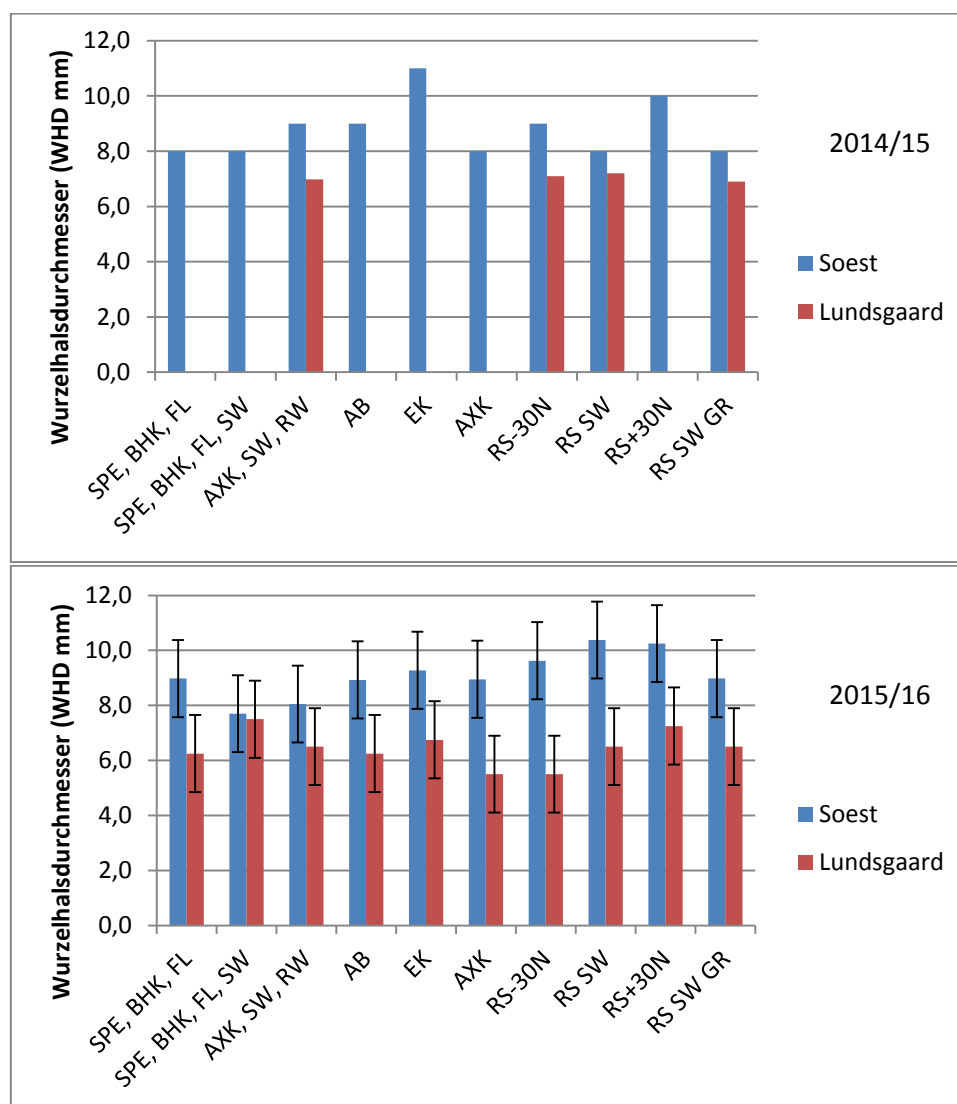


Abbildung 11: Wurzelhalsdurchmesser (mm) der Rapspflanzen zu Vegetationsende 2014 und 2015 an den Standorten Soest und Lundsgaard in Abhängigkeit der Beisatvarianten. (2014 ohne WDH, 2015 GD5% Ort*Variante = 1,4 mm)

Der Wurzelhalsdurchmesser der Rapspflanzen erreicht in Soest in beiden Jahren auch in den meisten Beisatvarianten mindestens die für eine gute Herbstentwicklung notwendigen 8 mm. Im Jahr 2015 weisen die Raps-solo Varianten mit 10,1 mm die höheren Wurzelhalsdurchmesser auf, während die WHD der Varianten SPE, BHK, FL, SW (7,7 mm) und AXK, SW, RW (8,05 mm) signifikant niedriger sind. Die WHD der anderen Beisatvarianten sind nur tendenziell niedriger.

In Lundsgaard sind die WHD in beiden Jahren mit 5,5-7,5 mm grundsätzlich niedriger, ohne dass sich ein signifikanter Einfluss der Beisatvarianten erkennen lässt.

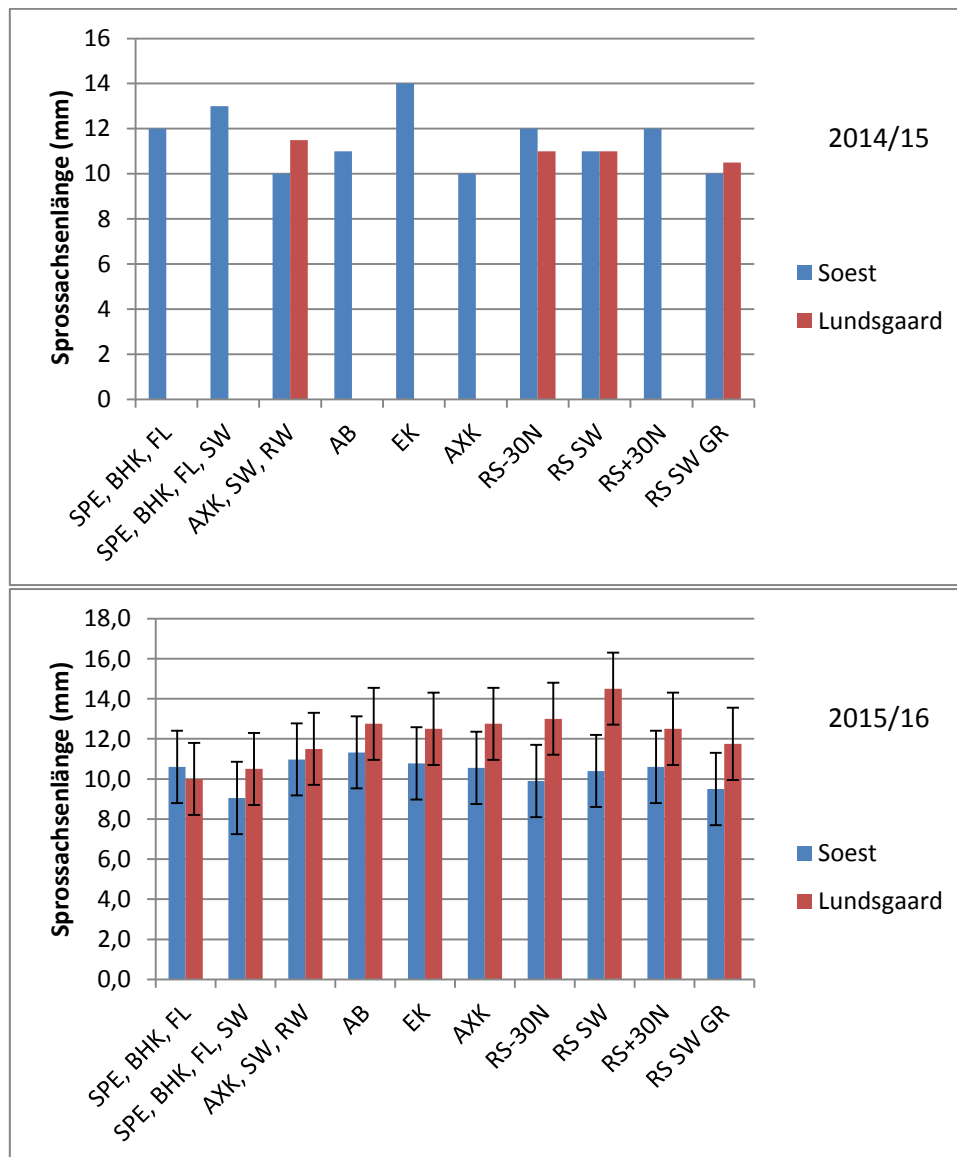


Abbildung 12: Sprossachsenlänge (mm) der Rapspflanzen zu Vegetationsende 2014 und 2015 an den Standorten Soest und Lundsgaard in Abhängigkeit der Beisatvarianten. (2014 ohne WHD, 2015 GD5% Ort*Variante = 1,8 mm)

Die Sprossachsenlänge liegt in beiden Jahren an beiden Standorten relativ eng zwischen 10-14 mm und ist damit in einem unkritischen Bereich. Ein gesicherter Unterschied in der Länge der Sprossachse lässt sich 2015/16 in Soest zwischen den Raps-solo-Varianten (10,3mm) und den Beisaatvarianten nicht erkennen. Allerdings ist die Sprossachse der Variante SPE, BHK, FL, SW etwas kürzer als bei anderen Varianten, der Unterschied ist gesichert gegen die Variante mit der Ackerbohnenbeisaat. In Lundsgaard ist die Streuung der Sprossachsenlängen größer, die Raps-solo Variante im Sollwert überschreitet als einzige die 14 mm Marke (Abb.12).

