

## Entwicklung von Maissorten für den Ökologischen Landbau (Arbeitspaket 1)

Development of maize varieties for organic farming

**FKZ: 10OE108**

**Projektnehmer:**

Georg-August-Universität Göttingen, Department für Nutzpflanzenwissenschaften,  
Abteilung Pflanzenbau

Von-Siebold-Straße 8, 37075 Göttingen

Tel.: +49 551 39-4352

Fax: +49 551 39-4601

E-Mail: [rjung@uni-goettingen.de](mailto:rjung@uni-goettingen.de)

Internet: [www.uni-goettingen.de/de/40486.html](http://www.uni-goettingen.de/de/40486.html)

**Autoren:**

Jung, Rüdiger

Gefördert durch das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages im Rahmen des Bundesprogramms Ökologischer Landbau und andere Formen nachhaltiger Landwirtschaft.

Die inhaltliche Verantwortung für den vorliegenden Abschlussbericht inkl. aller erarbeiteten Ergebnisse und der daraus abgeleiteten Schlussfolgerungen liegt beim Autor / der Autorin / dem Autorenteam. Bis zum formellen Abschluss des Projektes in der Geschäftsstelle Bundesprogramm Ökologischer Landbau und andere Formen nachhaltiger Landwirtschaft können sich noch Änderungen ergeben.

---

**Zuwendungsempfänger:**

Georg-August-Universität Göttingen

**Förderkennzeichen:**

10OE108

GZ: 512-06.01-2810OE108

---

**Vorhabenbezeichnung:**

Entwicklung von Maissorten für den Ökologischen Landbau

---

**Laufzeit des Vorhabens:** 14.04.2011 – 31.12.2015

---

**Berichtszeitraum:** 14.04.2011 – 31.12.2015

---

## Schlussbericht

### Arbeitspaket 1

FKZ 10OE108

## Entwicklung von Untersaaten und Untersaatenmischungen zur Reduzierung des Unkrautdruckes in Mais

**Projektleitung:**

Prof. Dr. Rolf Rauber  
Georg-August-Universität Göttingen  
Department für Nutzpflanzenwissenschaften, Abteilung Pflanzenbau  
Von-Siebold-Str. 8, 37075 Göttingen  
Tel.: 0551 / 39-4351 (Sekretariat: -4352), rrauber@uni-goettingen.de

**Projektausführung:**

Dr. Rüdiger Jung (Textautor)  
Georg-August-Universität Göttingen  
Department für Nutzpflanzenwissenschaften, Abteilung Pflanzenbau  
Von-Siebold-Str. 8, 37075 Göttingen  
Tel.: 0551 / 39-4354, rjung@uni-goettingen.de

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einführung</b>	<b>4</b>
1.1	Gegenstand des Vorhabens	4
1.2	Ziele und Aufgabenstellung im Arbeitspaket 1	4
1.3	Planung und Ablauf des Projektes	5
<b>2</b>	<b>Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde</b>	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>Material und Methoden</b>	<b>7</b>
3.1	Beschreibung der Untersuchungsstandorte	7
3.1.1	Geologie und Böden	7
3.1.2	Klima	9
3.2	Beschreibung der pflanzenbaulichen Feldversuche	11
3.2.1	Versuchsdesign und Behandlungen	11
3.2.2	Untersuchungsfaktor Maissorten	12
3.2.3	Untersuchungsfaktor Untersaat-Varianten	13
3.3	Datenerhebung	15
3.3.1	Erfassung der Sprossmasse bei Untersaaten und Unkräuter	15
3.3.2	Erfassung der Deckungsgrade für Untersaaten und Unkräuter	15
3.3.3	Erfassung der Sprossmasse und des Kornertrages bei der Deckfrucht Mais	16
3.3.4	Bestimmung der elementaren Stickstoff-Gehalte in den Pflanzen	17
3.3.5	Bestimmung der Blattgrünfärbung beim Mais	17
3.3.6	Entnahme von Bodenproben	18
3.3.7	Bestimmung von Nmin und der Wassergehalte im Boden	18
<b>4</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>20</b>
4.1	Sprossmasse der Untersaaten und Unkräuter	21
4.1.1	Wachstum der Untersaaten	21
4.1.2	Untersaaten-Wachstum im Gemenge	24
4.1.3	Wachstum der Unkräuter	25
4.2	Bodenbedeckung der Untersaaten und Unkräuter	32
4.2.1	Untersaaten	32
4.2.2	Unkräuter	34
4.3	Mais-Erträge	38
4.4	Unkrautunterdrückung: Maissorte und Untersaat-Varianten	40
4.5	Stickstoff im Maiskorn	44
4.6	Blattgrünfärbung beim Mais während der Vegetationsperiode	46
4.7	Pflanzenverfügbare Stickstoff im Boden (Nmin)	48
4.8	Wasserspannung und Bodenwassergehalte	51
4.9	Diasporen im Boden an den Standorten – Inkubationsversuche	55
<b>5</b>	<b>Diskussion der Ergebnisse</b>	<b>58</b>
5.1	Unkrautunterdrückung durch Untersaaten	58
5.2	Konkurrenz zwischen Mais, Untersaaten und Unkräutern	63
5.3	Stickstoff in den Pflanzen und im Boden	64
5.4	Diasporen im Boden – Keimversuche mit der Auflaufmethode	66

<b>6</b>	<b>Angaben zum Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse</b>	<b>68</b>
<b>7</b>	<b>Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlich erreichten Zielen</b>	<b>69</b>
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>70</b>
<b>9</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>72</b>
<b>10</b>	<b>Übersicht über alle im Berichtszeitraum vom Projektnehmer realisierten Veröffentlichungen zum Projekt, bisherige und geplante Aktivitäten zur Verbreitung der Ergebnisse</b>	<b>77</b>
<b>11</b>	<b>Anhang</b>	<b>79</b>
	Verzeichnis der Tabellen	87
	Verzeichnis der Abbildungen	89

# **1 Einführung**

## **1.1 Gegenstand des Vorhabens**

Silo- und Körnermais gewinnen für den Ökologischen Landbau in Deutschland zunehmend an Bedeutung. Die Gesamtheit der Ackerwildkräuter (Segetalvegetation) konkurriert jedoch häufig als unerwünschte Unkräuter während der Vegetationsperiode mit der Kulturpflanze Mais um Wachstumsressourcen (Strahlung, Wasser, Nährstoffe). Unkräuter, die in der mittleren und späten Vegetationsperiode auflaufen, können in hohen und kräftigen Mais-Beständen kaum mechanisch reguliert werden. Es soll daher untersucht werden, inwieweit die Unkrautvegetation durch ausgewählte Untersaaten im Mais unterdrückt werden kann. Die Untersuchungen sollen mit mehreren Mais-Genotypen durchgeführt werden. Diejenige Kombination aus Mais-Genotyp und Untersaat soll identifiziert werden, die im Hinblick auf die Unkrautunterdrückung und Mais-Ertragsbildung am besten miteinander harmoniert.

## **1.2 Ziele und Aufgabenstellung im Arbeitspaket 1**

Um den Anbau von Körnermais unter den Bedingungen des Ökologischen Landbaus erfolgreich zu gestalten, müssen einige Voraussetzungen erfüllt sein, die über die Erfordernisse des konventionellen Maisanbaus hinausgehen. Durch die langsame Jugendentwicklung und die zumeist großen Reihenweiten des Maises unterliegen die Anbauflächen potenziell einer erhöhten Erosionsgefahr. Zudem zeigt Mais in frühen Vegetationsstadien ein nur geringes Nährstoffaneignungsvermögen sowie ein nur geringes Konkurrenzvermögen gegenüber schnell wachsenden Unkrautarten. Im ökologischen Maisanbau sind daher Sorten erforderlich, die sich im Frühsommer – auch bei kühler Witterung – schnell entwickeln.

Der gezielte Einsatz von schattentoleranten Untersaaten könnte eine pflanzenbauliche Möglichkeit darstellen, der Erosionsgefahr und insbesondere dem Unkrautdruck entgegen zu wirken. Ziel der Untersuchungen war es, geeignete Arten oder Artenkombinationen zu finden, die nach der im Ökologischen Landbau praxisüblichen mechanischen Unkrautregulierung in den frühen Blattstadien des Maises während der gesamten übrigen Vegetationsperiode als Untersaaten verwendet werden können. Diese als Untersaaten eingesetzten Kulturpflanzen sollten bis zur Ernte des Körnermais möglichst alle auftretenden Unkräuter hinreichend unterdrücken. Gleichzeitig sollten sie möglichst wenig Konkurrenz auf die Deckfrucht Mais ausüben. Moderne Maissorten unterscheiden sich hinsichtlich zahlreicher Eigenschaften, u.a. kann eine sortentypische Blattstellung die Lichttransmission im Bestand beeinflussen. Daher wurden in den Feldversuchen verschiedene Maissorten verglichen, bei denen sich die Blattstellung unterschied.

### 1.3 Planung und Ablauf des Projektes

Um die genannten Ziele zu erreichen, wurden acht Untersaat-Varianten (vier Reinsaaten, vier Gemenge) sowie drei Maissorten in Kombination mit zwei Kontrollvarianten ohne Untersaaten an zwei Standorten (Reinshof, Wiebrechtshausen) im südlichen Niedersachsen in randomisierten Blockversuchen geprüft. Die Feldversuche erstreckten sich über drei Jahre von 2011 bis 2013. Von Seiten der KWS Saat SE wurden die Versuchsaktivitäten vielfältig unterstützt. Neben der Bereitstellung von Feldarealen am Standort Wiebrechtshausen wurde das gesamte benötigte Mais-Saatgut geliefert. Zudem wurden Maschinen und Parzellentechnik nebst Fachpersonal für die Mais-Aussaat sowie für die Maisernte zur Verfügung gestellt. Zusätzliche technische Tätigkeiten und zahlreiche wissenschaftlichen Untersuchungen wurden im Feld und im Labor mit dem Personal des Departments für Nutzpflanzenwissenschaften der Georg-August-Universität Göttingen durchgeführt. Zu nennen wäre beispielsweise die parzellengenaue Aussaat der Untersaaten an zwei Standorten sowie die stetige Erhebung von Feld-Rohdaten über die gesamte Vegetationsperiode.

Zahlreiche Untersuchungsparameter innerhalb der Feldversuche sollten die komplexen Beziehungen zwischen Unkräutern, Untersaaten und Maissorten aufdecken. Das Unkrautunterdrückungsvermögen der Untersaaten wurde durch die Erfassung von Deckungsgraden und die Ermittlung von Sprossmasse-Erträgen geprüft. Der Einfluss der Unkräuter und Untersaaten auf die Mais-Kornerträge wurde ermittelt, indem Varianten mit und ohne Untersaaten bzw. mit und ohne Unkrautwuchs verglichen wurden. Während der Vegetationsperiode wurde der Stickstoff-Ernährungszustand des Maises indirekt geprüft, indem die Grünfärbung der Maisblätter gemessen wurde. Die Stickstoff-Aufnahme der Unkräuter und der Untersaaten wurde für drei Termine sowie für den Mais zur Kornreife elementaranalytisch bestimmt. Die akkumulierten Stickstoff-Mengen in kg N pro ha wurden zudem nachfolgend berechnet. Weiterhin wurde zur Mais-Aussaat, während der Vegetationsperiode und nach der Ernte des Maises der Bodenvorrat an pflanzenverfügbaren Stickstoff (N<sub>min</sub>) in Abhängigkeit von den Prüffaktoren „Maissorte“ und „Untersaat-Variante“ ermittelt. Ferner wurde der volumetrische Wassergehalt des Bodens im August, September und im Oktober bestimmt. Somit konnte die jeweilige Wasserverfügbarkeit (nutzbare Feldkapazität) zu verschiedenen Terminen während der Vegetationsperiode berechnet werden.

Mehrere Zusatzversuche im Gewächshaus mit inkubierten Bodenmaterial nach Abschluss der sechs Feldversuche (zwei Standorte, drei Untersuchungsjahre) sollten den Vorrat an Unkrautsamen im Boden näherungsweise erfassen. Keimlinge von autochthonen Unkräutern wurden dazu über mehrere Wochen bestimmt und gezählt.

## **2      Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde**

Die Unkräuter sind eines der größten Probleme des ökologischen Maisanbaus (ANONYMUS 2005). Die Frühverunkrautung kann durch Striegeln und Hacken zurückgedrängt werden. Dabei lassen sich mit Hilfe sternförmiger Fingerhacken die Unkräuter auch in der Reihe ausreichend bekämpfen. Schwierigkeiten bereiten die nach den Hackarbeiten auflaufenden Unkräuter. Diese Mittel- und Spätverunkrautung kann zu erheblichen Ertragseinbußen beim Mais führen (MURPHY et al. 1996, BILALIS et al. 2010). Japanische Untersuchungen zeigen, dass es Möglichkeiten gibt, die Unkräuter in Öko-Mais mit Hilfe von Untersaaten zurückzudrängen. Dabei stellte sich heraus, dass die Untersaaten erst deutlich nach der Maisaussaat ausgebracht werden dürfen. Bei früherer Aussaat der Untersaaten werden die Untersaaten selbst zu ernstesten Konkurrenten für den Mais (UCHINO et al. 2009). Über Untersaatmischungen ist bisher noch wenig bekannt, doch gibt es Hinweise, dass Untersaatmischungen, in denen Erdklee (*Trifolium subterraneum*) vorkommt, besonders geeignet sind (ABDIN et al. 2000). Gerade der Erdklee wird derzeit züchterisch für den ökologischen Landbau bearbeitet, insbesondere was seine Winterfestigkeit unter hiesigen Bedingungen betrifft (BARESEL 2010). Grundsätzlich scheint das Verfahren, mit Hilfe von Untersaaten Unkräuter in Mais zurückzudrängen, bei weniger intensiven Produktionsbedingungen eher geeignet zu sein (BILALIS et al. 2010). Den mittel- und langfristigen Erfolg einer Bekämpfungsmaßnahme gegen annuelle Unkräuter kann man mit Hilfe der Samenbank-Methode quantifizieren. Diese Methode kann auch angewandt werden, wenn zur Unkrautunterdrückung Untersaaten angelegt wurden. Im Prinzip geht es darum in Parzellen, in denen verschiedene Verfahren zur Unkrautbekämpfung durchgeführt wurden, Bodenproben zu ziehen. Diese Bodenproben werden anschließend so inkubiert, dass die darin befindlichen Samen keimen und auflaufen können. Der Durchmesser des Stechzylinders muss bekannt sein. Dann kann auf Anzahl (Samen m<sup>-2</sup>) geschlossen und die Artenzusammensetzung erfasst werden (MOONEN & BARBERI 2004).

Die Wegwarte mit der blattreichen Sorte „Grasslands Puna“ erschien interessant, weil sie nach der Hauptfrucht weiterwächst und über Winter Stickstoff binden und vor Auswaschung bewahren kann. Dieser Aspekt ist ebenso für Mais relevant, insbesondere für Silomais, weil hier die Untersaaten nach der Ernte nicht so stark von den Ernteresten bedeckt und verschüttet werden wie dies beim Körnermais der Fall ist. Insofern sind die Untersaaten auch bedeutsam hinsichtlich der Auflagen seitens der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie (WRRL 2000).

### **3 Material und Methoden**

#### **3.1 Beschreibung der Untersuchungsstandorte**

Für die Feldversuchsserien mit Untersaaten in Körnermais wurden im Vorfeld zwei Standorte im südlichen Niedersachsen ausgewählt.

Der erste Standort namens Reinshof (Koordinaten siehe Tab. 1) liegt im Naturraum „Leine-Ilme-Senke“, naturräumliche Untereinheit „Leineau“ (KLINK 1969). Der Ort Reinshof liegt ca. 4 km südlich der Stadt Göttingen auf einer hochwasserfreien Anhöhe (ca. 160 m über NN) im Landkreis Göttingen. Seit 1980 steht die landwirtschaftliche Betriebsfläche des Gutshofes der Lehre und Forschung innerhalb der Georg-August-Universität Göttingen zur Verfügung. Die Bewirtschaftung (Bodenbearbeitung, Pflanzenschutz, Düngung, Unkrautbekämpfung, Fruchtfolge etc.) der gesamten Betriebsfläche unterliegt der Abteilung Versuchswirtschaften der Universität Göttingen. Der Anteil des Ackerlandes an der Betriebsfläche des Reinshofes beträgt ca. 320 ha, davon werden etwa 31 ha seit Mitte der 1990er Jahre nach den Richtlinien des Ökologischen Landbaus bewirtschaftet (VO-EWG 2092/91 bzw. EU-Verordnung 834/2007).

Der zweite Standort namens Wiebrechtshausen (Koordinaten siehe Tab. 1) befindet sich auf dem gleichnamigen Klostergut, etwa 4 km nördlich der Kreisstadt Northeim. Dieses Klostergut wird von einer Tochtergesellschaft der KWS Saat SE (Einbeck) seit dem Jahr 2002 nach den Richtlinien des Ökologischen Landbaus bewirtschaftet (EU-Verordnung 834/2007 und Anbauverband Naturland). Der Standort befindet sich im Landkreis Northeim. Die Hofstelle des Klostergutes Wiebrechtshausen liegt in der Talaue des Baches Düne, welcher etwa in Nord-Süd-Richtung verläuft. Die Betriebsflächen und der Ort befinden sich im Naturraum „Südwestliches Harzvorland“ und gehören hier zur Untereinheit „Kahlefelder Lößsenke“ (HÖVERMANN 1963).

##### **3.1.1 Geologie und Böden**

Im näheren Bereich des Versuchsgutes Reinshof geschieht die Entwässerung durch die Flüsse Leine und Garte. In deren talebenen Umgebung kam es seit der Eisenzeit bei Hochwasser zur Ablagerung bindiger Sedimente, die als Auenlehm, Braunaueboden oder Vega bezeichnet werden (ANONYMUS 1968, NIBISKARTENSER 2016). Diese Alluvialböden werden von Sanden und Kiesen unterlagert. Ein Großteil der ökologisch bewirtschafteten Flächen ist auf diesen Böden verortet. Auf den sonstigen Ackerflächen des Versuchsgutes Reinshof finden sich verschiedene, zumeist lössbeeinflusste Bodenbildungen. In Abhängigkeit vom Ausgangsgestein (Keuper, Muschelkalk) konnten verschiedene Bodentypen entstehen. In Unterhanglagen finden sich Kolluvien aus Schwemmlössen, ansonsten dominieren Schwarzerde-Parabraunerden, teilweise Pseudogley-Parabraunerden, Mergelrendzinen oder Pararendzinen (ANONYMUS 1968, NIBIS-KARTENSER 2016).

Die Böden in der Umgebung des Klostergutes Wiebrechtshausen werden allgemein den niedersächsischen Lössverbreitungsgebieten zugerechnet (NIBIS-KARTENSER

2016). Im Bereich der Versuchsfelder werden als Bodenart zumeist schwach oder mittel tonige Schluffe angetroffen (AD-HOC-AG BODEN 2005). Charakteristisch für diese lössbeeinflussten Standorte ist der hohe Schluffanteil (> 80%) im Oberboden. Als Bodentyp wird für die Untersuchungsflächen 2011 und 2013 im NIBIS-KARTENSERVEN (2016) eine Pseudogley-Parabraunerde angegeben. Im Jahr 2012 wurden die Feldversuche aus technischen Gründen auf einem Schlag etwa 3 km westlich des Klostersgutes Wiebrechtshausen angelegt („Am Teerweg“, Tab. 1). Dort wurde als Bodentyp ein Kolluvisol unterlagert von Parabraunerde vorgefunden.

**Tab. 1:** Bodenphysikalische und bodenchemische Basisdaten (Bodenschicht 0 bis 30 cm) für die Untersuchungsflächen mit Mais-Untersaaten an den Standort Reinshof und Wiebrechtshausen.

Jahr	Standort, Schlag, Höhenlage	Koordinaten Breite (N); Länge (O)	Textur	Acker- zahl	pH	C <sub>org</sub> %	P mg pro 100 g TS Boden	K	Mg
	<b>R e i n s h o f</b>	51° 29' 51", 9° 55' 52"							
2011	Sauanger Ost, 156 m ü. NN	51° 29' 52"; 9° 55' 30"	Lu	80	6,7	1,56	4	26	22
2012	Sauanger West, 155 m ü. NN	51° 29' 48"; 9° 55' 20"	Lu	89	7,2	1,58	9	9	14
2013	Kamp, 154 m ü. NN	51° 30' 00"; 9° 55' 15"	Tu3	93	7,3	1,55	5	7	17
	<b>W i e b r e c h t s h a u s e n</b>	51° 44' 22", 10° 01' 06"							
2011	Lindenbreite 2, 150 m ü. NN	51° 44' 28"; 10° 00' 43"	Ut3	78	6,6	1,13	2	14	14
2012	Am Teerweg, 125 m ü. NN	51° 44' 24"; 9° 58' 53"	Ut2	76	6,5	1,26	11	14	6
2013	Querbreite, 145 m ü. NN	51° 44' 23"; 10° 00' 53"	Ut3	78	7,0	1,15	9	11	6

Quelle Textur und Ackerzahl: NIBIS-Kartenserver/LBEG Hannover; pH der Bodenlösung: VdLUFA Methodenhandbuch A 5.1.1; P und K: VdLUFA Meth. A 6.2.1.1 (CAL); Mg: VdLUFA Meth. A 6.2.4.1(CaCl<sub>2</sub>)

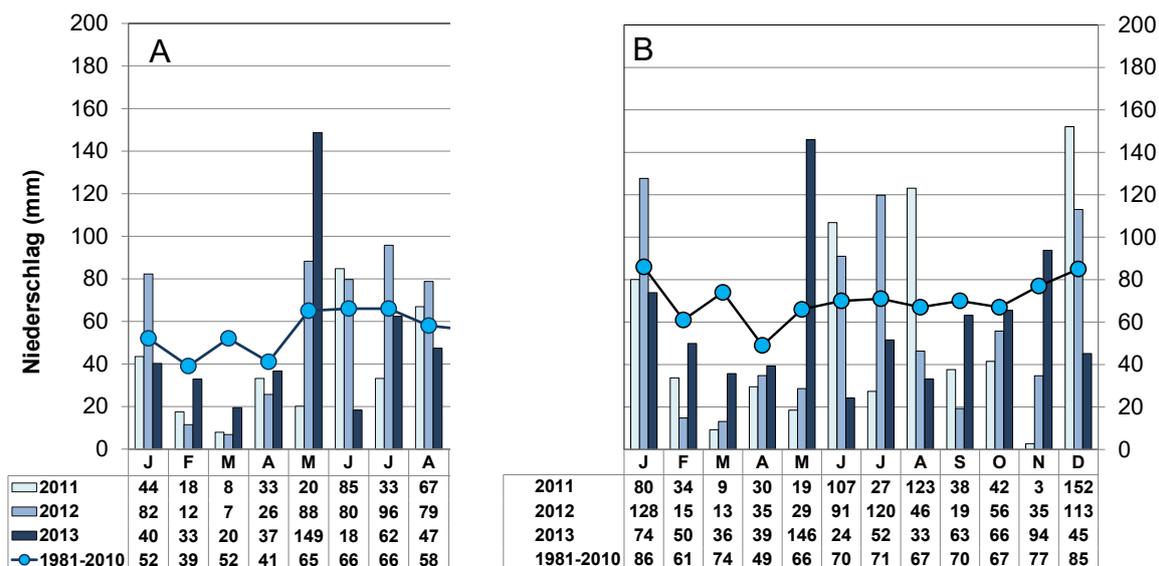
Bodenphysikalische Kennwerte wurden für beide Untersuchungsstandorte zu verschiedenen Zeitpunkten zwischen den Jahren 2011 und 2013 ermittelt. Die Trockenrohdichte des Oberbodens (0 bis 30 cm Tiefe) variierte am Standort Reinshof für die Untersuchungsflächen kaum und betrug im Mittel 1,44 g cm<sup>-3</sup>. Die Bestimmung der Korngrößenverteilung (Sedimentationsmethode) ergab für die drei Feldschläge folgende Werte: Am Schlag „Sauanger Ost“ (Feldversuch 2011) betrug der Sandanteil 16 %, der Schluffanteil 63 % und der Tonanteil 21 %. Am Schlag „Sauanger West“ (Feldversuch 2012) betrug der Sandanteil 12 %, der Schluffanteil 64 % und der Tonanteil 23 %. Die Bodenart für die Flächen der Jahre 2011 und 2012 ist daher als schluffiger Lehm (Lu) anzusprechen (AD-HOC-AG BODEN 2005). Am Schlag „Kamp“ (Feldversuch 2013) betrug der Sandanteil 4 %, der Schluffanteil 58 % und der Tonanteil 38 %. Die Bodenart ist demnach ein mittel schluffiger Ton (Tu3).

Am Standort Wiebrechtshausen betrug die Trockenrohdichte für die Untersuchungsflächen der Jahre 2011 und 2013 im Mittel etwa 1,31 g cm<sup>-3</sup>. Der Schlag „Am Teerweg“ (Feldversuch 2012) zeigte im Oberboden eine Trockenrohdichte in Höhe von etwa 1,48 g cm<sup>-3</sup>. Untersuchungen zur Korngrößenverteilung des Oberbodens (Sedimentationsmethode) ergaben für die drei Untersuchungsflächen folgende Werte: Am Schlag „Lindenbreite 2“ (Feldversuch 2011) betrug der Sandanteil 3 %, der Schluff-

anteil 84 % und der Tonanteil 13 %. Der Schlag „Am Teerweg“ (Feldversuch 2012) zeigte einen Sandanteil in Höhe von 12 %, einen Schluffanteil in Höhe von 76 % und einen Tonanteil in Höhe von 12 %. Am Schlag „Querbreite“ (Feldversuch 2013) betrug der Sandanteil 5 %, der Schluffanteil 80 % und der Tonanteil 15 %. Die Bodenarten der Feldschläge in Wiebrechtshausen waren demzufolge schwach toniger Schluff (Ut2) oder mittel toniger Schluff (Ut3). Die Angaben im NIBIS-KARTENSERVEN (2016) verweisen für diesen Standort generell auf einen mittel tonigen Schluff (Ut3). Die bodenchemischen Kennwerte des Oberbodens (0 bis 30 cm Tiefe) wurden für alle sechs Umwelten bestimmt (Tab. 1). Die Entnahme der Bodenproben geschah jeweils im Frühjahr (März oder April) vor Aussaat des Mais und der Untersaaten. Am Standort Reinshof war die Versorgung mit den Nährstoffen P, K und Mg in der Regel gut bis sehr gut. Nur punktuell wurde ein leichter P-Mangel (Gehaltsklasse B im Jahr 2011) festgestellt. Die pH-Werte des Oberbodens bewegten sich zwischen 6,7 bis 7,3. Die Humusgehalte der Versuchsflächen am Standort Reinshof lagen im Mittel zwischen 2,6 und 2,9 %. Am Standort Wiebrechtshausen war die Versorgung mit den Nährstoffen P, K und Mg gut (zumeist Gehaltsklasse C), jedoch etwas geringer als am Standort Reinshof. Auch hier wurde im Jahr 2011 ein leichter Mangel bei der Phosphor-Versorgung festgestellt (Gehaltsklasse B). Die pH-Werte des Oberbodens bewegten sich zwischen 6,5 und 7,0. Die Humusgehalte erreichten Werte zwischen 1,9 und 2,2 %.

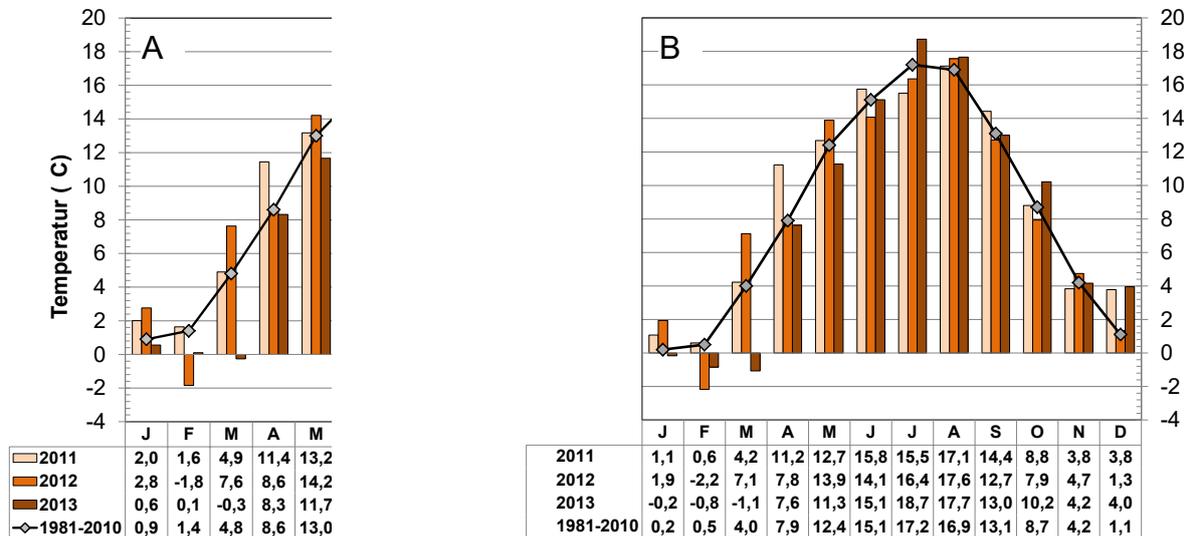
### 3.1.2 Klima

Die naturräumlichen Gegebenheiten im südlichen Niedersachsen beeinflussen die klimatischen Bedingungen an den Standorten Reinshof und Wiebrechtshausen.