Zum Vegetationsende 2014 wurden N_{\min} -Bodenproben gezogen. Allerdings wurde 2014 je Variante nur eine Mischprobe aus den Feldwiederholungen analysiert, so dass auf eine statistische Auswertung verzichtet wird. Die Proben aus Lundsgaard konnten nicht verwertet werden, da es aufgrund eines technischen Defektes zu einer Unterbrechung der Kühlung der Proben kam. Mit Ausnahme der Variante „AXK, SW, RW“ ist zwischen den Beisaat-Varianten und der Raps-Solo-Variante „RS“ kein deutlicher Unterschied festzustellen (Abb. 13).

Im Jahr 2014 sind in Soest zwischen den Varianten keine größeren Unterscheide feststellbar, nur die Variante „AXK, SW, RW“ weist ca. 15 kg höhere N_{\min} -Gehalte auf als die übrigen Varianten incl. der Raps-Solo-Variante. Insgesamt ist 2015 das Niveau in Soest mit Werten von 15-20 kg/ha N_{\min} deutlich geringer als 2014 mit Werten von 40-60 kg/ha N_{\min} . Die Variante „AXK, SW, RW“ zeigt auch 2015 etwas erhöhte, aber von den anderen Varianten nicht signifikant höhere N_{\min} Gehalte. Die N_{\min} -Gehalte sind in Lundsgaard in allen Bodenschichten signifikant niedriger als in Soest, deutliche Unterschiede zwischen den Varianten gibt es wie in Soest nicht.

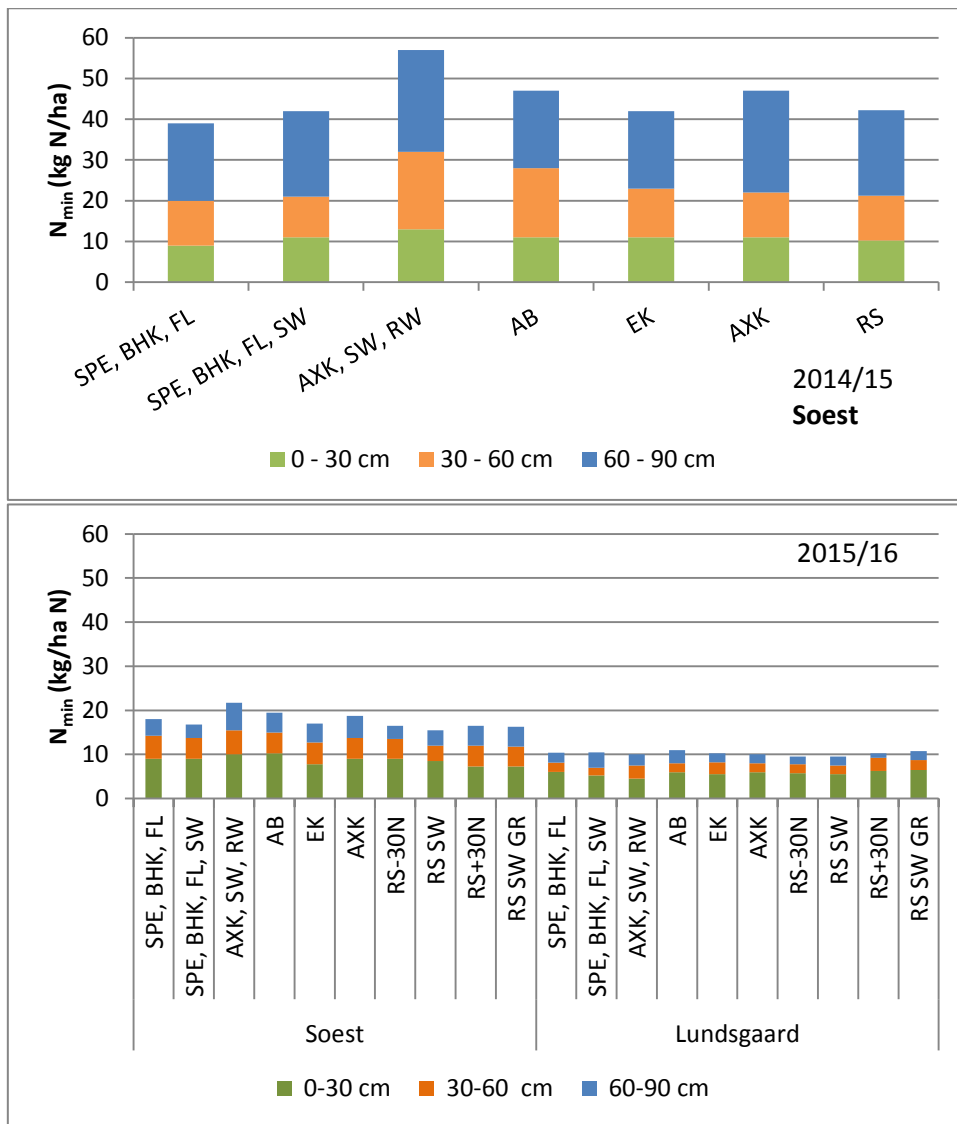


Abbildung 13: Nmin-Werte (kg N/ha) zu Vegetationsende in Soest (2014 und 2015) und Lundsgaard (2015) (2015/16: GD5% Ort 0-30cm = 1,0 kg/ha N; GD5% Ort 30-60cm = 0,6 kg/ha N; GD5% Ort 60-90cm = 0,8 kg/ha N; GD5% Ort 0-90cm = 1,7 kg/ha N; alle anderen Haupt und Wechselwirkungen = n.s.)

4.1.2 Ergebnisse zu Vegetationsbeginn

Nach dem Winter wurde zu Vegetationsbeginn 2015 und 2016 der Stand der Beisaaten bonitiert. Wie in Tabelle 9 ersichtlich sind insbesondere die Wicken und der Erdklee nicht wie gewünscht sicher abgefroren. Die Frostperiode im Januar 2016 hat zwar zu einem deutlich besseren Abfrieren als im Vorjahr geführt, war aber immer noch nicht ausreichend um die Beisaaten zum sicheren Absterben zu bringen.

Tabelle 9: Durchschnittlicher „Stand nach Winter“ von Raps und Beisaaten zu Vegetationsbeginn (1 = ausgewintert; 9 = keine Schäden)

| | Soest 2014/15 | Soest 2015/16 | Lundsgaard 2014/15 | Lundsgaard 2015/16 |
|-------------------------|------------------|------------------|-----------------------|-----------------------|
| Raps | 8 | 7,8 | 8 | 8,8 |
| Saatplatterbse | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Saatwicke | 7 | 3,1 | 7 | 1,8 |
| Bockshornklee | 1 | 1 | 2 | 1 |
| Futterlinse | 1 | 1,6 | 3 | 1 |
| Rotwicke | 3 | 1 | 6 | 1 |
| Ackerbohne | 1 | 1,3 | 2 | 1 |
| Erdklee | 7 | 7,5 | 9 | 9 |
| Alexandrinerklee | 2 | 1 | 3 | 2,6 |

Nach dem Winter wurde bei der Biomasse-Ernte ausschließlich der Raps beprobt. Wie bereits zu Vegetationsende konnte in Soest in beiden Jahren insgesamt ein höherer Raps-Biomassertrag festgestellt werden, als in Lundsgaard (Abbildung 14). Sowohl in Lundsgaard (+ 20 %) als auch in Soest (+ 26 %) fand über Winter 2014/15 ein Zuwachs an Biomasse statt. Im Winter 2015/16 nahm in Lundsgaard die Rapsbiomasse um 1,7 dt/ha TM = 13,8% ab, während in Soest wieder ein Zuwachs um 44% von 15,8 auf 22,8 dt/ha TM festgestellt werden konnte.

In Lundsgaard konnte in beiden Jahren und in Soest 2014/15 kein Einfluss der Beisaatenvarianten auf die Rapsbiomasse zu Vegetationsbeginn festgestellt werden. Im Jahr 2016 sind in Soest die Raps-Solo-Varianten Raps Solo -30kg/ha N und Raps solo Sollwert mit Graminizid allen Beisaatvarianten überlegen. Die Variante Raps Solo Sollwert ist den Beisaatvarianten ebenfalls mit Ausnahme der Varianten SPE, BHK, FL und AB überlegen. Die Rapsvariante Raps-solo-30kg/ha N unterscheidet sich mit Ausnahme der Variante AXK, SW, RW nicht von den anderen Beisaatvarianten. Hier ist zu beachten, dass sich zum Probenahmezeitpunkt die Raps-solovarianten bis auf die Graminizidbehandlung in RS SW Gr noch nicht unterscheiden, so dass von einer tendenziellen Überlegenheit der Raps solo-Varianten zu Vegetationsbeginn 2016 in Soest auszugehen ist.

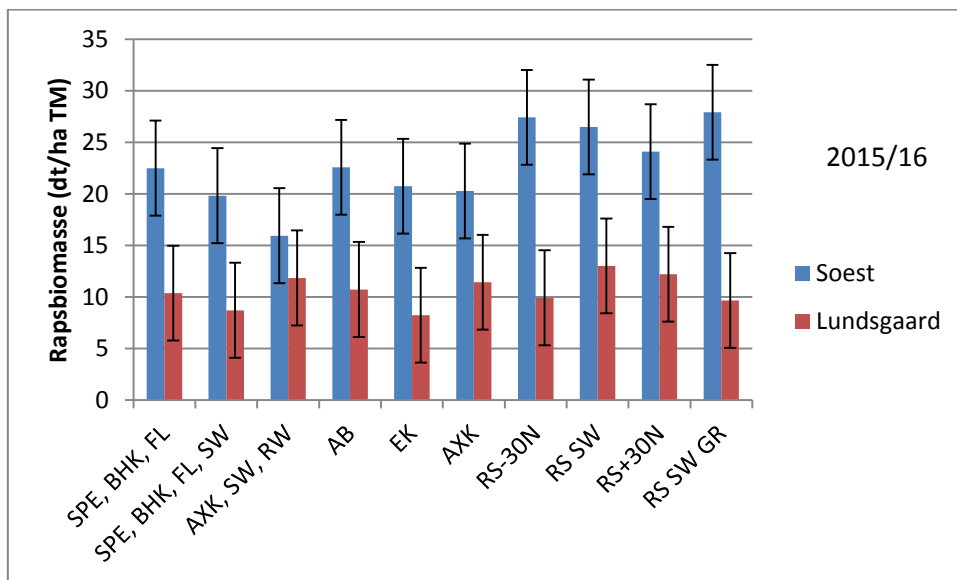
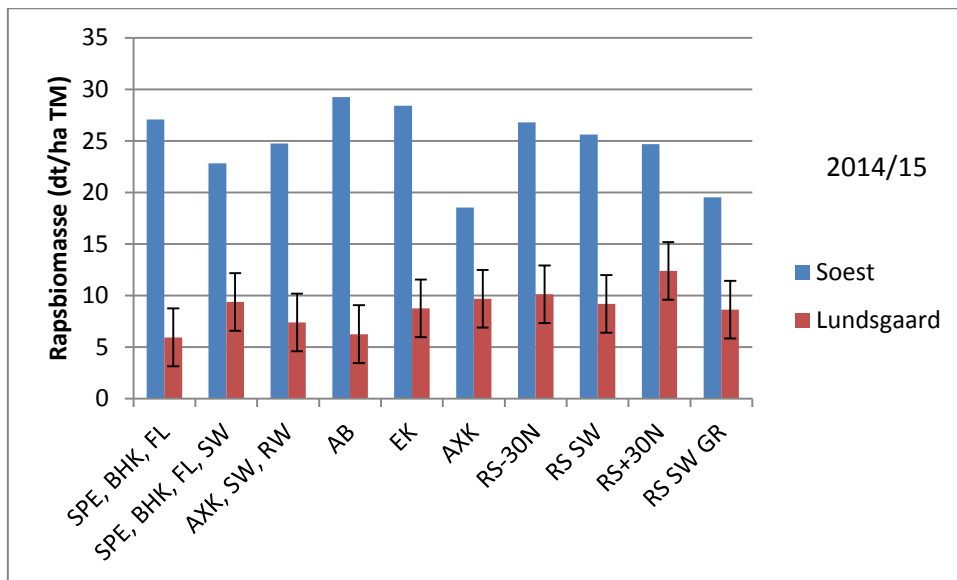


Abbildung 14: Raps-Biomasse (TM) zu Vegetationsbeginn 2015 an den Standorten Soest und Lundsgaard (2014/15 Lundsgaard GD 5 % Variante = 2,8 dt/ha TM)(2015/16 GD 5% Ort x Variante =4,6 dt/ha TM)

Zu Vegetationsbeginn weisen die Raps-Solo-Varianten in Soest, im Vergleich zu den Varianten mit legumer Beisat einen leicht erniedrigten N-Gehalt auf (Abbildung 15). In Lundsgaard kann kein signifikanter Einfluss der Beisaaten auf den N-Gehalt der Raps-Biomasse festgestellt werden.

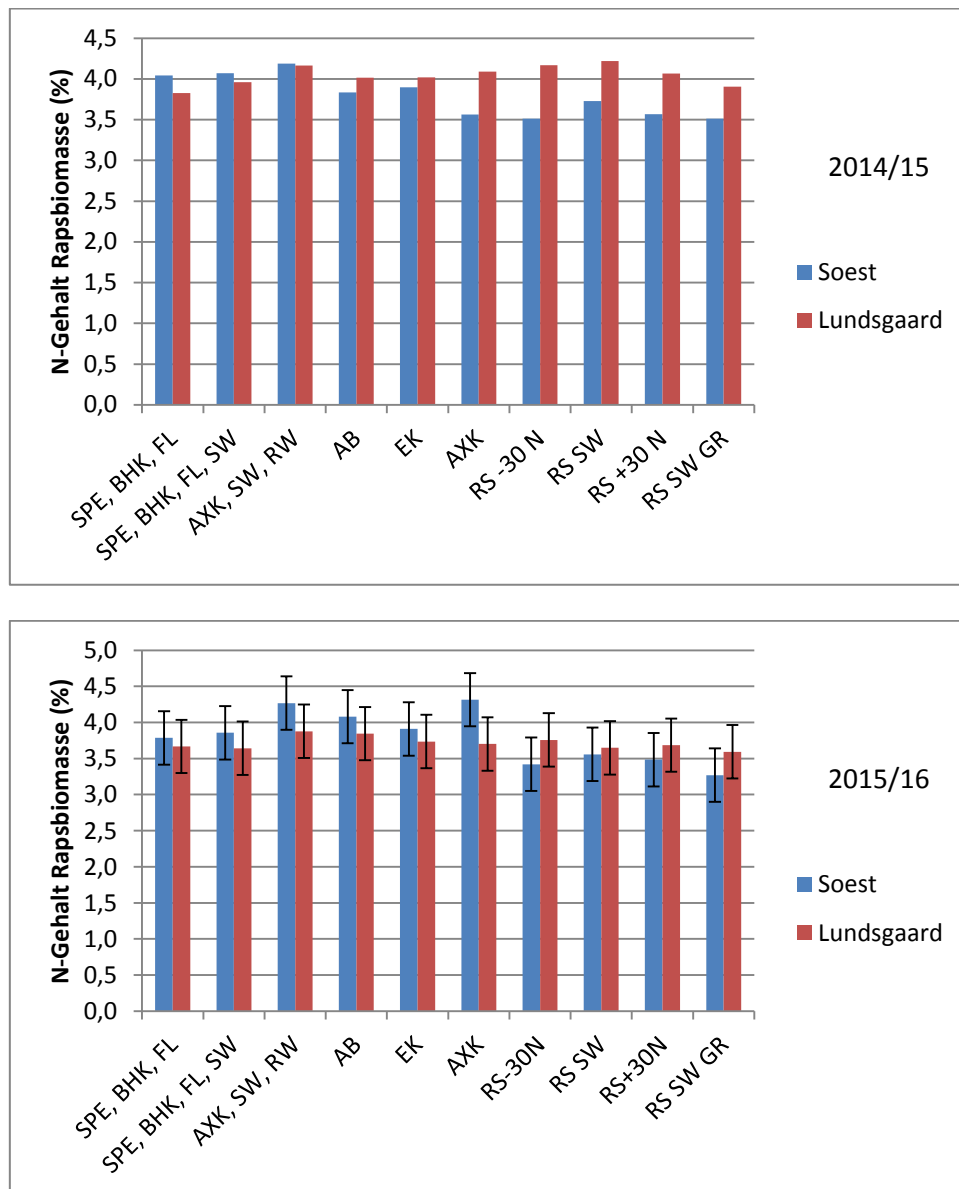


Abbildung 15: N-Gehalt der Raps-Biomasse zu Vegetationsbeginn 2015 und 2016 an den Standorten Soest und Lundsgaard (Lundsgaard 2014/15 GD5% Variante = n.s.; 2015/16 GD5% Variante x Ort =0,37%)

Im Mittel beider Versuchsjahre lag der N_{\min} -Gehalt des Bodens zu Vegetationsbeginn in Lundsgaard mit durchschnittlich 15 kg N/ha signifikant unter den Werten von Soest mit 23 kg N/ha. In Lundsgaard konnte keine Wirkung der Beisaaten auf den N_{\min} -Gehalt festgestellt werden. In Soest sind nach den Beisaaten AXK, SW, RW und AXK sowie tendenziell EK gegenüber den Raps-Solo-Varianten (RS) um 5-9 kg/ha höhere N_{\min} -Gehalte feststellbar.