**Abb. 1:** Monatliche Niederschlagsmengen (mm) der Jahre 2011, 2012, 2013 sowie für das langjährige Mittel (1981 bis 2010). Standort Göttingen-Reinshof (A), Standort Moringen-Lutterbeck (B). Quelle: Deutscher Wetterdienst (DWD).

Allgemein wird das Klima im Südosten des Landes Niedersachsen zunehmend kontinentaler beeinflusst. In den Naturräumen Leineue bzw. dem südwestlichen Harzvorland sind diese Einflüsse häufig erkennbar, z.B. durch ungleich verteilte Niederschläge oder längere Trockenperioden.



**Abb. 2:** Lufttemperaturen (Monatsmittel in °C) der Jahre 2011, 2012, 2013 sowie für das langjährige Mittel (1981 bis 2010). Standort Göttingen-Reinshof (A), Standort Moringen-Lutterbeck (B). Quelle: Deutscher Wetterdienst (DWD).

Die Abbildungen 1 und 2 zeigen die Niederschlagsverteilung und den Temperaturverlauf der Jahre 2011 bis 2013 für die Standorte Göttingen (51° 30' Nord, 9° 57' Ost, 167 m über NN) und Moringen-Lutterbeck (51° 43' Nord, 9° 50' Ost, 240 m über NN). Im langjährigen Mittel (Referenzperiode 1981 bis 2010) betrug in Göttingen die Jahresniederschlagssumme 651 mm, in Moringen-Lutterbeck wurde für die gleiche Referenzperiode eine Jahresniederschlagssumme in Höhe von 843 mm gemessen. Die Jahresmitteltemperatur (Referenzperiode 1981 bis 2010) betrug für Göttingen 9,2°C, und für den Standort Moringen-Lutterbeck 8,4°C.

## **3.2 Beschreibung der pflanzenbaulichen Feldversuche**

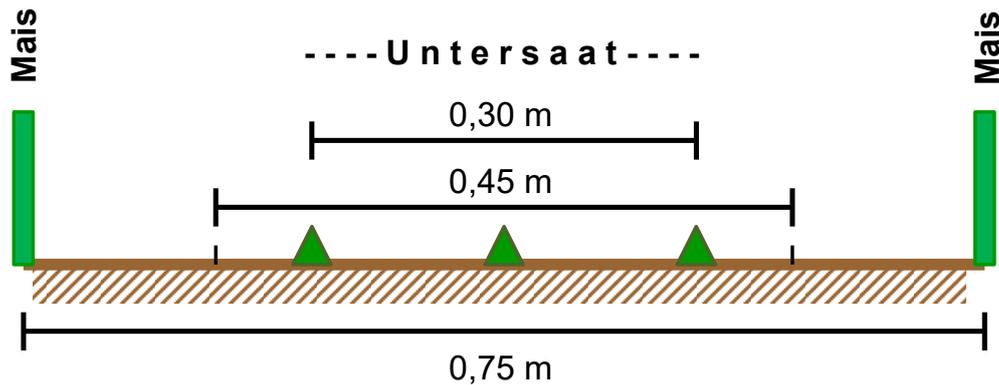
### **3.2.1 Versuchsdesign und Behandlungen**

Die Feldversuche wurden an zwei Standorten (Reinshof und Wiebrechtshausen) und in drei Jahren (2011, 2012, und 2013) durchgeführt. Die vorgeschaltete Versuchsplanung wurden zwischen den Projektpartnern KWS Saat SE und Georg-August-Universität Göttingen, Abteilung Pflanzenzüchtung sowie Abteilung Pflanzenbau eng abgestimmt. Vor Beginn jeder Saison wurden für jeden Standort getrennt Saatpläne für zweifaktorielle, voll randomisierte Blockanlagen (vier Wiederholungen) mit den Untersuchungsfaktoren „Maissorte“ und „Untersaat-Variante“ erstellt. Die sechs Feldpläne sind im Anhang abgebildet (Abb. A1 bis A6). Jeder Feldplan bestand aus 120 Parzellen. Jede Parzelle umfasste eine Grundfläche von 27 m<sup>2</sup> (4,5 m Breite und 6 m Länge). Die Grundbodenbearbeitung erfolgte fristgemäß mit Wendepflug, Grubber, Kreiselegge oder anderen standortangepassten Bodenbearbeitungsgeräten.

Düngungsmaßnahmen wurden unter Berücksichtigung der Vorgaben für die Bewirtschaftung im Ökologischen Landbau (EU-Öko-Verordnung 834/2007) an den beiden Standorten unterschiedlich durchgeführt. Am Standort Reinshof waren die pflanzenverfügbaren mineralischen Stickstoff-Mengen im Boden nicht ausreichend, um Mais während der gesamten Vegetationsperiode nachhaltig mit Stickstoff zu versorgen. Deshalb wurden die Versuchsflächen kurz vor der Aussaat des Mais mit zugelassenen organischen Betriebsmitteln gedüngt. Dies waren Haarmehlpellets und Hornspäne (Fa. Beckmann & Brehm). Der N-Gehalt dieser Düngemittel betrug etwa 14 %. Die ausgebrachte Menge wurde so berechnet, dass ein Gesamtdüngeniveau von 180 kg N ha<sup>-1</sup> erreicht wurde. Das Gemisch der Pellets und der Hornspäne wurde mit der Kreiselegge flach eingearbeitet. Am Standort Wiebrechtshausen wurde die N-Versorgung des Maises zweigleisig sichergestellt. Als Vorfrucht wurde zumeist eine Leguminose, z.B. Luzerne, angebaut. Zudem wurde vom Betriebsleiter Bio-Champignon-Kompost („Champost“) fristgerecht vor der Aussaat des Maises in ausreichender Menge verabreicht. Weitere Düngungsmaßnahmen wurden während der Vegetationsperiode des Maises an beiden Standorten nicht durchgeführt.

Die Aussaat des Maises erfolgte als Einzelkornsaat mit Parzellentechnik (Fa. Kuhn) mit 10,6 Körner pro m<sup>2</sup> und mit einer Ablagetiefe von etwa 3 bis 5 cm. Pro Parzelle wurden sechs Maisreihen mit einem Abstand von 0,75 m eingesät. Am Standort Reinshof wurden folgende Aussaattermine verwirklicht: 11. Mai 2011, 10. Mai 2012 und 6. Mai 2013. Am Standort Wiebrechtshausen wurde der Mais zu folgenden Terminen ausgesät: 2. Mai 2011, 4. Mai 2012 und 6. Mai 2013.

Bis zur Einsaat der Untersaaten wurden die Reihen- und Pflanzenzwischenräume praxisüblich mechanisch von Unkraut befreit. Es wurde im Vor- und Nachauflauf gestriegelt, zudem wurden Hackmaschinen wie Rollkuli, Fronthacke oder Sternrollhacke eingesetzt. Bei Bedarf wurde manuell nachgearbeitet.



**Abb. 3:** Schema zum Standraum der Untersaaten in Relation zu den Maisreihen. Grüne Dreiecke: Untersaat-Drillreihen. Der Abstand 0,45 m zeigt an, welches Maß bei Zeiternten für den Schnitt der Sprossmasse (Untersaat plus Unkräuter) angelegt wurde.

Die Aussaat aller Untersaat-Kulturen (Reinsaaten und Gemenge, siehe Tab. 3) erfolgte mit Parzellentechnik (Typ SP 25, Fa. Haldrup) im Drillsaatverfahren. Die flache Saat (ca. 2 cm Tiefe) von jeweils drei Drillreihen erfolgte mittig zwischen den Maisreihen. Der Abstand der Drillreihen untereinander betrug ca. 15 cm. Der Abstand der äußersten zwei Untersaat-Reihen zur jeweils rechten und linken Maisreihe betrug ca. 23 cm (Abb. 3). Die Gemengesaaten (Tab. 3) wurden im Verfahren „row intercropping“ ausgesät: das abgewogene Saatgut der Gemengepartner wurde portionsweise gemischt und gemeinsam in das Bandkopfsystem der Parzellendrillmaschine eingefüllt. Folgende Aussaat-Termine für die Untersaat-Kulturen wurden am Standort Reinshof realisiert: 15. Juni 2011, 12. Juni 2012 und 13. Juni 2013. Am Standort Wiebrechtshausen wurden die Untersaaten zu folgenden Terminen gedrillt: 7. Juni 2011, 11. Juni 2012 und 19. Juni 2013.

### 3.2.2 Untersuchungsfaktor Maissorten

Die Maissorte „Ricardinio“ wird mit einer Siloreifezahl von S 230 in die Reifegruppe mittelfrüh eingeordnet. Die Einfachhybride wurde im Jahr 2008 vom Bundessortenamt (BSA) als Silo- und als Körnermais zugelassen. Nach Angaben der Saatzuchtfirma (KWS Saat SE) überzeugt die Sorte durch eine gute Standfestigkeit. Die Maissorte „Colisee“ gehört mit der Reifezahl 220 zur Reifegruppe früh. Die Sorte ist eine seit 2012 zugelassene Dreiweghybride. Nach Angaben der Saatzuchtfirma (KWS Saat SE) werden der Sorte „Colisee“ eine gute Jugendentwicklung, eine gute Kältetoleranz und geringe Lageranfälligkeit sowie eine sehr gute Toleranz gegenüber *Helminthosporium* zugesprochen. Die Sorte „Ronaldinio“ gehört zur Reifegruppe mittelfrüh. Allerdings sind die Reifezahlen mit S 240 (Angabe der BSA) und K 240 (Angabe der KWS) etwas höher als bei der Sorte „Ricardinio“. „Ronaldinio“ ist eine hartmaisähnliche Dreiweghybride, die nach Angaben der Saatzuchtfirma (KWS Saat SE) als ertragsstarke, robuste und stresstolerante Maissorte beschrieben wird. Ferner wird ihr eine zügige Jugendentwicklung zugesprochen. „Ronaldinio“ eignet

sich als Allrounder für verschiedenste Standorte und Futterationen. Die Zulassung erfolgte bereits im Jahr 2006.

Die Blattstellung der eingesetzten Maissorten steht im Zusammenhang mit der Lichtmenge, die durch den Maisbestand am Boden ankommt (Lichtabsorption, Lichttransmission). In Tabelle 2 sind für die Maissorten Boniturnoten aus Registerberichten der BSA angegeben, die den Winkel zwischen Blattspreite und dem Stängel beschreiben.

**Tab. 2:** Maissorten der Fa. KWS Saat SE, die in den Feldversuchen an den Standorten Reinshof und Wiebrechtshausen zwischen den Jahren 2011 und 2013 eingesetzt wurden. Informationen zu den Reifezahlen, zur Zulassung und zur Blattstellung sind Registerberichten des Bundessortenamtes (BSA) entnommen.

Nr.	Sortenname	Abk.	Unter- suchungsjahre	Reifezahlen	Zulassung	Blattstellung: Winkel zwischen Blatt- spreite und Stängel
1	Ricardinio	RIC	2011 bis 2013	S 230 / K 220	2008	2: sehr klein bis klein
2	Colisee	COL	2011 bis 2013	S 220 / K 220	2012	3: klein
3	Ronaldinio	RON	2011 bis 2012	S 240 / K 240	2006	4: klein bis mittel

Boniturnote 1 steht für einen sehr kleinen Winkel ( $< 5^\circ$ ), Boniturnote 9 steht für einen sehr großen Winkel ( $> 90^\circ$ ). Je kleiner die Note, desto eher verfügt die jeweilige Maissorte demnach über eine erectophile Blatthaltung. Von den untersuchten Maissorten besitzt Ricardinio mit der Boniturnote 2 (ca. 10 bis  $15^\circ$ ) den kleinsten Winkel zwischen der Blattspreite und dem Stängel, während Ronaldinio mit der Boniturnote 4 den größten Winkel zwischen der Blattspreite und dem Stängel aufweist (ca. 35 bis  $40^\circ$ ). Die Sorte Colisee nimmt mit der Boniturnote 3 eine Mittelstellung ein. Bei dem Merkmal „Biegung der Spreite“ bekam die Sorte Colisee die Boniturnote 1 (fehlend oder sehr leicht gebogen), während die drei anderen Sorten die Boniturnote 2 erhielten (sehr leicht gebogen bis leicht gebogen).

### 3.2.3 Untersuchungsfaktor Untersaat-Varianten

In den Feldversuchen wurden fünf verschiedene Arten von Nutzpflanzen als Untersaaten in Mais eingesetzt: Winterroggen (Sorte Vitallo), Welsches Weidelgras (Sorte Tigris), Erdklee (Sorte Dalkeith), Wegwarte (Sorte Grasslands Puna) und Buchweizen (Handelssaatgut). Vier dieser Arten wurden als Reinsaat und in Mischungen bzw. im Gemenge ausgesät, während Buchweizen nur im Gemenge eingesetzt wurde (Tab. 3). Buchweizen wurde als einzige Art nicht in Reinsaat getestet. Der Hintergrund für diese Vorgehensweise liegt darin begründet, dass die Variante 8 (RPB) in der gleichen Zusammensetzung in Teilabschnitten des Arbeitspaketes 2 (Pflanzenzüchtung) als Konkurrenz für die Deckfrucht Mais eingesetzt wurde. Dort simulierte diese Artenmischung starken Unkrautdruck. Da Buchweizen-Stängel

aufrecht wachsen, wurden mit Wegwarte und Winterroggen zwei bodendeckende Arten zugefügt. Zum Vergleich wurden zwei Kontrollvarianten ohne Untersaaten (oU-1 und oU-2) zusätzlich in die Feldversuche integriert. Die beiden Kontrollvarianten unterschieden sich bezüglich der Unkrautregulierung. Die Variante oU-1 wurde nicht reguliert, d.h. die Unkräuter konnten ungehindert wachsen (Var. 9 in Tab. 3). In der Kontrollvariante oU-2 wurden die Unkräuter dauerhaft während der gesamten Vegetationsperiode manuell entfernt (Var. 10 in Tab. 3).

**Tab. 3:** Untersaat-Varianten, die in den Feldversuchen an den Standorten Reinshof und Wiebrechtshausen zwischen den Jahren 2011 und 2013 eingesetzt wurden. Aussaatstärke in Körner pro Quadratmeter ( $K\ m^{-2}$ ), Tausendkornmasse (TKM) in Gramm (g) und Aussaatmenge in Kilogramm pro Hektar ( $kg\ ha^{-1}$ , gerundet).