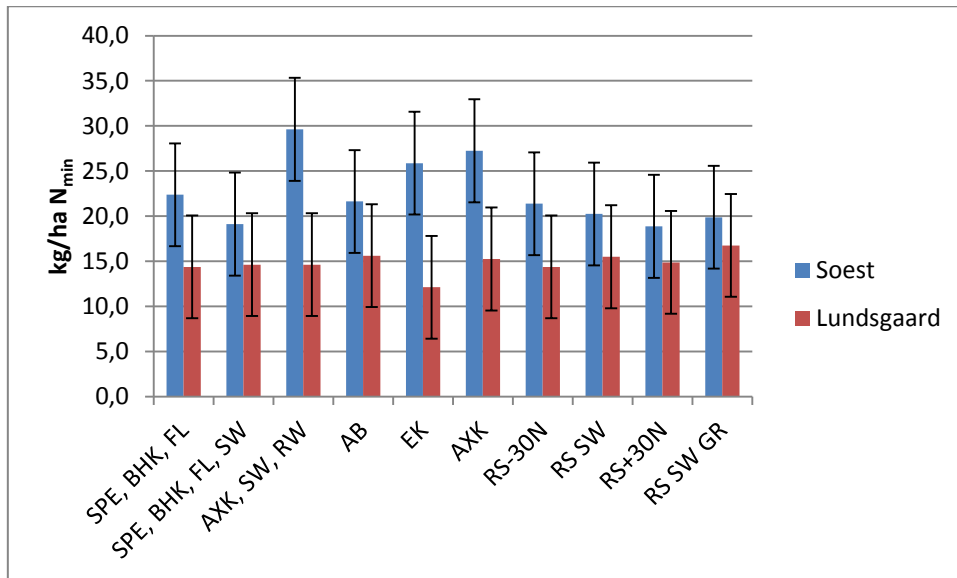


Abbildung 16: N_{min}-Gehalte im Boden 0-90 cm an den Standorten Soest und Lundsgaard zu Vegetationsbeginn im Mittel der Versuchsjahre 2014/15 und 2015/16 (GD5% Ort x Variante = 5,7 kg/ha N_{min} 0-90 cm)

4.1.3 Ernteergebnisse

Dadurch, dass in den Beisatvarianten mit Wicken und Erdklee über den Winter 2014/15 nicht vollständig abgefroren waren, konnten auch kurz vor der Ernte in Soest noch vereinzelt Wicken im Rapsbestand gefunden werden (Abb. 20) und auch Erdklee war unterständig noch zu finden (Abbildung 21). Die noch vorhandenen Beisaaten haben jedoch in der vorhandenen Form keine Ernteschwierigkeiten bereitet.

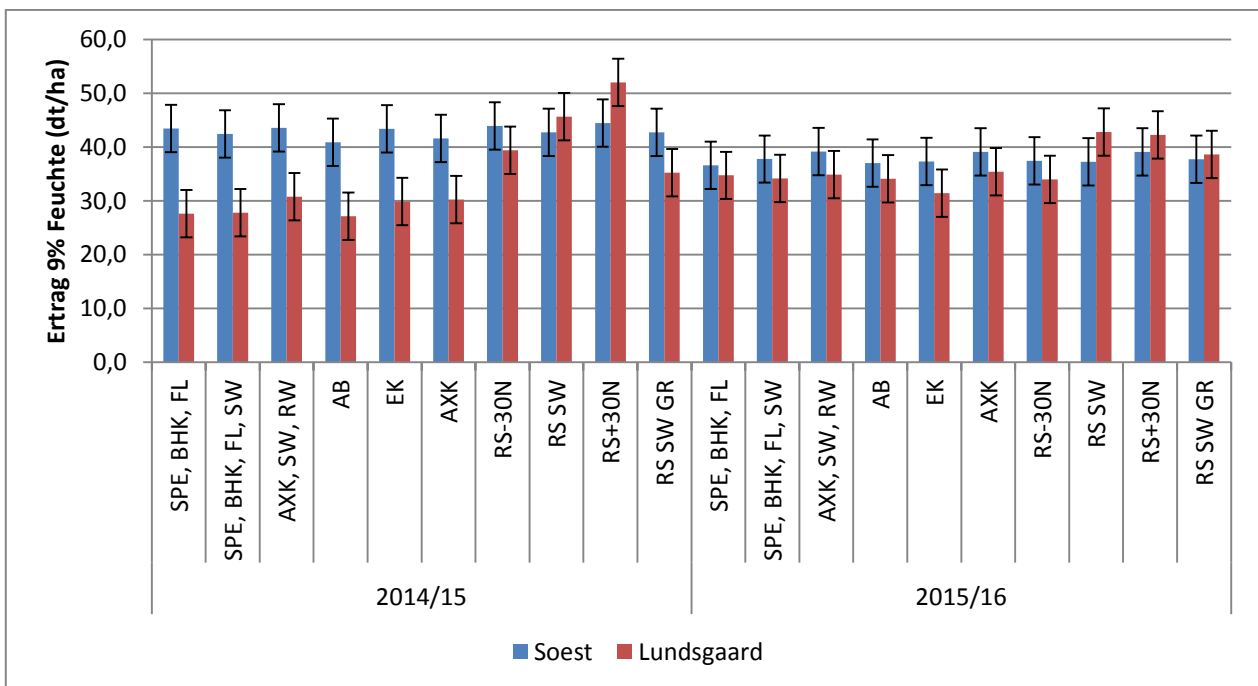


Abbildung 17: Rapsenertrag (9% Feuchte) an den Standorten Soest und Lundsgaard (GD 5 % Jahr * Standort * Variante = 4,4 dt/ha)

Im Mittel der Varianten konnte in Soest ein signifikant höherer Kornertrag als in Lundsgaard erzielt werden. Während in Soest in beiden Versuchsjahren kein Einfluss der verschiedenen Varianten auf den Kornertrag festgestellt werden konnte, wurde in Lundsgaard in beiden Jahren in den Raps-Solo-Varianten (Raps ohne Beisat) mit Düngung nach Sollwert bzw. einer erhöhten Düngung ein signifikanter Mehrertrag gegenüber den Beisat-Varianten erzielt (Abbildung). Selbst die Variante Raps ohne Beisat mit einer um 30 kg/ha reduzierten Düngung erreicht 2014/15 einen signifikanten Mehrertrag gegenüber den Beisatvarianten, in 2015/16 erreicht sie das Niveau der Beisatvarianten. Auch die Variante Raps-Solo mit reduziertem Herbizid-Einsatz fällt in Lundsgaard ertraglich ab, dies ist allerdings nur 2014/15 gesichert.

In Soest haben in den Raps-Solo Referenzvarianten weder die variierte N-Düngung noch die fehlende Herbizidbehandlung einen Einfluss auf den Rapsrertrag. In Soest herrschte insgesamt ein deutlich geringerer Unkrautdruck als in Lundsgaard. Dieser war auch ohne zusätzliche Herbizidmaßnahmen in der Rapsreinsaatvariante mit Graminizid nicht ertragsbeeinflussend. Deshalb konnte an diesem Standort eine mögliche ertragsbeeinflussende unkrautunterdrückende Wirkung der Raps-Beisaten nicht getestet werden. Insgesamt konnte in Soest durch die Variation der N-Düngung um maximal 60 kg N kein Ertragsunterschied in den Referenzvarianten erzielt werden. Als eine mögliche Ursache kommt ein höheres Mineralisationspotential im Boden am Standort Soest in Frage. Die betrachteten Anbaujahre stellen bezüglich des milden Winters und einer hoher N-Mineralisation aber zumindest 2015/16 auch hoher Auswaschungsgefahr Ausnahmejahre dar, so dass die Verallgemeinerungsfähigkeit der Ergebnisse begrenzt ist.

In Lundsgaard hingegen können in den Raps-Solo-Referenzvarianten eindeutige Stickstoffdüngungseffekte erkannt werden. Mit zunehmender N-Düngung ist bis zur Höhe des Sollwertes ein signifikanter Ertragszuwachs festzustellen, 2014/15 auch deutlich darüber hinaus. Gleichzeitig ist an diesem Standort bei gleicher N-Düngung (SW) auch eine signifikante Ertragsreduktion (2014/15) bei fehlendem Herbizideinsatz vorhanden. In Lundsgaard erreichen die Beisat-Varianten 2014/15 weder das Ertragsniveau der N-reduzierten Variante, noch das der Herbizid-reduzierten Variante und konnten daher in dem ersten Versuchsjahr weder die reduzierte N-Düngung noch die Herbizidreduktion ausgleichen. 2015/16 erreichen die Beisatvarianten das Ertragsniveau der N-reduzierten Variante. Das Ertragsniveau der Sollwert-gedüngten und Herbizid-reduzierten Variante wird 2015/16 nur von den aus mehreren Arten bestehenden Beisatmischungen und der Beisat mit Alexandrinerklee erreicht.

Im Gegensatz zu Soest ist der Standort Lundsgaard deutlich stärker Stickstoff-limitiert, er erreicht bei weitem nicht das N-Mineralisationsvermögen des Standorts Soest. Deshalb hat die Rücknahme der N-Düngung um nur 30 kg/ha N bereits eine deutliche Ertragsdepression zur Folge. Dies kann auch durch die Mineralisation des gebundenen Stickstoffs aus der Beisatenbiomasse nicht kompensiert werden. Allerdings ist das aufgrund der geringen oberirdisch gebundenen N-Menge auch nicht zu erwarten gewesen.