Untersaat-Varianten	Abk.	wissenschaftlicher Name	Sorten	Untersuchungsjahre	K/m <sup>2</sup>	TKM (g)	Menge (kg ha <sup>-1</sup> )
<b>Reinsaaten</b>							
1 Winterroggen	R	<i>Secale cereale</i>	Vitallo	2011, 2012	500	35	183
2 Welsches Weidelgras	W	<i>Lolium multiflorum</i>	Tigris	2011 bis 2013	1000	2,8	30
3 Erdklee	K	<i>Trifolium subterraneum</i>	Dalkeith	2011 bis 2013	1000	5,5	58
4 Wegwarte	P	<i>Cichorium intybus</i>	Grasslands Puna	2011 bis 2013	800	1,3	13,3
<b>Mischsaaten bzw. Gemenge</b>							
5 Winterroggen	RP	<i>Secale cereale</i>	Vitallo	2011, 2012	250	35	92
Wegwarte		<i>Cichorium intybus</i>	Grasslands Puna		400	1,3	7
6 Welsches Weidelgras	WP	<i>Lolium multiflorum</i>	Tigris	2011 bis 2013	500	2,8	15
Wegwarte		<i>Cichorium intybus</i>	Grasslands Puna		400	1,3	7
7 Erdklee	KP	<i>Trifolium subterraneum</i>	Dalkeith	2011 bis 2013	500	5,5	29
Wegwarte		<i>Cichorium intybus</i>	Grasslands Puna		400	1,3	7
8 Winterroggen	RPB	<i>Secale cereale</i>	Vitallo	2011 bis 2013	170	35	62
Wegwarte		<i>Cichorium intybus</i>	Grasslands Puna		270	1,3	5
Buchweizen		<i>Fagopyron esculentum</i>	Handelssaatgut		125	24	38
9 KEINE Untersaat	oU-1	Kontrollvariante 1	<b>mit</b> Unkräutern	2011 bis 2013	-	-	-
10 KEINE Untersaat	oU-2	Kontrollvariante 2	<b>ohne</b> Unkräuter	2011 bis 2013	-	-	-

Der Schwerpunkt der Untersuchungen wurde auf die in Deutschland wenig bekannte Wegwarten-Sorte „Grasslands Puna“ gelegt. Diese ausdauernde neuseeländische Züchtung wurde u.a. für die Beweidung durch Schafe entwickelt (LI et al. 1997). In Voruntersuchungen (RÜCKERT 2010) zeigte Wegwarte in Mais gute Eigenschaften hinsichtlich der Unkrautunterdrückung. Sie ist schattenverträglich und bildet zudem eine flache Rosette, bei denen die grundständigen Blätter stark in allen Richtungen in die Breite wachsen. Möglicherweise können auf diese Weise sogar Unkräuter zwischen den Maisreihen verdrängt werden.

### **3.3 Datenerfassung**

#### **3.3.1 Erfassung der Sprossmasse bei Untersaaten und Unkräuter**

In den Vegetationsperioden der Jahre 2011 bis 2013 wurde die Sprossmasse der Untersaat-Kulturen sowie der autochthonen Unkräuter zu je drei Zeitpunkten erfasst. Die Ernte der Pflanzenproben erfolgte, indem in jeder Parzelle mit Bewuchs auf markierten Kleinteilflächen (1 m x 0,45 m) alle grünen Pflanzen (Untersaaten inklusive jeweils vorkommender Unkraut-Arten) in Höhe der Bodenoberfläche abgeschnitten wurden. Die jeweiligen Kleinteilflächen wurden für drei Schnittzeitpunkte an drei unabhängigen Positionen in einer Parzelle markiert, so dass ein ungestörtes Wachstum für jeweils drei Zeitperioden gewährleistet war. Die erste Zeiternte erfolgte rund 50 Tage nach dem Drillen der Untersaaten (Ende Juli oder Anfang bis Mitte August), die zweite Zeiternte erfolgte rund 90 Tage nach dem Drillen der Untersaaten (Mitte September) und die dritte und letzte Zeiternte erfolgte etwa 120 Tage nach dem Drillen der Untersaaten (Mitte Oktober). Die Pflanzenproben wurden nach den Zeiternten umgehend sortiert und den funktionellen Gruppen „Untersaat“ oder „Unkräuter“ zugeordnet. Die Gemenge-Varianten der Untersaaten wurden zudem nach Arten getrennt. Für die Ermittlung der Trockenmasse (in g pro m<sup>2</sup>) der funktionellen Gruppen wurden Teilproben des Pflanzenmaterials bei 105 °C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. Für die nachfolgende Bestimmung der Inhaltsstoffe (N-Gehalt in %) wurden Teilproben bei 60 °C getrocknet und weiterverarbeitet.

#### **3.3.2 Erfassung der Deckungsgrade für Untersaaten und Unkräuter**

Die Entwicklung der Untersaaten und Unkräuter über die Vegetationsperiode wurde durch regelmäßige Bonituren zerstörungsfrei erfasst. Bewährt hat sich der Einsatz des sogenannten „Göttinger Schätzrahmens“ (BARTELS et al. 1983). Ein Metallrahmen, der 0,1 m<sup>2</sup> Fläche umfasst, wurde im Feld während der Bonitur stets parallel zur Drillrichtung der Untersaaten und der Maisreihen ausgerichtet (Abb. 4). Ferner wurde der Schätzrahmen bei der Datenerhebung genau mittig zwischen den Maisreihen positioniert. Die Bodenbedeckungsgrade bzw. Flächenanteile der funktionellen Gruppen „Untersaat“ und „Unkräuter“ wurden nach der beschriebenen Ausrichtung des Rahmens vom Bearbeiter visuell geschätzt und notiert. Diese Schätzungen wurden in jeder Parzelle mit Bewuchs zu mindestens vier Terminen (Juli, August, September, Oktober; exakte Termine siehe Tabelle A4 im Anhang) pro Vegetationsperiode und Standort durchgeführt. Die Position für den Schätzrahmen war in jeder Parzelle für alle Termine festgelegt und wurde nur bei schwerwiegenden externen Störungen verändert (Fraß durch Tiere o.ä.).



**Abb. 4:** Göttinger Schätzrahmen (0,1 m<sup>2</sup>; etwa 32 cm Breite und Länge, BARTELS et al. 1983) in einer Weidelgras-Untersaat. Standort Reinshof am 5. Oktober 2011. Aufnahme: R. Jung.

### 3.3.3 Erfassung der Sprossmasse und des Kornertrages bei der Deckfrucht Mais

Die Sprossmasse und die Kornerträge der untersuchten Maissorten wurden auf zwei Wegen erfasst. Die Maisbestände wurden Ende Oktober oder Anfang November in einem praxisnahen Verfahren mit einem von der KWS Saat SE bereitgestellten Parzellenmähdrescher (Fa. Haldrup) mit angebautem Maispflücker (Fa. Geringhoff) zweireihig (1,5 m) über die gesamte Parzellenlänge (6 m) beerntet. Die Erntefläche betrug daher pro Parzelle 9 m<sup>2</sup>. Während des Ernteprozesses wurde der Feuchtegehalt der Körner mit Nahinfrarot-Spektroskopie (NIRS) an Bord des Mähdreschers gemessen. Der Mais-Kornertrag (dt TM pro ha) wurde anschließend mit diesen Daten berechnet. Um die Inhaltsstoffe des Maises untersuchen zu können, wurden kurz vor dem Parzellendrusch zudem manuelle Handernten von jeweils vier Maispflanzen pro Parzelle durchgeführt. Nachfolgend wurde das Erntegut in Spross und Kolben (ohne Lieschblätter) getrennt. Die einzelnen Komponenten wurden getrennt gewogen, wobei die Lieschblätter der Sprosskomponente zugeschlagen wurden. Von der Sprossmasse wurden zwei Teilproben entnommen. Für die Ermittlung der Trockenmasse wurde die Mais-Sprossmasse bei 105°C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. Für die Bestimmung der Inhaltsstoffe (N-Gehalt in %) wurden zusätzliche Teilproben bei 60°C getrocknet und weiterverarbeitet. Die Maiskolben wurden in den Jahren 2012 und 2013 mit einer Entkörnungsmaschine in Korn und Spindel getrennt. Die Korn-Frischmasse wurde durch Wiegen bestimmt. Anschließend wurden Teil-

proben der Körner (2011: Kolben) auf die gleiche Weise wie die Teilproben der Sprossmasse behandelt.

### **3.3.4 Bestimmung der elementaren Stickstoff-Gehalte in den Pflanzen**

Um die schonend getrockneten Pflanzenproben der Analyse zuzuführen, mussten diese mit einer Ultrazentrifugalmühle (Fa. Retsch, Typ ZM 100 bzw. ZM 200) auf eine Partikelgröße von  $\leq 0,20$  mm zerkleinert werden. Die gemahlene Proben wurden in Mengen von bis zu 10 g zur Aufbewahrung in PE-Behälter (Fa. Roth) überführt. Die Proben wurden mittels einer hochfeinen Laborwaage (Fa. Sartorius, Typ M2P;  $\pm 0,001$  mg) in Kleinstmassen bis ca. 25 mg in vorgefertigten Zinnkapseln (Fa. IVA) eingewogen. Der Stickstoffgehalt aller Pflanzenproben in Zinnkapseln (Mais Korn, Maisspross, Untersaat-Kulturen, Unkräuter) wurde auf Basis des Dumas-Verfahren im Labor (Universität Göttingen, Abteilung Pflanzenbau) mit einem CN-Analysator (Fa. Elementar, Typ Vario EL) ermittelt.

### **3.3.5 Bestimmung der Blattgrünfärbung beim Mais**

Die Grünfärbung der Maisblätter wurde in jedem Untersuchungsjahr im Juli, im August, im September und im Oktober mit dem Gerät „SPAD-502“ (Fa. Konica-Minolta) bestimmt. Das Handmessgerät „SPAD-502“ misst die Differenz der Transmission bzw. Lichtdurchlässigkeit von rotem Licht (Wellenlänge 650 nm) und infraroter Strahlung (Wellenlänge 940 nm) durch das Maisblatt. Resultierend wird im Display ein dimensionsloser Zahlenwert angezeigt, der sogenannte SPAD-Wert (UDDLING et al. 2007). Die Abkürzung SPAD steht für „Soil Plant Analysis Development“. Der Chlorophyll-Gehalt und der N-Gehalt der Blätter korreliert mit dem SPAD-Wert (UDDLING et al. 2007), allerdings nicht immer linear. Die Kenntnis des SPAD-Wertes erlaubt daher eine grobe Einschätzung der aktuellen N-Gehalte im Maisblatt. Der Vergleich unterschiedlich behandelter Maissorten wird dadurch ermöglicht.

Während der Messtermine in den Feldversuchen wurden in jeder Parzelle die SPAD-Messungen an Laubblättern (Nähe Kolbenansatz) von mindestens zehn verschiedenen Maispflanzen durchgeführt. Es wurden stets Pflanzen in der dritten oder vierten von sechs Maisreihe ausgewählt, um Randeffekte zu minimieren. Das Gerät wurde ca. zwei Zentimeter vom Blattrand entfernt in der Mitte der Blattspreite angesetzt. Der arithmetische Mittelwert aller zehn Einzelwerte ergab den jeweiligen SPAD-Wert für die Parzelle.

### **3.3.6 Entnahme von Bodenproben**

Während der in Abschnitt 3.3.1 beschriebenen Zeiternten im August und September sowie vor der Aussaat des Mais und kurz nach dem Korndrusch des Mais (Ende Oktober oder Anfang November) wurden Bodenproben für die N<sub>min</sub>-Analyse entnommen. Für die Entnahme der Bodenproben mit den sogenannten Pürckhauer-Bohrstöcken wurden bei den Terminen im Mai und nach der Ernte im Oktober oder November halbautomatische, motorgetriebene Kleinmaschinen der Fa. Nietfeld eingesetzt. Damit wurden Bodenproben in drei Tiefenstufen entnommen: 0-30 cm, 30-60 cm und 60-90 cm. Die Probenahme im August bzw. im September wurden in dichten, hochgewachsenen Maisbeständen durchgeführt. Die Kleinmaschinen der Fa. Nietfeld waren in dieser Umwelt nicht einsatzfähig. Eine irreparable Zerstörung der Maispflanzen wäre die Folge gewesen. Deshalb wurden Pürckhauer-Bohrstöcke manuell oder mit Bohrhämmern (Fa. Makita) in den Boden getrieben. Bodenproben wurden im August und im September lediglich in 0-30 cm und in 30-60 cm Tiefe entnommen.

Zu jedem Probenahmetermin wurden vier Einstiche pro Parzelle ausgeführt. Bei Pflanzenbewuchs mit erkennbaren Drillreihen wurden immer zwei Einstiche auf der Drillreihe und zwei Einstiche zwischen der Drillreihe vorgenommen. Die vier Proben wurden jeweils zu einer Mischprobe pro Entnahmeschicht vereinigt. Transport und Lagerung der Proben erfolgte nach den Vorgaben des VdLUFA (HOFFMANN 1991).

Für die Inkubationsversuche zur Abschätzung des Samenbankpotentials im Boden (Kap. 4.9) wurden Ende Oktober in den Untersuchungsjahren 2011, 2012 und 2013 an den Standorten Reinshof und Wiebrechtshausen mit Hilfe von Stechzylindern (250 cm<sup>3</sup>, je zwei Einstiche pro Parzelle) Bodenproben entnommen. Die maximale Entnahmetiefe betrug 5 cm. Untersucht wurden vier der acht Untersaat-Varianten: Erdklee, Weidelgras, Wegwarte und die Mischung aus Wegwarte und Weidelgras. Zudem wurden Stechzylinder-Proben in der Kontrollvariante 1 (Tab. 3) entnommen. Insgesamt wurden auf diese Weise pro Jahr Ausgangssubstrate für 120 Keimschalen bereitgestellt. Die Herrichtung der Keimschalen geschah in Anlehnung an DE CAUWER (2011). Eine höhere Anzahl wäre auf Grund der begrenzten Gewächshausfläche nicht möglich gewesen.

### **3.3.7 Bestimmung von N<sub>min</sub> und der Wassergehalte im Boden**

Die Bodenproben der Zeiträume Mai bis Oktober wurden im Labor (Universität Göttingen, Abteilung Pflanzenbau) getrennt nach Tiefenstufen analysiert. Die Aufarbeitung und Behandlung der Proben erfolgte nach den Vorgaben der Methodenbeschreibungen des VdLUFA (HOFFMANN 1991). Die Extraktion mineralischer N-Verbindungen aus dem Boden (Nitrat und Ammonium) erfolgte mit einer 0,01-molaren CaCl<sub>2</sub>-Schüttellösung. Die Konzentration der löslichen Boden-Stickstofffraktionen wurde photochemisch mittels Durchflussanalyse (Continuous-Flow Analysis,

Fa. Seal) gemessen. Die Bestimmung des volumetrischen Wassergehalts des Bodens war ein Teilabschnitt der Nmin-Analytik. Jeweils im November der Untersuchungsjahre wurden an den Standorten Reinshof und Wiebrechtshausen Profilgruben angelegt. Stechzylinder mit Bodenproben aus unterschiedlichen Bodentiefen und Bodenhorizonten wurden dort entnommen. Diese Stechzylinderproben wurden genutzt, um im Labor (Universität Göttingen, Abteilung Agrarpedologie) mittels der Drucktopf-Methode eine Wassergehalts-Saugspannungs-Beziehung zu ermitteln. Durch die Messungen wird gezeigt, wieviel Wasser im Boden mit welcher Saugspannung gehalten wird. Resultat ist eine charakteristische pF-Kurve. Das Porenvolumen der Böden und die nutzbare Feldkapazität können berechnet werden.