Der Ölgehalt des Rapses ist ein wichtiges Qualitätskriterium. In Lundsgaard konnte ein signifikant höherer Ölgehalt im Raps analysiert werden als in Soest. An beiden Standorten schnitten die optimal und höher mit N versorgten Referenzvarianten „RS SW“, „RS + 30 N“ sowie „RS SW GR“ schlechter ab als die N-reduzierten Varianten, dies ist in Soest in allen Fällen signifikant, in Lundsgaard ist der Ölgehalt nur in der Variante RS+30N gegenüber allen Beisatvarianten vermindert, in den nach Sollwert gedüngten Rapsvarianten „RS SW“ und „RS SW GR“ ist der Ölgehalt nur teilweise gesichert niedriger als der der Beisatvarianten. Zwischen den Beisat-Varianten und der Referenzvariante „RS – 30 N“ konnte an beiden Standorten kein signifikanter Unterschied ausgemacht werden.

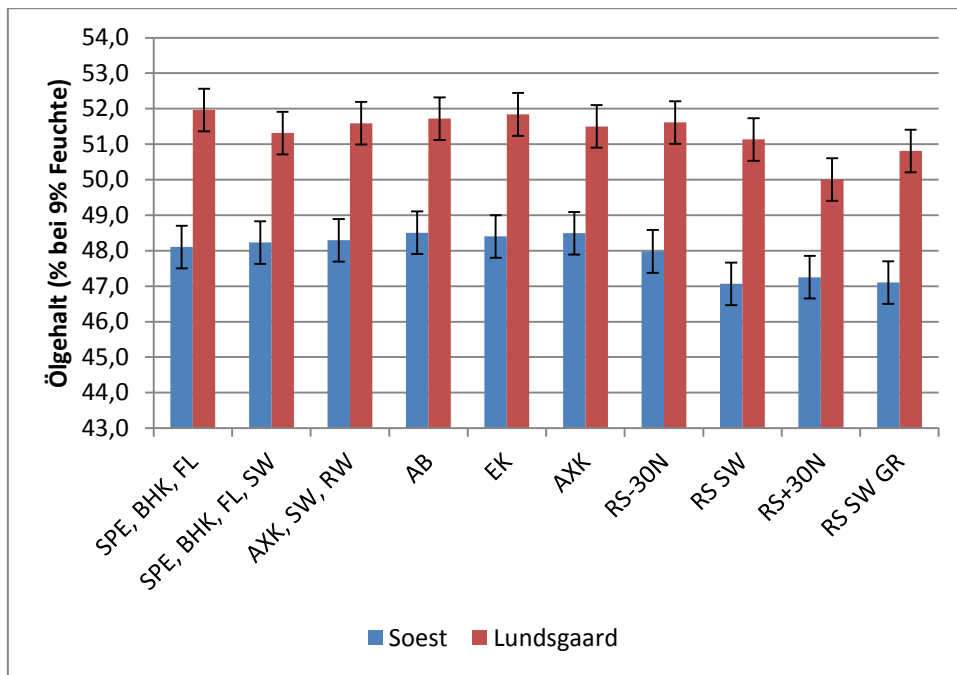


Abbildung 18: Ölgehalt des Rapses im Mittel der Erntejahre 2014/15 und 2015/16 (GD 5 % Standort * Variante = 0,6%)

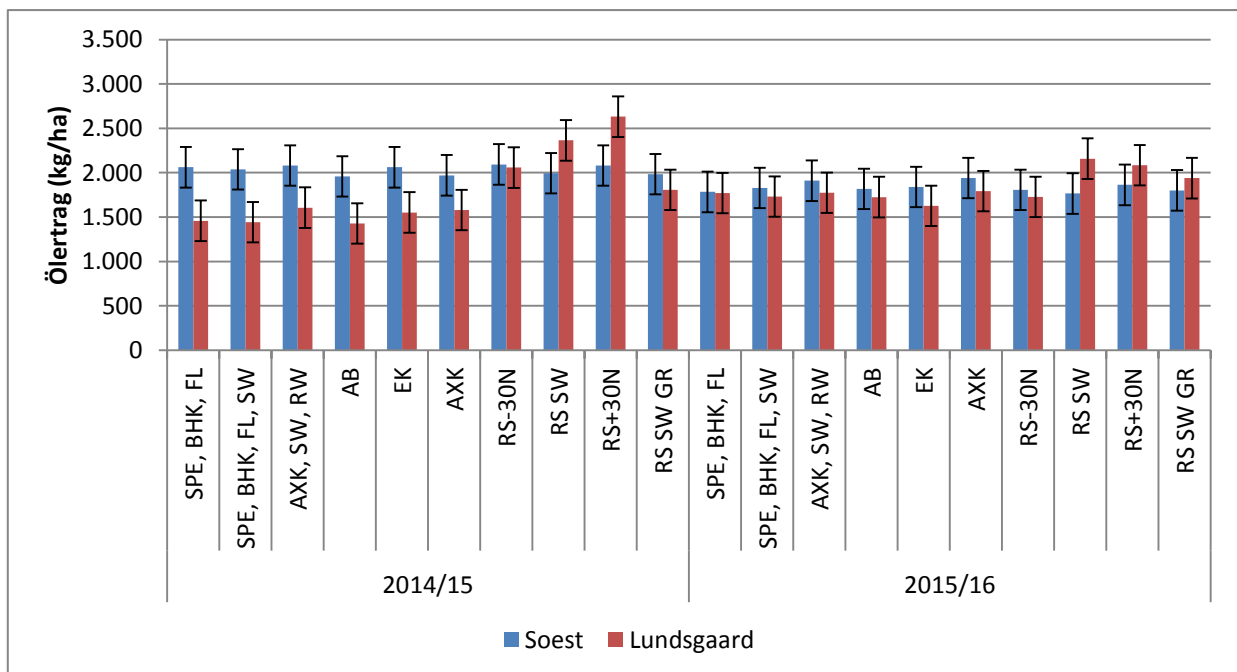


Abbildung 19: Ölertrag (kg/ha Öl) an den Standorten Soest und Lundsgaard (GD 5 % Jahr * Standort * Variante = 228 kg/ha)

Der Ölertrag der Referenz-Varianten (Abb. 19) unterscheidet sich in Soest in keinem Jahr von einer der Beisatvarianten. In Lundsgaard weisen dagegen in beiden Jahren die Varianten Raps-Solo-Sollwert und Raps-Solo+30kg/ha im Vergleich mit den Beisatvarianten signifikant höhere Ölerträge auf.

4.2 Raps-Beisaaten-Herbizidscreening

Zusätzlich zum Druschversuch wurde 2014 an beiden Standorten ein Beobachtungsversuch angelegt, in dem die Verträglichkeit der Beisaaten gegenüber den Standard-Voraufbau-Herbiziden im Raps (Varianten und Wirkstoffmengen siehe Tabelle 3) getestet wurde.

Wie in Tabelle 10 ersichtlich wurden in Lundsgaard insbesondere durch die Clomazone-haltigen Herbizide Colzor Trio und der Wirkstoffkombination Centium 36 CS/ Stomp Aqua Phytotoxschäden an den Leguminosen hervorgerufen. Wobei Colzor Trio mit Ausnahme von Ackerbohne und Erdklee in allen Leguminosen und Centium 36 CS/Stomp Aqua ausschließlich in den kleehaltigen Beisaaten Reaktionen hervorrief.

Die Metazachlor-haltigen Herbizide scheinen mit Ausnahme des Butisan Aqua Packs beim Alexandrinerklee keine phytotoxischen Schäden an den Beisaaten auszulösen. Neben dem Metazachlor wurden in den Herbizidvarianten 2 – 5 die Wirkstoffe Quinmerac und Dimethenamid mitgetestet. Auch diese scheinen in den angewendeten Wirkstoffmengen im Voraufbau unbedenklich zu sein. Beim Butisan Aqua Pack wird daher vermutlich der Wirkstoff Pendimethalin einsatzbegrenzend wirken.

Tabelle 10: Phytotox-Bonitur in Lundsgaard zu Vegetationsende 2014 (1 = keine Schäden; 9 = abgestorbene Pflanzen)

| Lundsgaard | SPE, BHK, FL | SPE, BHK, FL, SW | AXK, SW, RW | AB, FL, WK | AB, FE | AXK, BHK, SW | FL | AB | EK | AXK |
|------------------------------|--------------------|---------------------------|-------------------|------------------|-----------|--------------------|----|----|----|-----|
| Kontrolle | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Fuego | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Fuego Top | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Butisan Kombi | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Butisan Gold | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Centium 36 CS/ Stomp Aqua | 1 | 1 | 3 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 3 | 4 |
| Butisan Aqua Pack | 1 | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 4 |
| Colzor Trio | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 1 | 1 | 7 |

Ähnliche Ergebnisse wurden auch in Soest festgestellt. Die Colzor Trio Variante wies mit Ausnahme von Ackerbohne und Erdklee in allen anderen Varianten phytotoxische Veränderungen auf. Bei allen anderen getesteten Herbiziden konnten zu Vegetationsende keine Schäden an den Beisaaten mehr erkannt werden.

Um präzisere Aussagen zu der Art der Schäden zu geben und um zu überprüfen, ob die vegetative Entwicklung der Beisaaten durch die verschiedenen Herbizide auch nachhaltig beeinflusst wird, wurden im Rahmen einer Bachelorarbeit „Untersuchung zur Verträglichkeit von acht Raps-Herbiziden auf sieben verschiedene Leguminosen aus einem Raps-Beisaaten Versuchsprogramm“ im Frühjahr 2015 zusätzliche Untersuchungen in einem Gefäßversuch durchgeführt. Hierbei wurde unter anderem auch das Ergebnis erzielt, dass „die Clomazone-haltigen Herbizide Centium 36 CS und Colzor Trio Chlorosen und leichte Wachstumsrückschritte verursachen, die sich allerdings schnell auswachsen [...]“ (JÖRING, 2015). Darüber hinaus wurde festgestellt, dass Bockshornklee, Erdklee und Rotwicke auf den Einsatz von Fuego Top und Butisan Gold mit Entwicklungsrückständen reagieren, die einsatzbegrenzend wirken.

5 Diskussion

Die eingangs gestellten Fragen werden im Folgenden diskutiert und beantwortet.

5.1 Welche Leguminosen(-gemenge) eignen sich für die Beisat am besten?

Obwohl beide Versuchsjahre durch einen milden Herbst gekennzeichnet waren, der noch lange vegetatives Wachstum zuließ, konnte 2014 durch die späte Aussaat des Versuches insbesondere in Lundsgaard eine optimale Biomasseentwicklung der Beisaaten nicht mehr gewährleistet werden. Grundsätzlich ist ein früherer Aussaattermin anzustreben, um den legumen Beisaaten ausreichend Entwicklungszeitraum zu geben und eine höhere N-Bindung in den Beisaaten realisieren zu können. Das wurde auch 2015 trotz früherem Saattermin nicht in ausreichendem Maße erreicht. Nur in Soest wurden N-Bindungsraten in der oberirdischen Biomasse von über 25 kg/ha erreicht. Diese N-Mengen sind nicht ausreichend um einen deutlichen Beitrag zur N-Versorgung des Rapses zu leisten, zumal der Raps schon zu Vegetationsbeginn einen hohen N-Bedarf hat. Zu dem Zeitpunkt ist die N-Mineralisationsleistung im Boden noch sehr niedrig. In den klimatischen Unterschieden könnte auch eine Ursache der sehr divergierenden Erfahrungen in Frankreich und in Schleswig-Holstein in diesem Projekt liegen.

Nach den Erfahrungen in Frankreich (CETIOM 2012) ist ein Aussaattermin von Raps und Beisaaten 4-5 Tage vor dem normalen Saattermin anzustreben. Dies hat zum einen eine sichere Rapsentwicklung zur Folge und auch die Beisaaten erreichen ein Entwicklungsstadium, das sie sicher abfrieren lässt. Je weiter entwickelt die Beisaaten sind, desto frostempfindlicher werden sie. 2014 wurden die Beisat-Leguminosen relativ spät gesät und 2015 erfolgte die Aussaat zum normalen (Lundsgaard) bis frühen Termin (Soest). Im Einzelnen sind folgende Artunterschiede zu erkennen (Tabelle 9).

Rot- und Saatwicken haben infolge der späten Aussaat und wenig fortgeschrittener Entwicklung den Winter 2014/15 in erheblichem Umfang an beiden Standorten mit hoher Vitalität überlebt und sind 2015/16 bei normalem bis frühem Aussaattermin nahezu vollständig erfroren.



Abbildung 20: Einzelne Saatwicken im Rapsbestand in Soest am 03.07.2015



Abbildung 21: Erdklee unterhalb des Rapsbestandes in Soest am 03.07.2015

Der Erdklee erweist sich als nahezu vollständig frostfest. Nur weil er in der weiteren Vegetation unter dem Rapsschirm nahezu nicht bemerkbar ist, ist er insgesamt unproblematisch. Auf Trockenstandorten könnte der zusätzliche Wasserverbrauch auch im Unterstand kritisch werden. Ob und wieviel des gebundenen N aus den noch lebenden Pflanzen mineralisiert wird, sollte Gegenstand weiterer Untersuchungen sein.

Der im Herbst 2015 in Soest gut entwickelte Alexandrinerklee erfriert im Winter vollständig, während er 2014 in Soest und in beiden Jahren Lundsgaard bei schwächerer Entwicklung nicht vollständig abfriert (Tabellen 5-7 und 9).

Grundsätzlich frieren die Saatplatterbse und der Bockshornklee vollständig ab. Bei den anderen Arten können je nach Entwicklungsstand im Herbst Einzelpflanzen einen milden Winter mit geringem Frost überstehen.

In dieser Versuchsserie wird deutlich, dass das Verfahren Raps mit legumen Beisaaten nur bei frühen Saatterminen eine Chance auf Praxistauglichkeit hat. Hierzu sind noch weitere Untersuchungen erforderlich.

5.2 Wie reagiert der Raps (Ertrag/Qualität) auf die Beisaat?

In Soest hat keine der geprüften Varianten Einfluss auf den Rapsenertrag und den Ölgehalt, weder in positiver noch in negativer Hinsicht. Da in Soest auch die N-reduzierten Referenzvarianten keinen Minderertrag verzeichneten, ist davon auszugehen, dass der Raps aufgrund des hohen N-Mineralisationspotentials des Standortes auch in diesen Varianten noch ausreichend mit Stickstoff versorgt ist.

Dagegen zeigt sich in Lundsgaard, dass die Referenz-Varianten ohne Beisaaten insbesondere mit zunehmender N-Düngung einen signifikanten Mehrertrag gegenüber den Beisaat-Varianten aufweisen. In Lundsgaard ist das N-Mineralisationspotential des Bodens offensichtlich deutlich niedriger, sodass der Raps auch die über den Sollwert hinausgehende N-Gabe noch in Mehrertrag umsetzt. Die Beisaaten in Lundsgaard konnten die reduzierte N-Düngung nicht ausgleichen, da bei weitem nicht ausreichend Biomasse gebildet werden konnte, um eine ausreichende N-Bindung und damit N-Mineralisationspotential zu realisieren. Dementsprechend sind die N_{min}-Gehalte im Boden in Lundsgaard zu Vegetationsbeginn von den Beisaaten unbeeinflusst und mit 12-17 kgN/ha niedrig.

5.3 Wie viel mineralischer Stickstoff kann durch die legumen Beisaaten zum Raps eingespart werden und welche THG-Reduktion kann dadurch erzielt werden?

Hier sind beide Standorte differenziert zu betrachten. In Soest kann aufgrund des hohen Stickstoff-Nachlieferungspotentials generell das N-Düngungsniveau abgesenkt werden. Eine Zurücknahme um 30 kg/ha N hat auf diesem Standort keine negativen Folgen auf den Rapsertag bzw. den Ölgehalt. Hier sind andere Faktoren wirksam, die den Ertrag begrenzen.

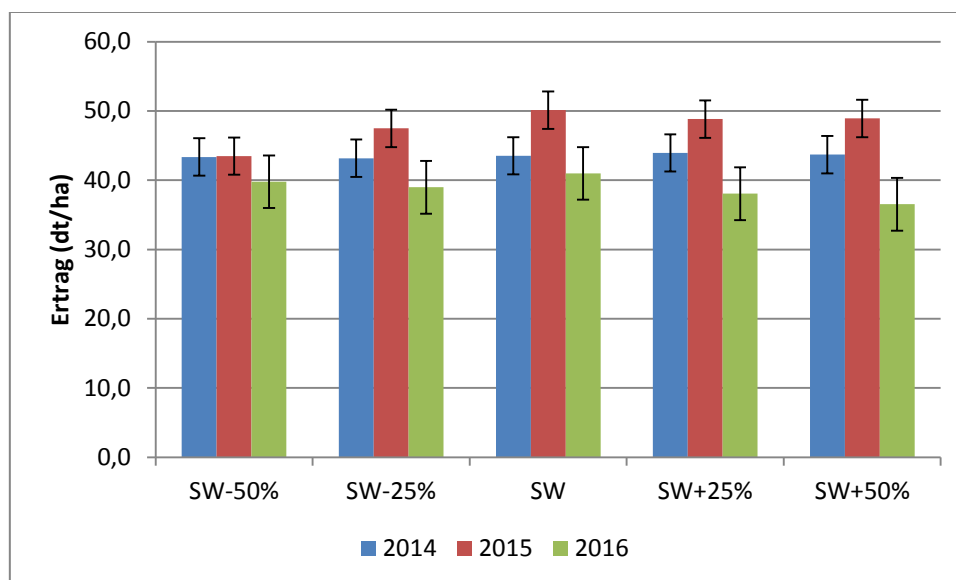


Abbildung 22: Rapsertag am Standort Soest in Abhängigkeit von der Höhe der N-Düngung in den Jahren 2014-2016 im Projekt Klimafarm (SCHÄFER et. al. 2017)

Dies wird auch in einem anderen N-Steigerungsversuch zu Raps am gleichen Standort in zwei Betriebssystemen (Mulchsaat, Direktsaat) in den Jahren 2014-2016 deutlich (Abb.22), selbst durch eine Zurücknahme der N-Düngung um 50 % vom Sollwert ($\varnothing = -100$ kg N/ha) verändert sich der Ertrag 2014 und 2016 nicht signifikant (SCHÄFER et. al. 2017), 2015 kann die N-Düngung um 25% vom Sollwert (= 50 kg/ha) ohne signifikante Ertragsreaktion zurückgenommen werden. Dies gilt für beide Betriebssysteme gleichermaßen.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die legumen Beisaaten am Standort Soest trotz vergleichsweise guter Entwicklung und einer N-Bindung der kleehaltigen Varianten von etwa 25 kg N in der oberirdischen Biomasse, keinen nennenswerten Beitrag zu N-Einsparung leisten können, hier aber die N-Düngung zu Raps grundsätzlich Optimierungsmöglichkeiten bietet.