## 4 Ergebnisse

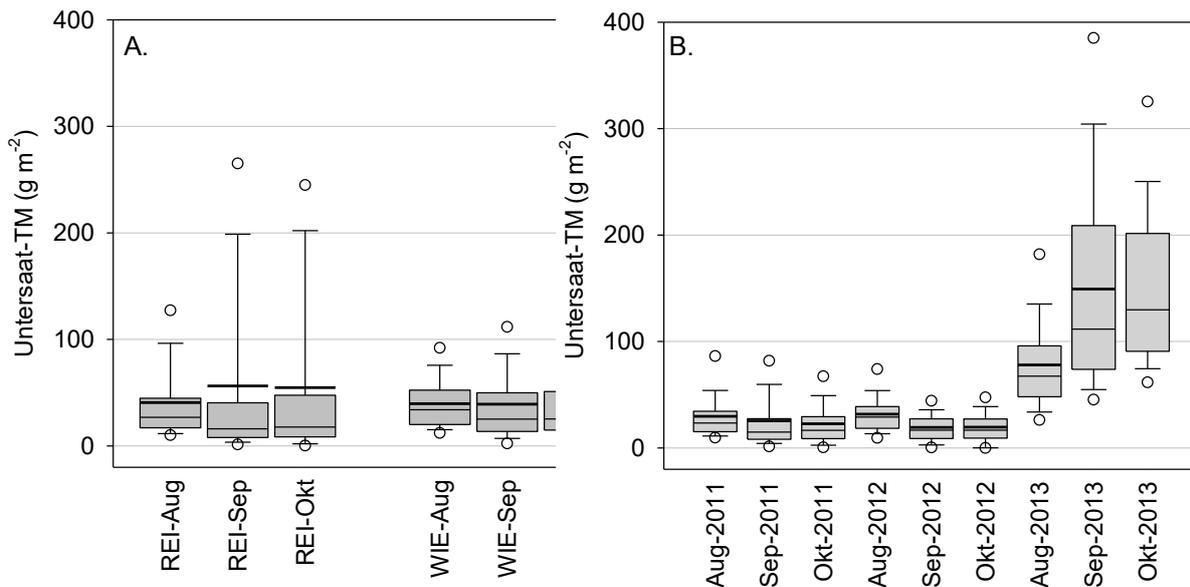
Ein herausragendes Ziel im Arbeitspaket 1 ist die Untersuchung und der Vergleich von Untersaat-Varianten, die etwa ab dem Mais-Makrostadium 3 (Längenwachstum bzw. Schossen) bis zur Reife effizient Unkräuter unterdrücken sollten. Im Folgenden werden daher die Ergebnisse für die Sprossmasse-Erträge (Kap. 4.1) und für die Deckungsgrade (Kap. 4.2) der Untersaaten und Unkräuter umfangreich dargestellt. Bedeutend ist zudem die Ergebnisdarstellung für den Faktor „Maissorte“, da teilweise verschiedene Mais-Wuchstypen (Tab. 2) verwendet wurden. Der Einfluss der Untersaaten und Unkräuter auf den Kornertrag des Maises ist selbstverständlich gleichfalls von hoher Bedeutung (Kap. 4.4). Der Parameter Blattgrünfärbung der Maisblätter („SPAD-Werte“, Kap. 4.6) liefert weitere Informationen, ob der Mais während der Vegetationsperiode durch die Untersaaten beeinflusst wurde. Gemessen wurde ferner das Vorkommen des Nährelementes Stickstoff im Maiskorn (Kap. 4.5) und im Boden (Nmin, Kap. 4.7) zu verschiedenen Zeitpunkten. Zusatzuntersuchungen über die potentielle Wasserversorgung der Pflanzen an den Standorten erlauben weitergehende Einschätzungen zu den Wuchsbedingungen in den einzelnen Untersuchungsjahren (Kap. 4.8). Das Gesamtbild wird durch Inkubationsversuche zum Samenbankpotential der Böden an den Standorten abgerundet (Kap. 4.9).

Die überwiegende Anzahl der Datensätze bezüglich der Sprossmasse-Erträge und Deckungsgrade bei Untersaaten und Unkräuter waren nicht gleichmäßig, sondern schief verteilt. Für die Interpretation der Daten ist daher zu beachten, dass die Betrachtung des Medians (Zentralwert) häufig sinnvoller ist als die Betrachtung des arithmetischen Mittelwertes. Um die Übersichtlichkeit zu wahren, werden die Daten in den Kapiteln 4.1 und 4.2 überwiegend als Box-Whisker-Plots präsentiert. Wie dabei üblich werden die Bereiche zwischen dem unteren Quartil Q1 (25 % der Messwerte liegen unterhalb) und dem oberen Quartil Q3 (25 % der Messwerte liegen oberhalb) als Rechteck (Box) gezeigt. Der Zentralwert (Median) ist der mittlere Strich. Der arithmetische Mittelwert ist zudem als fetter Strich zu sehen. Die Enden der „whiskers“ (Schnurrhaare) sind entweder das 10 %-Perzentil (unten) oder das 90 %-Perzentil (oben). Die Punkte unten und oben stellen die 5 %- und 95 %-Perzentile dar.

## 4.1 Sprossmasse der Untersaaten und Unkräuter

### 4.1.1 Wachstum der Untersaaten

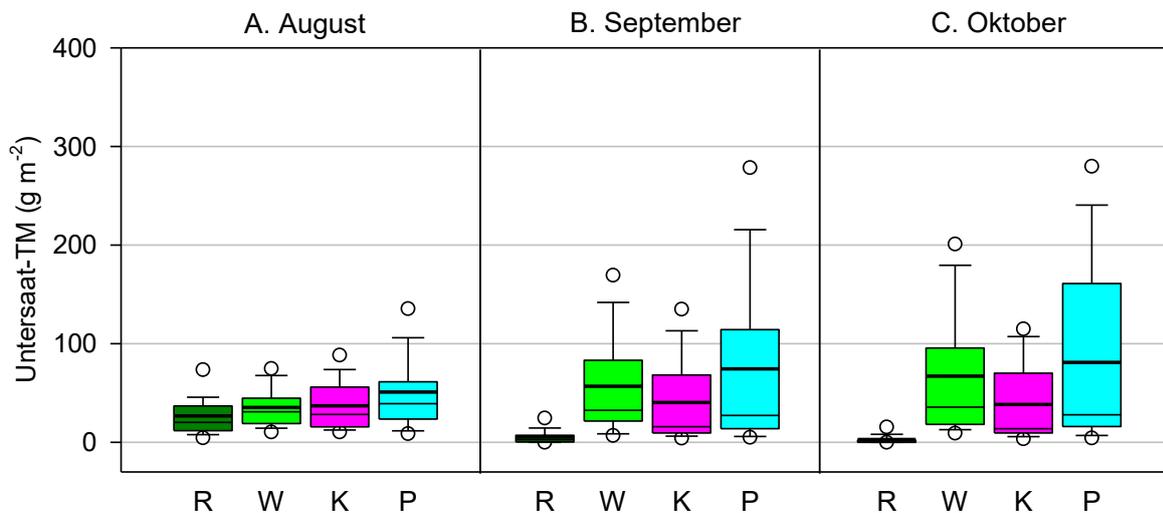
Die Untersaaten wurden zwischen Anfang und Mitte Juni gesät, als der Mais etwa vier oder fünf entfaltete Laubblätter aufwies (BBCH 14 bis 15). Die Beerntung der Untersaaten zusammen mit der Unkraut-Sprossmasse erfolgte je dreimal pro Vegetationsperiode und Standort in den Monaten August, September und Oktober (genaue Termine siehe Tabelle A3).



**Abb. 5:** Sprossmasse (g TM m<sup>-2</sup>) aller geprüften Untersaat-Varianten für die Standorte (A), Reinshof (REI, n = 240) und Wiebrechtshausen (WIE, n = 240) sowie für die Untersuchungs-jahre (B) mit den Jahren 2011, 2012 (je n = 192) und 2013 (je n = 92). Boxplots für je drei Erntetermine pro Jahr (August, September, Oktober).

Sowohl für die Standorte als auch für die Untersuchungsjahre ergaben sich von August bis Oktober häufig ähnliche Tendenzen im Wachstum, jedoch gab es Unterschiede im Detail. Im Mittel bewegte sich die Sprossmasse der Untersaaten – je nach Monat und Standort – zwischen 39 und 56 g TM m<sup>-2</sup> (arithmetischer Mittelwert) bzw. zwischen 16 und 34 g TM m<sup>-2</sup> (Mediane). Generell wurde im Mittel (Mediane) am Standort Wiebrechtshausen eine etwas höhere Untersaaten-Trockenmasse als am Standort Reinshof ermittelt. Im August 34 g TM m<sup>-2</sup> gegenüber 27 g TM m<sup>-2</sup>, im September 25 g TM m<sup>-2</sup> gegenüber 16 g TM m<sup>-2</sup> und im Oktober 25 g TM m<sup>-2</sup> gegenüber 18 g TM m<sup>-2</sup> (Abb. 5A). Allerdings liegen die arithmetischen Mittelwerte am Standort Reinshof im September und August deutlich über den Werten für den Standort Wiebrechtshausen, da diese Datensätze extrem schief verteilt sind. Hier wurden zudem hohe Spannweiten und Standardabweichungen festgestellt. Die 90 %-Perzentile erreichten für den Standort Reinshof im September und Oktober Werte von etwa 200 g TM m<sup>-2</sup>. Am Standort Wiebrechtshausen blieb das 90 %-Perzentil dauerhaft unterhalb 100 g TM m<sup>-2</sup>.

Beim Vergleich der Untersuchungsjahre (Abb. 5B) fallen die großen Unterschiede zwischen den Jahren 2011 und 2012 einseits und dem Jahr 2013 andererseits auf. Während in den Untersuchungsjahren 2011 und 2012 die mittlere Sprossmasse der Untersaaten im August nicht mehr als  $32 \text{ g TM m}^{-2}$  betrug, so erreichten im Untersuchungsjahr 2013 die mittlere Untersaat-Sprossmassen Werte zwischen  $78$  und  $152 \text{ g TM m}^{-2}$ . Demnach waren die Bedingungen für das Untersaat-Wachstum zwischen den Jahren 2011 und 2012 nahezu identisch, während insbesondere am Standort Reinshof im Jahr 2013 ein sehr viel höheres Untersaaten-Wachstum beobachtet wurde.

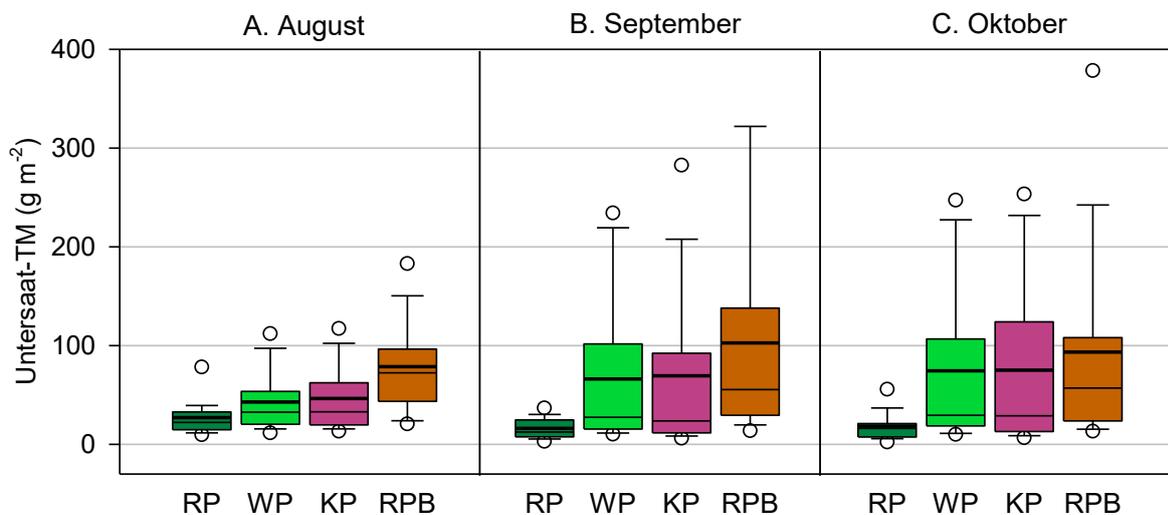


**Abb. 6:** Sprossmasse ( $\text{g TM m}^{-2}$ ) der Untersaat-Varianten Winterroggen (R), Welsches Weidelgras (W), Erdklee (K) und Wegwarte (P) für August (A), September (B) und Oktober (C) in den Untersuchungsjahren 2011 bis 2013. Boxplots mit Median (dünne Linie) und arithmetischen Mittelwert (dicke Linie). Stichprobenumfang: jeweils  $n = 72$  (2011 bis 2013), bei R:  $n = 48$  (nur 2011 bis 2012).

Der Vergleich der acht Untersaat-Varianten (Tab. 3) hinsichtlich des Wachstums der Sprossmasse wird in den Abbildungen 6 (Reinsaaten) und 7 (Mischsaaten) vorgenommen. Die mit Abstand niedrigsten Untersaat-Erträge zeigten an beiden Standorten die beiden Varianten mit Winterroggen. Im August war die Ertragsbildung in der Roggen-Reinsaat noch akzeptabel (im Mittel  $27 \text{ g TM m}^{-2}$ ), aber mit zunehmender Beschattung durch den Mais verschwand der Winterroggen bis Oktober häufig gänzlich, so dass im Mittel nur noch  $3 \text{ g TM m}^{-2}$  nachgewiesen wurde. Gänzlich andere Entwicklungen wurden bei den Untersaaten Welsches Weidelgras, Erdklee und Wegwarte beobachtet. Die Reinsaat von Welschem Weidelgras bewegte sich in allen drei Monaten mit Werten zwischen  $31$  und  $36 \text{ g TM m}^{-2}$  (Mediane) auf etwa gleichem Niveau.