Auf dem Standort Lundsgaard ist das N-Mineralisationspotential deutlich geringer, so dass die N-Düngung bei normalen Aussatterminen und Vorwinterentwicklung in Höhe der Sollwertempfehlung der Officialberatung erfolgen sollte. Auch bei normalen Aussatterminen erreicht die N-Bindung in der oberirdischen Pflanzenmasse durch keine der legumen Beisaaten an diesem Standort 15kg N/ha, selbst bei einer identischen N-fixierung in der Wurzelmasse ist diese N-Menge bilanzmäßig selbst bei vollständiger Mineralisation nicht ausreichend um eine messbare N-Wirkung zu erreichen. Mit einer Aussaat zum normalen Rapsaattermin erscheint das Ziel einer N-Einsparung durch legume Beisaaten nicht realisierbar. Deshalb muss das Ziel weiterer Untersuchungen sein, durch weitere Vorverlegung des Saattermins eine Verbesserung der Entwicklung der legumen Beisaaten mit einer deutlich höheren N-Bindung zu erreichen.

Aufgrund der vorliegenden Ergebnisse konnte auf eine Berechnung der THG-Minderung verzichtet werden.

5.4 Kann der Herbizidaufwand tatsächlich reduziert werden?

Bei insgesamt geringerem Unkrautdruck ohne Problemunkräuter am Standort Soest ist der Raps konkurrenzstark genug um eine ausreichende unkrautunterdrückende Wirkung zu besitzen. Hier kann ein Graminizid schon ausreichend sein. An diesem Standort hat die Beisat keinen messbaren zusätzlichen Effekt.

In Lundsgaard konnte sich bei höherem Unkrautdruck insbesondere die Erdklee-Variante behaupten, dies reichte jedoch nicht aus, um die Herbizidmaßnahme gegen Dikotyle Unkräuter zu ersetzen. Auch hier könnte sich eine bessere Biomasseentwicklung der Beisaaten durch einen früheren Saattermin als förderlich erweisen. An den beiden Versuchsstandorten wurden unterschiedliche Drilltechniken angewandt. Während in Soest ein Gemenge aus Raps und Beisat ausgebracht wurde, ist man 2014 in Lundsgaard aus technischen Gründen auf eine Aussaat in alternierende Reihen ausgewichen. Da nach dem ersten Jahr der Eindruck gewonnen wurde, dass dies erheblichen Einfluss auf die Etablierung der Beisaaten hat, wurde für das zweite Versuchsjahr eine einheitliche Aussaattechnik im Gemenge eingesetzt. Auch dies konnte die Ergebnisse nicht ausreichend verbessern.

Insgesamt müssen diese Konkurrenzbeziehungen zwischen Raps, Unkräutern und Beisaaten bei differenzierten Unkrautgesellschaften weiter untersucht werden.

5.5 Wie ist die Beisat ökonomisch zu bewerten?

Das Verfahren der legumen Beisaaten ist noch nicht praxisreif, insbesondere in Bezug auf die optimalen Ausattermine und die in diesen Versuchsserien geringen auf die Düngung anrechenbaren N-Mengen gibt es noch zu viele ungeklärte Fragen.

Den zusätzlichen Saatgutkosten von ca. 50-70,- €/ha stehen keine beisaatbedingten Einsparungsmöglichkeiten bei der N-Düngung und bei der Unkrautbekämpfung sowie keine Mehrerträge gegenüber, so dass sich eine detaillierte ökonomische Bewertung beim derzeitigen Entwicklungsstand des Verfahrens erübrigt.

6 Öffentlichkeitsarbeit

Innerhalb des Berichtszeitraumes wurden die ersten Ergebnisse bei der UFOP-Fachgruppensitzung am 03.12. 2015 in Berlin veröffentlicht. Beim niedersächsischen Wochenblatt Land und Forst ist in Heft 35/2016 ein Fachbeitrag veröffentlicht worden (RÖPER et al. 2016). Eine weitere Veröffentlichung in der Zeitschrift Top agrar ist für 2017 geplant.

Darüber hinaus wurden die Versuchsflächen im Rahmen von Fachexkursionen jährlich im 3. Und 5. Fachsemester durch die Studierenden der Fachhochschule Südwestfalen besichtigt. Die Ergebnisse werden im Rahmen der Vorlesungen vorgestellt.

7 Literaturverzeichnis

- AUFHAMMER, W., E. KÜBLER & H-P. PIEPHO, 2004: Getriedearten und Körnerleguminosen als Komponenten von Mischbeständen – 1. Mitteilung: Mischungseffekte auf die Kornerträge. In: Pflanzenbauwissenschaften, 8 (2), Verlag Eugen Ulmer GmbH & Co., Stuttgart.
- AUFHAMMER, W., E. KÜBLER & H-P. PIEPHO, 2005 a: Getriedearten und Körnerleguminosen als Komponenten von Mischbeständen – 2. Mitteilung: Mischungseffekte auf die Produktion und die Verteilung der Sprosstrockenmasse. In: Pflanzenbauwissenschaften, 9 (1), Verlag Eugen Ulmer GmbH & Co., Stuttgart.
- AUFHAMMER, W., E. KÜBLER & H-P. PIEPHO, 2005 b: Getriedearten und Körnerleguminosen als Komponenten von Mischbeständen – 3. Mitteilung: Mischungseffekte auf die N-Akkumulation in der Sprosstrockenmasse und die N_{\min} -Rückstände im Boden. In: Pflanzenbauwissenschaften, 9 (2), Verlag Eugen Ulmer GmbH & Co., Stuttgart.
- BACHINGER, J., H. FISCHER, G. STANGE, 2007: Neue Anbaustrategien zur Erhöhung der N-Effizienz und zur Reduzierung des Unkrautdruckes im ökologischen Landbau. <http://orgprints.org/15170/1/15170-03OE180-zalf-bachinger-2007-stickstoffeffizienz.pdf>, abgerufen am 05.06. 2014
- CADOUX, S., G. SAUZET, M. VALANTIN-MORISON, C. PONTET, L. CHAMPOLIVIER, C. ROBERT, J. LIEVEN, F. FLENT, O. MANGENOT, P. FAUVIN, N. LANDE 2015: Intercropping frost-sensitive legume crops with winter oilseed rape reduces weed competition, insect damage and improves nitrogen use efficiency. *Oilseeds& fats Crops and Lipids OCL*, 2015, 22(3) D302.
- CETIOM, 2010: Couverts associés au colza- Premiers résultats. http://www.cetiom.fr/fileadmin/cetiom/regions/Est/2010/OLEOmail/OLEOmail-2010-07-29_colza_couverts_associes.pdf , abgerufen am 07.01.2014.
- CETIOM, 2012: Conduire un colza avec un couvert associé. http://www.cetiom.fr/fileadmin/cetiom/regions/Ouest/publications/synthese_dossiers/2012/JC_OLEOTECH_colzas_associes_juillet_2012_v1.0.pdf, abgerufen am 10.01.2014.
- DIEPENBROCK, W., 2006: Physiologie der Ertragsbildung. In: Heyland, K.-U., H. Hanus, E. R. Keller 2006: Handbuch des Pflanzenbaus, Band 4, Ölfrüchte, Faserpflanzen, Arzneipflanzen und Sonderkulturen. Eugen Ulmer KG, Stuttgart.
- DWD 2015a: Klima und Umwelt- Deutscher Klimaatlas http://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimaatlas/klimaatlas_node.html
- DWD 2015b: Pressemitteilung vom 28. Dezember 2015 http://www.dwd.de/DE/presse/pressemitteilungen/pressemitteilungen_node.html
- DWD 2016a: Pressemitteilung vom 30. März 2016 http://www.dwd.de/DE/presse/pressemitteilungen/pressemitteilungen_node.html
- DWD 2016b: Pressemitteilung vom 14. Juni 2016 http://www.dwd.de/DE/presse/pressemitteilungen/pressemitteilungen_node.html
- DWD 2016c: Pressemitteilung vom 20. September 2016 http://www.dwd.de/DE/presse/pressemitteilungen/pressemitteilungen_node.html
- FARMERS GUIDE, 2014: Companion crop gives OSR a helping hand. <http://www.farmersguide.co.uk/page.aspx?p=219&article=3278>, abgerufen am 11.02.2014.
- GRAF, T.,A. GURGEL, 2015: Ein Weg zur besseren N-Bilanz? DLG-Mitteilungen 7/2015 S. 26-27.
- JÖRING, T. (2015): Untersuchung zur Verträglichkeit von acht Raps herbiziden auf sieben verschiedene Leguminosen aus einem Raps-Beisaaten Versuchsprogramm. Bachelorarbeit. Fachhochschule Südwestfalen, Fachbereich Agrarwirtschaft.
- KRAUME, S., 1989: Untersuchungen zur Interferenz zwischen Pflanzen am Beispiel der Beeinflussung der Hauptkultur Zuckerrübe durch verschiedene mitwachsende Beipflanzenarten. Diss. Bonn, 1989.
- LANDÉ, N., G. SAUZET, P. LETERME, 2013: Is oilseed rape mixed cropping an efficient solution to reduce nitrogen fertilization, weed population and damage caused by insects? Vortrag am 30.04.2013 in Changins.
- LANDWIRTSCHAFTSKAMMER NORDRHEIN-WESTFALEN, 2013: Vielfältige Fruchtfolge. <http://www.landwirtschaftskammer.de/foerderung/laendlicherraum/44.htm>, abgerufen am 05.06.2014.
- MENDHAM, N. J., R.K. SCOTT, 1975: The limiting effect of plant size at inflorescence initiation on subsequent growth and yield of oil-seed rape (*brassica napus*). *J. Agric. Sci. (Camb.)* 96, 417-428.