Zunächst war die Sprossmasse des Erdklee im August ( $28 \text{ g TM m}^{-2}$ , Median) mit jener des Welschem Weidelgrases vergleichbar, jedoch wies Erdklee im September ( $16 \text{ g TM m}^{-2}$ , Median) und im Oktober ( $14 \text{ g TM m}^{-2}$ , Median) deutlich geringe Sprossmassen als Weidelgras auf. Spitzenreiter im August war allerdings die

Wegwarte ( $39 \text{ g TM m}^{-2}$ , Median), während sie im September und Oktober mit Medianen von etwa  $27 \text{ g TM m}^{-2}$  vor Erdklee lag, aber etwas hinter Weidelgras (Abb. 6). Da bekannt ist, dass sich die Untersuchungsjahre 2011 und 2012 von dem Jahr 2013 deutlich unterscheiden, soll dies beim Vergleich der Untersaaten nochmals berücksichtigt werden. Unter Ausschluss der Daten für das Jahr 2013 zeigten die Untersaaten Winterroggen, Weidelgras, Erdklee und Wegwarte im August durchaus ähnliche mittlere Sprossmassen zwischen  $17$  und  $33 \text{ g TM m}^{-2}$ . Im September und Oktober lag Weidelgras auf Platz eins ( $25$  bis  $31 \text{ g TM m}^{-2}$ ) vor Wegwarte ( $17$  bis  $24 \text{ g TM m}^{-2}$ ), Erdklee folgte mit Werten zwischen  $11$  bis  $13 \text{ g TM m}^{-2}$ .

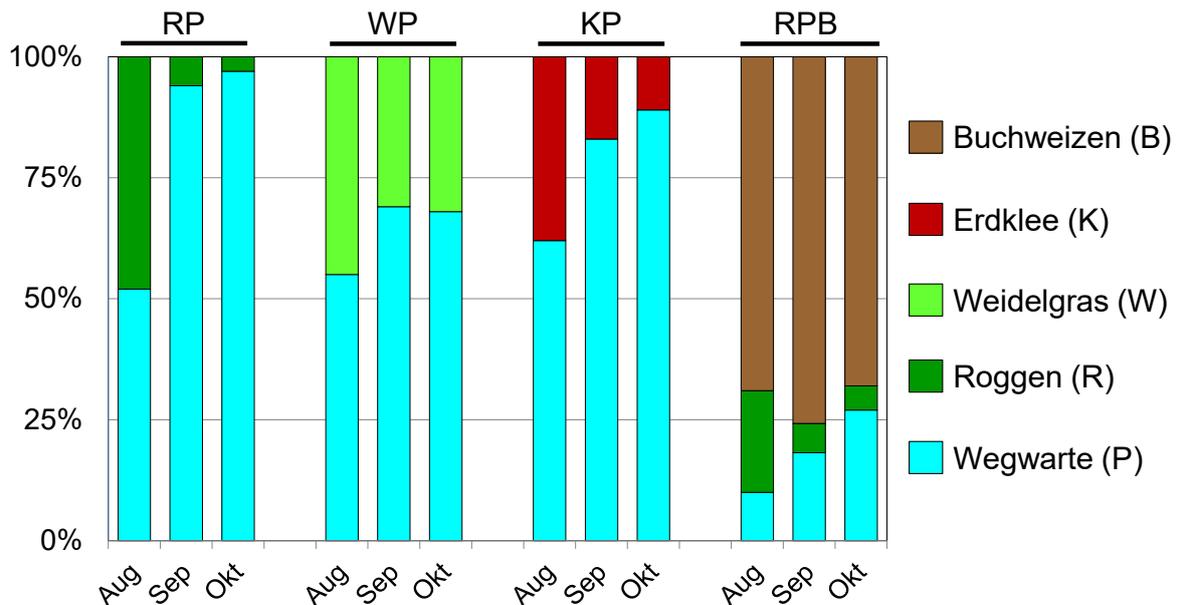


**Abb. 7:** Sprossmasse ( $\text{g TM m}^{-2}$ ) der Untersaat-Varianten Winterroggen mit Wegwarte (RP), Welsches Weidelgras mit Wegwarte (WP), Erdklee mit Wegwarte (KP) sowie Winterroggen mit Wegwarte und Buchweizen (RPB) für August (A), September (B) und Oktober (C) in den Untersuchungsjahren 2011 bis 2013. Boxplots mit Median (dünne Linie) und arithmetischen Mittelwert (dicke Linie). Stichprobenumfang: jeweils  $n = 72$  (2011 bis 2013), bei RP:  $n = 48$  (2011 bis 2012).

Im Untersuchungsjahr 2013 wurden bereits im August mittlere Sprossmassen zwischen  $54 \text{ g TM m}^{-2}$  (Weidelgras) und  $123 \text{ g TM m}^{-2}$  (Gemenge RPB) festgestellt. Das Sprosswachstum steigerte sich nochmals im September und Oktober 2013. Besonders Wegwarte in Reinsaat und die Gemengesaat aus Winterroggen, Wegwarte und Buchweizen erreichte zu diesen Zeitpunkten mittlere Sprossmassen zwischen  $182$  bis  $203 \text{ g TM m}^{-2}$ . Die Verteilung der Sprossmasse der Mischsaaten (Abb. 7) wird zu einem erheblichem Maß von der Wegwarte beeinflusst, da in den Varianten RP, KP und WP jeweils mindestens die Hälfte der Sprossmasse zu dieser Art gehörte.

#### 4.1.2 Untersaaten-Wachstum im Gemenge

Für die hier vorgestellten dreijährigen Feldversuche wurde eine blattreiche Futter-Wegwarte (Sorte „Grasslands Puna“) ausgewählt. Diese wurde in Mischung mit bekannten Gräser- oder Kleearten (Tab. 3) im Feldversuch getestet. Im Vergleich zu den Reinsaaten der Untersaat-Varianten wurden die Gemenge-Untersaaten im substitutiven Verfahren ausgesät. Demnach wurde bei zwei Gemengepartnern jeweils genau 50 % der Saatmenge der Reinsaaten eingesetzt. Bei drei Gemengepartnern waren dies jeweils 33,3 % (siehe Tab. 3).



**Abb. 8:** Relatives Verhältnis (%) der Sprossmasse in vier Untersaat-Gemengen differenziert nach den Monaten August, September und Oktober. Daten abgeleitet aus arithmetischen Mittelwerten der absoluten Sprossmasse an den Standorten Reinshof und Wiebrechtshausen. RP: Winterroggen mit Wegwarte (2011 bis 2012, n = 48); WP: Weidelgras mit Wegwarte (2011 bis 2013, n = 72); KP: Erdklee mit Wegwarte (2011 bis 2013, n = 72); RPB: Winterroggen mit Wegwarte und Buchweizen (2011 bis 2013, n = 72).

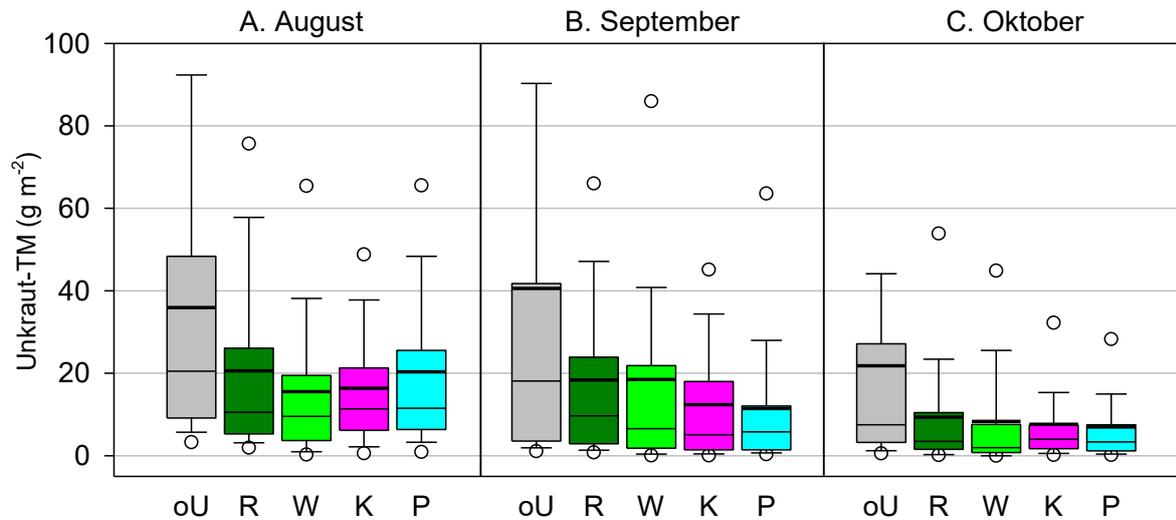
In den Varianten mit zwei Gemengepartnern zeigte sich, dass Wegwarte noch nicht im August, aber ab September und insbesondere im Oktober die dominierende Kultur darstellte. Lediglich Weidelgras zeigte im September und Oktober noch Gemengeanteile von ca. 30 %. Die Sprossmasse-Anteile von Erdklee und insbesondere Winterroggen sanken deutlich unter 10 %. Im Gemenge aus Winterroggen, Wegwarte und Buchweizen dominierte der Buchweizen zu jedem Zeitpunkt. Die Sprossmasseanteile bewegten sich zwischen 68 und 75 % und waren im September am höchsten. Winterroggen war im August mit 21 % Sprossmasseanteil noch relativ gut vertreten, verschwand aber bis auf einen Rest von 5 % im Oktober. Wegwarte zeigte im August hingegen nur einen Sprossmasseanteil in Höhe von 10 %. Dieser stieg bis Oktober auf 27 % (Abb. 8).

### 4.1.3 Wachstum der Unkräuter

Der Vergleich des Aufwuchses der Unkraut-Sprossmassen für die einzelnen Untersaat-Varianten wird in Abbildung 9 für die Reinsaat und in der Abbildung 10 für die Mischsaaten vorgenommen. Zusätzlich ist die Verteilung der Unkraut-Sprossmasse in der Kontrollvariante ohne Untersaaten (oU-1) angegeben. Die Sprossmasse-Bildung der Gesamtheit der Unkräuter (in g TM m<sup>-2</sup>) wurde in den Monaten August, September und Oktober erfasst (Tabelle A3). Für den Vergleich mit den Untersaaten wurde in einer Kontrollvariante (oU-1, Tab. 3) ohne Untersaaten der Aufwuchs der Unkräuter auf Kleinteilflächen zusätzlich erfasst. In den Abbildungen 9 und 10 sind diese Daten als Variante „oU“ dargestellt. Im arithmetischen Mittel über alle Untersuchungsjahre und Standorte betrug die Unkraut-Sprossmasse im August 36 g TM m<sup>-2</sup>. Im September war sie mit 41 g TM m<sup>-2</sup> am höchsten und im Oktober mit rund 22 g TM m<sup>-2</sup> am niedrigsten. Die Mediane der gleichen Datensätze (21, 18, und 8 g TM m<sup>-2</sup>, Abb. 9 und 10) weichen von den arithmetischen Mittelwerten ab, da eine schiefe Verteilung der Datensätze vorlag. Wird das Unkraut-Aufkommen als Spross-Trockenmasse über alle acht Untersaat-Varianten gemittelt, so finden sich im August etwa 21 g Unkraut-TM m<sup>-2</sup>, im September circa 14 g Unkraut-TM m<sup>-2</sup> und im Oktober rund 10 g Unkraut-TM m<sup>-2</sup>.

Die angegebenen Sprossmassen repräsentieren immer die Summe der Biomasse aus einem standorttypischen Artenpool. Die Sprossmasse wurde nicht auf Artebene einzeln erfasst, im Folgenden werden die wichtigsten Arten genannt. Der überwiegende Anteil der geernteten Unkräuter und Ungräser gehörte zur Gruppe der kleinwüchsigen, aber stetig vorkommenden annualen Unkräuter: Vogelmiere (*Stellaria media*), Taubnessel (*Lamium purpureum* und *L. amplexicaule*), Windknöterich (*Fallopia convolvulus*) und Knopfkräuter (*Galinsoga ciliata* und *G. parviflora*). Vereinzelt traten am Standort Reinshof die Arten Klettenlabkraut (*Galium aparine*), Wolfsmilch (*Euphorbia helioscopia*) und Erdrauch (*Fumaria officinalis*) auf. Eine weitere Art an beiden Standorten war Gänsedistel (*Sonchus asper*). Nennenswert sind noch Kamille (*Matricaria chamomilla*) und Ampfer (*Rumex crispus*).

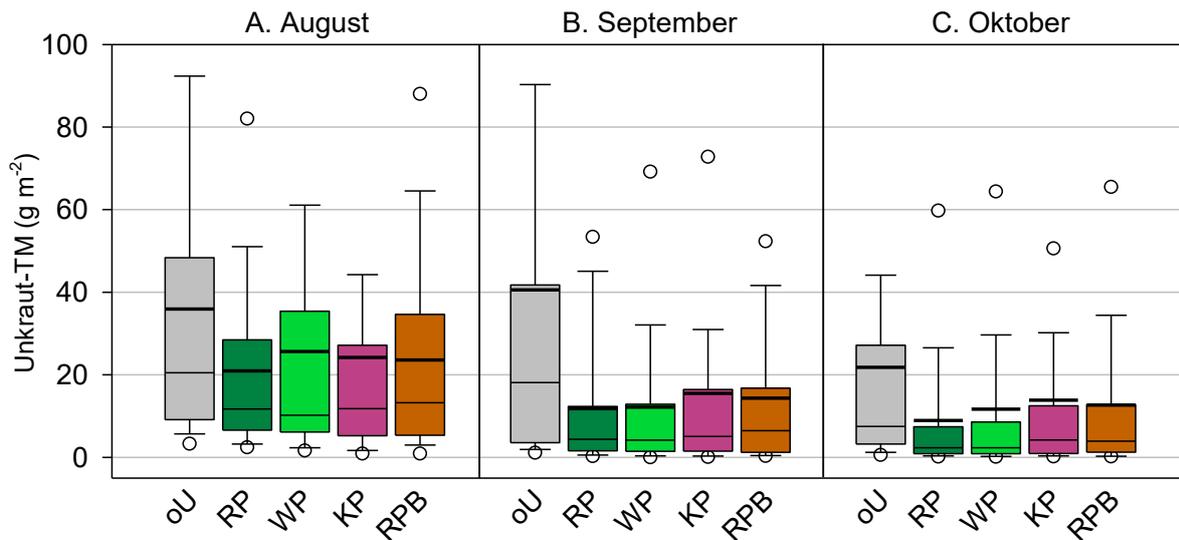
Punktuell verursachten Nester der Ackerkratzdistel (*Cirsium arvense*) an beiden Standorten hohen Sprossmassen-Aufwuchs, der bei den Zeiternten nicht ignoriert werden konnte. Weitere sogenannte „Problemunkräuter“ kamen in unterschiedlichem Maße vor. Zu nennen wäre für den Standort Reinshof der Ackersenf (*Sinapis arvensis*) und der Acker-Schachtelhalm (*Equisetum arvense*). Die erste Art war hauptsächlich auf die Untersuchungsflächen des Jahres 2011 beschränkt (Schlag Sauanger-Ost), während der Schachtelhalm auf der Untersuchungsfläche des Jahres 2012 angetroffen wurde (Schlag Sauanger-West). Am Standort Wiebrechtshausen (Umstellung etwa um das Jahr 2002) ist der Weiße Gänsefuß (*Chenopodium album*) als Leitunkraut anzusprechen. Die Art kam mit geringen Abundanzen auch am Standort Reinshof vor. Acker-Fuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides*) trat an beiden Standorten auf, jedoch nur zerstreut bis selten.