- MUNLV (Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, 2007: Klimawandel in Nordrhein-Westfalen – Wege zu einer Anpassungsstrategie 34 Seiten.
- PAULSEN H. M., H. BÖHM, P. STUCKERT, J. ULVERICH, 2003 a: Anbau von Raps mit Kleeuntersaat im ökologischen Landbau. <http://orgprints.org/1697/1/1697-paulsen-hm-2003-rapsanbau-kleeuntersaat.pdf>, abgerufen am 05.06.2014.
- PAULSEN, H. M., C. DAHLMANN und M. PSCHIEDL, 2003 b: Anbau von Ölpflanzen im Mischanbau mit anderen Kulturen im ökologischen Landbau. Beitrag präsentiert bei der Konferenz: 7. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau - Ökologischer Landbau der Zukunft, Universität für Bodenkultur, Wien - Institut für ökologischen Landbau, 24-26 Februar 2003; Veröffentlicht in Freyer, Bernhard, (Hrsg.) Ökologischer Landbau der Zukunft - Beiträge zur 7. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau, Seite(n) 49-52. <http://orgprints.org/1862/1/1862-paulsen-hm-oelpflanzen-mischanbau-2003.pdf>, abgerufen am 05.06.2014.
- PAULSEN, H. M., M. SCHOCHOW, B. ULBER, S. KÜHNE und G. RAHMANN, 2006: Mixed cropping systems for control of weeds and pests in organic oilseed crops. In: Atkinson, C; Ball, B; Davies, D H K; Rees, R; Russell, G; Stockdale, E A; Watson, C A; Walker, R und Younie, D (Hrsg.) *Aspects of Applied Biology 79, What will organic farming deliver? COR 2006*, Association of Applied Biologists, S. 215-219. http://orgprints.org/10230/1/Mixed_cropping_systems_for_biological_control_of_weeds_and_pests_in_organic_oilseed_crops.pdf, abgerufen am 05.06.2014.
- RÖPER, K., M. SCHLATHÖLTER, F.-F. GRÖBLINGHOFF, D. KRAMPS-ALPMANN, B. C. SCHÄFER 2016: Raps aus dem Kreuzfeuer nehmen, *Land & Forst* 35, 28-30.
- ROSSBERG, D., V. GUTSCHE, S. ENZIAN, M. WICK, 2002: NEPTUN 2000 – Erhebung von Daten zum tatsächlichen Einsatz chemischer Pflanzenschutzmittel im Ackerbau. Berichte aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Heft 98.
- SCHÄFER B.C. 2011: Ölfrüchte. In: Lütke Entrup, N. und B. C. Schäfer (Hrsg): Lehrbuch des Pflanzenbaus, Band 2: Kulturpflanzen. 3. Überarbeitete Auflage, AgroConcept GmbH, Bonn.
- SCHÄFER B.C., D. KRAMPS-ALPMANN, K. RÖPER, U. ERNST, H. LASER, TH. WEYER, J. BRUNOTTE, K. KORTE, N. RUOSS, H. FLESSA, 2017: Klimateoptimierte Anpassungsstrategien in der Landwirtschaft (optimierter Klimabetrieb). Abschlussbericht der Forschungsvorhabens im Auftrag von MKULNV NRW und BMEL Projektträger BLE, Förderkennzeichen: 2810HS012, in Vorbereitung.
- SCHOCHOW M., & H. M. PAULSEN 2005: Unkrautunterdrückung von ökologischen Mischfruchtanbausystemen: Effektivitätskontrolle durch Messung der photosynthetisch aktiven Strahlung. In: HEß, J und RAHMANN, G (Hrsg.) *Ende der Nische, Beiträge zur 8. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau*, kassel university press GmbH, Kassel. <http://orgprints.org/3571/1/3571.pdf>, abgerufen am 05.06.2014.
- VDLUFA (1983): Die chemische Untersuchung von Futtermitteln. Methodenbuch Band III. VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- VDLUFA (2006): Die chemische Untersuchung von Futtermitteln. Methodenbuch Band III. 6. Ergänzungslieferung, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- WERNER, A. , 1986: Nutzung zwischenpflanzlicher Konkurrenz in Form von Mischkultursystemen zur biologischen Unkrautbekämpfung in Mais und der Einfluss der Beipflanzen auf die Ertragsbildung der Kulturpflanze. Diss. Bonn 1986.

Anhang

Tabelle 11: Bonitur- und Arbeitstermine an den Standorten in den Jahren 2014/15 und 2015/16

| | Soest | | Lundsgaard | |
|-----------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | 2014/2015 Datum | 2015/2016 Datum | 2014/2015 Datum | 2015/2016 Datum |
| Bonitur | | | | |
| Aussaat | 05.09.2014 | 31.08.2015 | 03.09.2015 | 21.8.2015 |
| Auflauf (%) | 11.09.2014 | 11.09.2015 | 16.09.2014 | 09.09.2015 |
| Bodenbedeckung Raps VE | 13/14.11.2014 | 26.11.2015 | 06.10.2014 | 16.09.2015 |
| Bodenbedeckung Beisaaten VE | 13/14.11.2014 | 26.11.2015 | 06.10.2014 | 16.09.2015 |
| Unkrautbedeckung VE | 13/14.11.2014 | 26.11.2015 | 23.10.2014 | 19.10.2015 |
| Oberirdische Biomasse geerntet VE | 13/14.11.2014 | 15.12.2015 | 11.11.2014 | 07.12.2015 |
| Stand vor Winter VE | 13/14.11.2014 | 26.11.2015 | 28.11.2014 | 08.12.2015 |
| Rapspflanzen / m ² VE | 13/14.11.2014 | 26.11.2015 | 09.12.2014 | 08.12.2015 |
| Wurzelhalsdurchmesser VE | 13/14.11.2014 | 26.11.2015 | 16.12.2014 | 08.12.2015 |
| BBCH Raps VE | 13/14.11.2014 | 26.11.2015 | 16.12.2014 | 08.12.2015 |
| Sprossachsenlänge VE | 13/14.11.2014 | 26.11.2015 | 16.12.2014 | 08.12.2015 |
| Bodenproben VE | 15.12.2014 | 09.12.2015 | 15.12.2014 | 09.12.2015 |
| Bodenproben VB | 24.02.2015 | 19.02.2016 | 19.02.2015 | 23.02.2016 |
| Oberirdische Biomasse geerntet VB | 24.02.2015 | 19.02.2016 | 12.03.2015 | 29.02.2016 |
| Stand nach Winter Raps VB | 17.03.2015 | 16.03.2016 | 09.03.2015 | 24.03.2016 |
| KDG Unkraut VB | 17.03.2015 | 16.03.2016 | 09.03.2015 | 01.03.2016 |
| KDG Beisaat VB | 17.03.2015 | 16.03.2016 | 09.03.2015 | 01.03.2016 |
| KDG Raps VB | 17.03.2015 | 16.03.2016 | 09.03.2015 | 01.03.2016 |
| BBCH Raps VB | 17.03.2015 | 16.03.2016 | 09.03.2015 | 01.03.2016 |
| Rapspfl. / m ² VB | 17.03.2015 | 16.03.2016 | 09.03.2016 | 01.03.2016 |
| Unkrautdruck | 03.07.2015 | - | 23.07.2015 | 08.07.2016 |
| Ernte | 24.07.2015 | 19.7.2016 | 10.08.2015 | 25.07.2016 |