**Abb. 9:** Sprossmasse ( $\text{g TM m}^{-2}$ ) der Unkräuter in den Varianten „ohne Untersaat (oU), Winterroggen (R), Welsches Weidelgras (W), Erdklee (K) und Wegwarte (P) für August, September und Oktober in den Untersuchungsjahren 2011, 2012 und 2013 an beiden Standorten. Boxplots mit Median (dünne Linie) und arithmetischen Mittelwert (dicke Linie). Stichprobenumfang: jeweils  $n = 72$  (2011 bis 2013), bei R:  $n = 48$  (2011 bis 2012).

Im Monat August wurden in Welschem Weidelgras und in Erdklee die geringsten Unkraut-Sprossmassen festgestellt. Im Mittel fanden sich jeweils etwa  $16 \text{ g Unkraut-TM m}^{-2}$ . Demgegenüber wurden in Wegwarte und Winterroggen im arithmetischen Mittel etwa  $20$  bis  $21 \text{ g Unkraut-Spross-TM m}^{-2}$  festgestellt. Im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle (im Mittel  $36 \text{ g TM m}^{-2}$ ) kam es demnach bereits im August zu einer erheblichen Reduktion des Unkrautwachstums (Abb. 9).

Im Monat September zeigte die blattreiche Wegwarte die beste Unkrautunterdrückung, im Mittel nur  $11 \text{ g Unkraut-TM m}^{-2}$ . Der eher kleinwüchsige Erdklee folgte jedoch erneut auf Rang zwei mit ähnlich guten Werten: im Mittel traten  $12 \text{ g Unkraut-TM m}^{-2}$  auf. Der Median war bei Erdklee sogar etwas geringer als bei Wegwarte, allerdings waren die oberen Quartile bzw. Percentile höher. Weidelgras und Winterroggen folgten schließlich etwa gleichauf - im Mittel mit  $18 \text{ g Unkraut-TM m}^{-2}$ . Bei Winterroggen war zu erwarten, dass eine vergleichsweise hohe Unkraut-Sprossmasse auftrat. Wie bereits oben beschrieben, war spätestens ab September nur noch wenig Winterroggen-Sprossmasse vorhanden (Abb. 6 und 7). Weidelgras hingegen fiel doch etwas hinter den Erwartungen ab. Somit bleibt festzuhalten, dass im September Erdklee und Wegwarte ähnlich gut Unkraut unterdrücken – Erdklee schafft dies aber offensichtlich mit weit weniger eigener Biomasse. Im Monat Oktober übernahm erneut die Wegwarte mit etwa  $7 \text{ g Unkraut-TM m}^{-2}$  (arithmetischer Mittelwert) die vordere Position. Die anderen Arten folgten dichtauf mit nur etwa  $1$  bis  $2 \text{ g}$  höheren Werten.



**Abb. 10:** Sprossmasse ( $\text{g TM m}^{-2}$ ) der Unkräuter in den Varianten „ohne Untersaat (oU), Winterroggen mit Wegwarte (RP), Welsches Weidelgras mit Wegwarte (WP), Erdklee mit Wegwarte (KP) sowie Winterroggen mit Wegwarte und Buchweizen (RPB) für August, September und Oktober in den Untersuchungsjahren 2011, 2012 und 2013 an beiden Standorten. Boxplots mit Median (dünne Linie) und arithmetischen Mittelwert (dicke Linie). Stichprobenumfang: jeweils  $n = 72$  (2011 bis 2013), bei R:  $n = 48$  (2011 bis 2012).

Vergleicht man hingegen die Mediane, so erreicht im Oktober das Weidelgras mit ca.  $2 \text{ g Unkraut-TM m}^{-2}$  den geringsten Wert. Obwohl im Oktober ein weitaus geringeres Unkrautwachstum als in den anderen beiden Monaten festgestellt wurde, liegt die Reduktion durch die Untersaaten noch immer über 50 % im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle.

Die vier untersuchten Mischsaaten zeigten in den Monaten August, September und Oktober im wesentlichen keine andere Verteilung der Unkraut-Sprossmassen (Abb. 10) als die Reinsaaten (Abb. 9). Im August wurde im Mittel über die vier Mischsaat-Varianten ein Unkraut-Sprossmasse in Höhe von  $24 \text{ g TM m}^{-2}$  festgestellt, während die vier Reinsaaten im Mittel etwa  $18 \text{ g Unkraut-TM m}^{-2}$  aufwiesen. Die Mediane waren aber mit jeweils etwa  $11 \text{ g Unkraut-TM m}^{-2}$  fast gleichauf. Im September waren die arithmetischen Mittelwerte mit  $15 \text{ g Unkraut-TM m}^{-2}$  (Reinsaaten) bzw.  $14 \text{ g Unkraut-TM m}^{-2}$  (Mischsaaten) fast identisch. Auch für die Mediane traf dies zu: Rund  $7 \text{ g Unkraut-TM m}^{-2}$  bei den Reinsaaten und etwa  $5 \text{ g Unkraut-TM m}^{-2}$  bei den Mischsaaten. Im Oktober verschob sich der Schwerpunkt wie im August wieder leicht zu den Mischsaaten, die beim arithmetischen Mittelwert rund  $12 \text{ g Unkraut-TM m}^{-2}$  und beim Median  $3 \text{ g Unkraut-TM m}^{-2}$  aufwiesen. Die Reinsaaten lagen bei rund  $8 \text{ g Unkraut-TM m}^{-2}$  und beim Median bei circa  $3 \text{ g Unkraut-TM m}^{-2}$ . Demnach ist festzustellen, dass die erhoffte „Kombinationswirkung“ hinsichtlich der Unkrautunterdrückung, die von mehreren Arten im Gemenge ausgehen könnte, eher ausgeblieben ist.

Beim Vergleich untereinander unterscheiden sich auch die vier Mischsaatvarianten RP, WP, KP und RPB nur unwesentlich. Wie bereits in Abbildung 8 gezeigt, wurden

drei der vier Varianten von Wegwarte dominiert. Buchweizen konnte mit hohen Sprossmassenaufwüchsen zumeist gleichfalls zur effizienten Unkrautunterdrückung beitragen. Die Variante RP (Winterroggen plus Wegwarte) zeigte wegen der bereits genannten Probleme mit Winterroggen relativ geringen Sprossmassen-Aufwuchs. Dennoch zeigte diese Variante in Abbildung 9 im September und Oktober eine geringere Unkraut-Sprossmasse als die Varianten WP, KP und RPB. Dieser erste Eindruck täuscht, da RP nur in den Jahren 2011 und 2012 untersucht wurde.

Bereits an andere Stelle wurde erläutert, dass die Verteilung der aufgewachsenen Untersaaten und Unkräuter in den drei Untersuchungsjahren sich teilweise stark unterschied. In der Tabelle 4 sind deshalb die Unkraut-Sprossmassen im Jahresvergleich zusammengefasst. Die Kontrollvariante ohne Untersaaten, aber mit Unkräutern wird den gemittelten Daten der acht Untersaat-Varianten (Teile „mit Untersaat“) gegenübergestellt.

**Tab. 4:** Median (Z), arithmetischer Mittelwert ( $\bar{x}$ ) und Standardabweichung ( $s_x$ ) der Unkraut-Sprossmasse (g TM m<sup>-2</sup>) in den drei Untersuchungsjahren 2011, 2012 und 2013 für drei Termine während der Vegetationsperiode (August, September, Oktober) an beiden Standorten

		2011			2012			2013		
		Z	$\bar{x}$	$s_x$	Z	$\bar{x}$	$s_x$	Z	$\bar{x}$	$s_x$
<b>August</b>	ohne Untersaat	15,7	20,8	16,5	15,8	38,2	42,7	37,1	48,8	38,5
	<b>mit Untersaat</b>	<b>7,7</b>	<b>9,8</b>	<b>7,8</b>	<b>20,0</b>	<b>30,2</b>	<b>30,0</b>	<b>10,9</b>	<b>23,4</b>	<b>34,3</b>
	<i>Rückgang in %</i>	-51	-53		+27	-21		-71	-52	
<b>September</b>	ohne Untersaat	2,8	7,5	10,9	20,2	31,1	29,1	43,0	83,1	134,2
	<b>mit Untersaat</b>	<b>1,9</b>	<b>4,0</b>	<b>6,3</b>	<b>13,1</b>	<b>22,8</b>	<b>30,8</b>	<b>6,5</b>	<b>16,6</b>	<b>27,9</b>
	<i>Rückgang in %</i>	-32	-47		-35	-27		-85	-80	
<b>Oktober</b>	ohne Untersaat	4,3	5,4	4,8	7,5	19,1	30,4	26,6	41,0	52,8
	<b>mit Untersaat</b>	<b>1,1</b>	<b>2,1</b>	<b>3,1</b>	<b>5,9</b>	<b>15,7</b>	<b>27,5</b>	<b>5,9</b>	<b>12,8</b>	<b>22,0</b>
	<i>Rückgang in %</i>	-74	-61		-21	-18		-78	-69	

Im Untersuchungsjahr 2011 wurde im Vergleich zwischen den Jahren in jedem der drei Untersuchungsmonate das geringste Unkrautauflkommen registriert (2 g Unkraut-TM m<sup>-2</sup> bis maximal 21 g Unkraut-TM m<sup>-2</sup> bei den arithmetischen Mittelwerten). Zumeist lag die Unkraut-Sprossmasse über oder nahe bei 10 g Unkraut-TM m<sup>-2</sup> (Ausnahme: August). Dies galt sowohl für die Kontrolle ohne Untersaat als auch für die Untersaat-Varianten. Im Untersuchungsjahr 2012 wurden in den Untersaat-Varianten je nach Monat drei- bis achtfach höhere Unkraut-Sprossmassen als im Jahr 2011 erfasst. In der Kontrollvariante ohne Untersaat lag die Unkraut-Sprossmasse aber nur zwei- bis vierfach höher als im Jahr 2011. Im Untersuchungsjahr 2013 stach die Kontrollvariante mit sehr hohen mittleren Unkraut-Sprossmassen heraus, besonders im September wurde mit 83 g Unkraut-TM m<sup>-2</sup> (arithmetischer

Mittelwert) der im Vergleich höchste Wert erreicht. Allerdings war zu diesem Zeitpunkt die Standardabweichung gleichfalls besonders hoch (Tab. 4).

Als Fazit bleibt festzuhalten, dass die jahresabhängige Schwankungsbreite beim Aufwuchs der Unkraut-Sprossmasse als groß einzuschätzen ist. Interessant ist, dass die relative Unkrautunterdrückung durch Untersaaten im Jahr 2013 bei vergleichsweise hohen Abundanzen weitaus besser funktionierte als im Untersuchungsjahr 2012. Dies ist damit zu erklären, dass im Jahr 2013 auch die Sprossmassenbildung der Untersaaten erheblich höher war als im Jahr 2012 – im September 2013 beispielsweise 150 g Untersaat-TM m<sup>-2</sup> gegenüber 20 g Untersaat-TM m<sup>-2</sup> im Jahr 2012.

**Tab. 5:** Relativer Rückgang (in %) der Unkraut-Sprosstrockenmasse im Vergleich zwischen der Kontrolle ohne Untersaat (Sprossmasse in g m<sup>-2</sup> = 100 %) und der jeweiligen Untersaat-Kultur für drei Termine während der Vegetationsperiode. Datenbasis: drei Untersuchungsjahre, zwei Standorte

Untersaat-Varianten	Abk.	August	September	Oktober	Total
Kontrolle (Median) Mais ohne Untersaaten	oU	20,5 = 100 %	18,1 = 100 %	7,5 = 100 %	<b>10,9</b> <b>= 100 %</b>
<b>R e i n s a a t e n</b>					
1 Winterroggen*	R	-33	-8	-23	<b>-23</b>
2 Welsches Weidelgras	W	-58	-56	-69	<b>-61</b>
3 Erdklee	K	-50	-56	-63	<b>-57</b>
4 Wegwarte	P	-42	-60	-63	<b>-53</b>
<b>M i s c h s a a t e n</b>					
5 Roggen + Wegwarte*	RP	-24	-50	-55	<b>-45</b>
6 Weidelgras + Wegwarte	WP	-45	-56	-64	<b>-53</b>
7 Erdklee + Wegwarte	KP	-40	-68	-46	<b>-51</b>
8 Roggen + Wegwarte + Buchweizen	RPB	-47	-58	-55	<b>-52</b>

\* Die Varianten 1 und 5 wurden im Jahr 2013 nicht untersucht.

Die Berechnung des relativen Rückgangs des Unkrautaufkommens in den Untersaat-Varianten (Tab. 5 und 6) erfolgte, indem alle Einzelmessungen (je 24 pro Jahr und Untersaat-Variante) mit den blockweise erfassten Einzelwerten der Kontrollvariante verglichen wurde. Auf diese Weise wurde ein neuer Datensatz errechnet. Da die Datensätze fast immer schief verteilt waren (siehe Abb. 8, 9, 12 und 13), wurden die Mediane (Zentralwerte) und nicht die arithmetischen Mittelwerte als entscheidender Lageparameter für die Ergebnisermittlung herangezogen. Als Datenbasis diente hier der gesamte Untersuchungszeitraum (2011 bis 2013) an beiden Standorten.

In den Monaten August und September war die Sprossmasse der Unkräuter in der Kontrollvariante ohne Untersaaten mit 20,5 und 18,5 g m<sup>-2</sup> (Mediane) bzw. 35,9 und 40,6 g m<sup>-2</sup> (arithmetischer Mittelwerte) etwa auf gleichem Niveau und zudem etwa

doppelt so hoch wie im Monat Oktober mit  $7,5 \text{ g m}^{-2}$  (Median) bzw.  $21,8 \text{ g m}^{-2}$  (arithmetischer Mittelwert).

Generell kann festgestellt werden, dass alle Untersaaten in jedem Untersuchungsmonat zu einer Verringerung des Unkrautaufkommens im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle beitragen. Im Mittel über alle Zeitreihen zeigt die Reinsaat von Welschem Weidelgras (-61 %) knapp vor der Reinsaat Erdklee (-57 %) die besten Ergebnisse. Auffällig ist zudem das vergleichsweise schlechte Abschneiden der Variante mit Winterroggen in Reinsaat (-23 %). Der Vergleich der Untersaat-Varianten bezüglich der Höhe der Sprossmassereduzierung beim Unkraut lässt erkennen, dass zwischen den Reinsaaten und Mischsaaten auf den ersten Blick keine großen Unterschiede zu erkennen sind. Im Detail zeigt sich jedoch - wenn Winterroggen ausgeblendet wird - dass die Mischsaaten eher etwas weniger gut als die Reinsaaten Unkräuter unterdrücken. Dabei ist zu beachten, dass die Mischsaaten in der Regel von Wegwarte oder Buchweizen dominiert wurden.

Im Vergleich zwischen den Monaten August, September und Oktober wurde beobachtet, dass die absolut höchste Verunkrautung im September auftrat. Im August war die Gesamtsprossmasse der Unkräuter jedoch nur geringfügig geringer. Die Spätverunkrautung im Oktober blieb aber insgesamt auf einem eher niedrigem Niveau (Median der Kontrollvariante:  $7,5 \text{ g m}^{-2}$ ; arithmetischer Mittelwert der Kontrollvariante:  $40,6 \text{ g m}^{-2}$ ). Beim Vergleich der Untersaat-Varianten bezüglich des relativen Rückgangs der Unkraut-Sprossmasse (Tab. 5) ist dieser Sachverhalt zu berücksichtigen. Beispielsweise ist ein relativer Rückgang von 50 % bei einer absoluten Sprossmasse von möglicherweise  $20 \text{ g m}^{-2}$  im September mehr „wert“ als ein relativer Rückgang von 75 % im Oktober, wenn dann nur  $8 \text{ g m}^{-2}$  Unkraut-Sprossmasse vorlagen.

Offensichtlich scheint demnach der September ein bedeutender Monat, um die Effizienz der Unkrautunterdrückung einzelner Untersaat-Varianten zu beurteilen. In diesem Fall belegte die Mischsaat-Variante aus Erdklee und Wegwarte (-68 %) den ersten Rang. Im September zeigte die Mischsaat-Variante aus Erdklee und Wegwarte bezüglich der Sprossmasse ein Mischungsverhältnis von 17 : 83. Demnach ist die unkrautunterdrückende Wirkung wahrscheinlich hauptsächlich auf die blattreiche Wegwarte zurückzuführen. Auf den zweiten Rang mit -60 % folgt die Reinsaat der Wegwarte. Alle anderen Varianten (außer Winterroggen) folgen etwa gleichauf mit Werten zwischen -56 % bis -58 %.

Im August wurden ähnlich wie im September vergleichsweise hohe Werte bei der Unkraut-Sprossmasse ermittelt (Median:  $20,5 \text{ g m}^{-2}$ ; arithmetischer Mittelwert:  $35,9 \text{ g m}^{-2}$ ). Die Rangfolge der besten unkrautunterdrückende Wirkung der Untersaat-Varianten stellte sich jedoch anders dar. Auf dem ersten Platz lag die Reinsaat des Welschen Weidegrases mit einem relativen Rückgang in Höhe von -58 %, gefolgt der Reinsaat des Erdklee (-50 %). Die Wegwarte zeigte hier nur Werte von -42 %.

Werden die Untersaat-Varianten bezüglich ihres Unkrautunterdrückungsvermögens beurteilt, ist es interessant, die absolute Sprossmasse der Untersaat zum jeweiligen

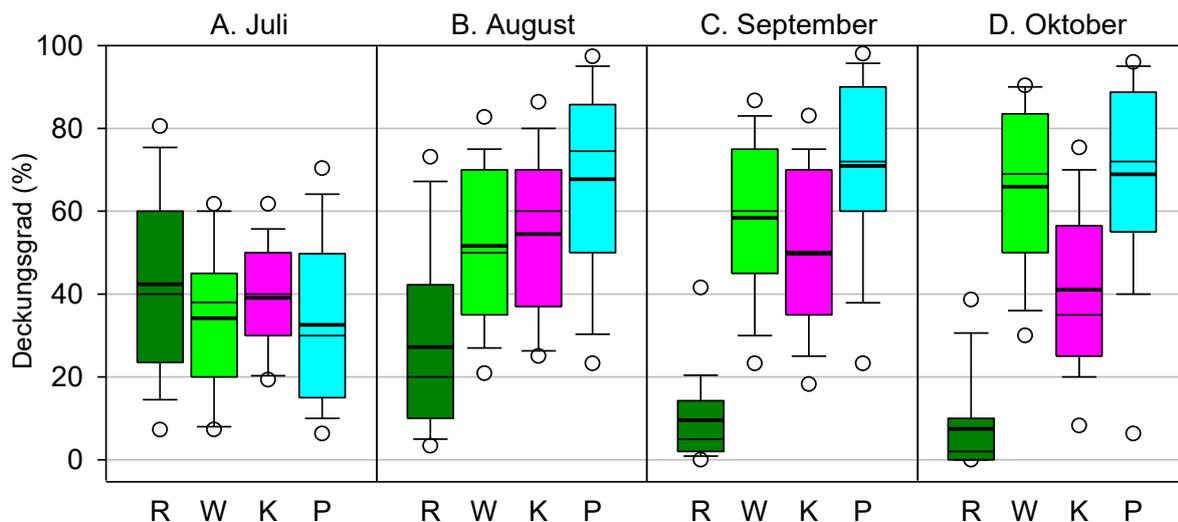
Zeitpunkt bzw. Monat zu betrachten. Im August bis Oktober zeigten Welsches Weidelgras und Erdklee in Reinsaat ähnliche Werte bezüglich der des relativen Rückgangs der Unkraut-Sprossmasse. Allerdings war die absolute Sprossmasse des Erdklee mit 16 bis 28 g m<sup>-2</sup> (Mediane) geringer als die des Welschen Weidelgrases (Mediane: 31 bis 36 g m<sup>-2</sup>). Noch höher war im Mittel die Sprossmasse der Wegwarte mit 29 bis 39 g m<sup>-2</sup> (Mediane).

Im Resultat lässt sich festhalten, dass eine gleichrangige unkrautunterdrückende Wirkung bei Erdklee weniger Sprossmasse erfordert als bei Welschen Weidelgras oder bei Wegwarte. Möglicherweise ist dieser Aspekt von Bedeutung, wenn die Konkurrenzwirkung der Untersaaten auf die Deckfrucht Mais beurteilt wird.

## 4.2 Bodenbedeckung der Untersaaten und Unkräuter

### 4.2.1 Untersaaten

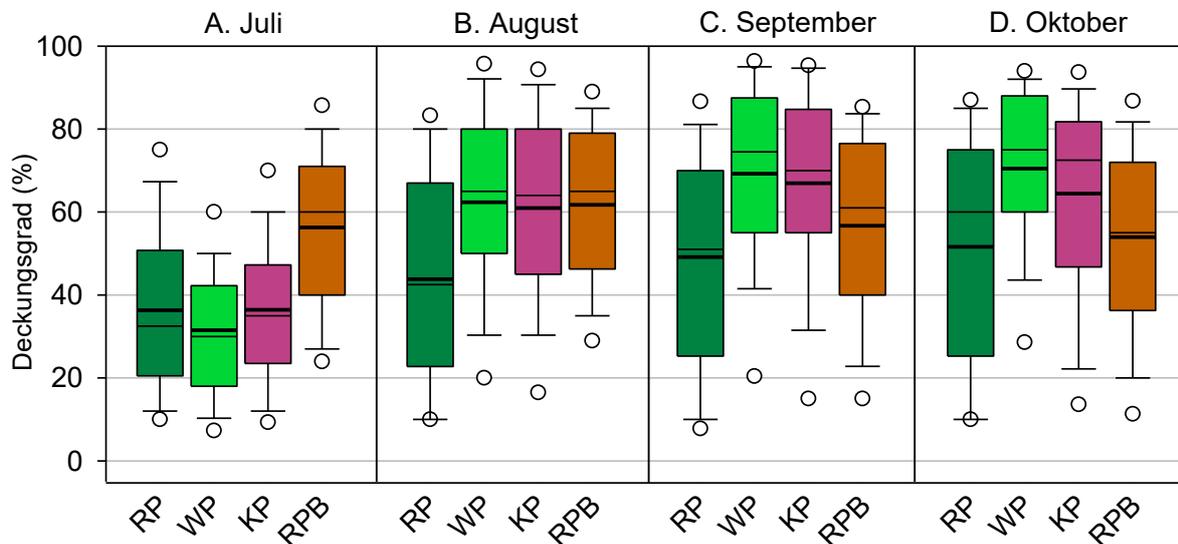
Der Sprossmassen-Flächenanteil der Untersaaten und der Unkräuter wurde in Relation zur Bodenoberfläche parzellenweise erhoben. Für die vier Reinsaat-Varianten werden die Ergebnisse in Abbildung 11 dargestellt. Die Resultate für die vier Mischsaat-Varianten werden in Abbildung 12 wiedergegeben. Dabei ist zu beachten, dass die Zahlenwerte immer die Summe der zwei oder drei Gemengepartner darstellen.



**Abb. 11:** Boden-Deckungsgrad (in %) der Untersaat-Varianten Winterroggen (R), Welsches Weidelgras (W), Erdklee (K) und Wegwarte (P) für Juli, August, September und Oktober an beiden Standorten. Boxplots mit Median (dünne Linie) und arithmetischen Mittelwert (dicke Linie). Stichprobenumfang: jeweils  $n = 72$  (2011 bis 2013), bei R:  $n = 48$  (2011 bis 2012).

Die Rein- und Mischsaaten zeigten bereits im Juli (ca. 4 bis 5 Wochen nach Aussaat) Bodendeckungsgrade zwischen 32 und 56 % (arithmetische Mittelwerte). Insbesondere die Mischsaat-Variante mit Buchweizen (RPB) nahm hier eine vordere Position ein. Wie in Abb. 8 bereits gezeigt, dominierte Buchweizen diese Mischsaat-Variante - dies galt auch für den Monat Juli. Die höchste Bodendeckung (im Mittel 62 %) wurde für die Variante RPB mit Buchweizen im August beobachtet. In den Monaten September und Oktober nahm die Deckung in der Variante RPB etwas ab, da Buchweizen weniger Zuwachs zeigte oder weil die Stängel lagerten. Die insgesamt höchsten Deckungsgrade wurden jedoch bei der Wegwarte ermittelt. Von August bis Oktober bewegten sich die arithmetischen Mittelwerte zwischen 67 bis 71 %, die Mediane variierten zwischen 72 und 75 %. Selbst im Oktober erreichte Wegwarte noch hohe Werte (rund 69 %). Im Vergleich aller Varianten lag die verwendete blattreiche Wegwarten-Sorte in den Monaten August bis Oktober fast immer auf Rang eins. Im Oktober zeigte Weidelgras allerdings ähnlich hohe Deckungsgrade wie Wegwarte. Die Mischsaaten RP, WP und KP zeigten in den Monaten August bis Oktober mittlere Deckungsgrade zwischen 43 und 69 %. Allerdings muss bei diesem

Vergleich bedacht werden, dass in den drei Gemengen die Wegwarte die dominierende Untersaat darstellte (siehe Abb. 8).

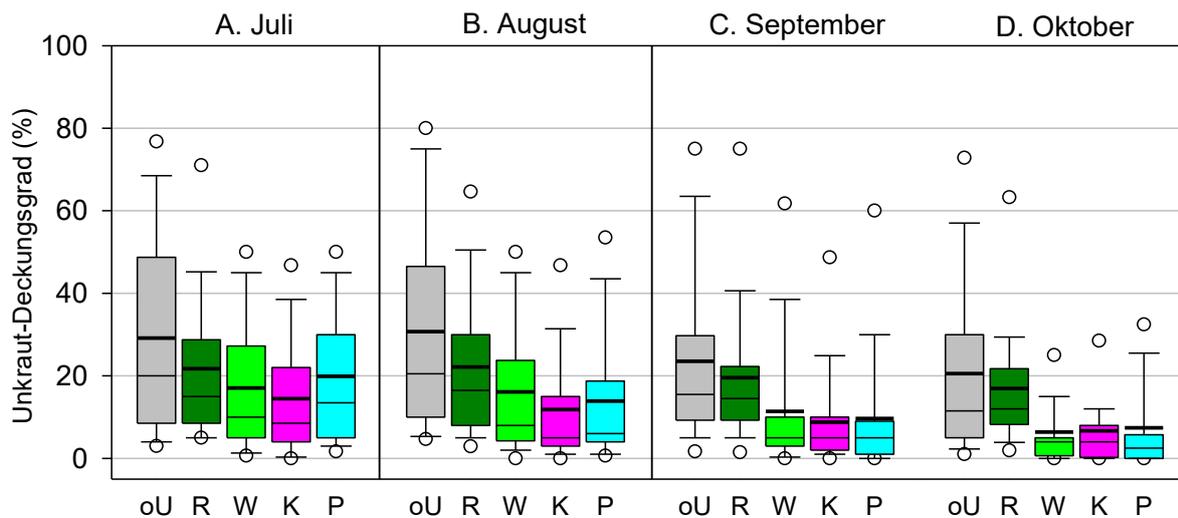


**Abb. 12:** Boden-Deckungsgrad (in %) der Untersaat-Varianten Winterroggen mit Wegwarte (RP), Welsches Weidelgras mit Wegwarte (WP), Erdklee mit Wegwarte (KP) sowie Winterroggen mit Wegwarte und Buchweizen (RPB) für Juli, August, September und Oktober an beiden Standorten. Boxplots mit Median (dünne Linie) und arithmetischen Mittelwert (dicke Linie). Stichprobenumfang: jeweils  $n = 72$  (2011 bis 2013), bei R:  $n = 48$  (2011 bis 2012).

Bei Erdklee wurden von August bis Oktober wesentlich geringere Deckungsgrade als bei Wegwarte registriert (41 und 54 %). Im August lagen Erdklee und Weidelgras etwa gleichauf, aber bis zum Oktober nahmen die Deckungsgrade bei Weidelgras zu und bei Erdklee ab. Der Winterroggen zeigte im Juli sogar die höchsten Deckungsgrade (42 %) beim Vergleich der Reinsaaten. Jedoch gab es spätestens ab September einen rapiden Rückgang bei den Deckungsgraden. Im Mittel wurde bei Winterroggen nur noch 2 bis 10 % Deckung ermittelt. Hier bestätigt sich der gleiche Verlauf, der bereits bei den Sprossmasse-Erhebungen gezeigt wurde (Abb. 6).

#### 4.2.2 Unkräuter

Neben den Untersaat-Deckungsgraden besitzen die Unkraut-Deckungsgrade innerhalb der Untersaat-Varianten eine hohe Bedeutung. In den Abbildungen 13 und 14 werden die Ergebnisse für Rein- und Mischsaaten dargestellt. Wichtig ist der Vergleich zwischen der Kontrolle ohne Untersaaten (oU-1) und den jeweiligen Unkraut-Deckungsgraden in den geprüften Untersaat-Varianten. Ein weiterer Abgleich mit dem Deckungsgrad der Untersaaten (Abb. 11 und 12) ermöglicht Aussagen zur Effizienz der Varianten.

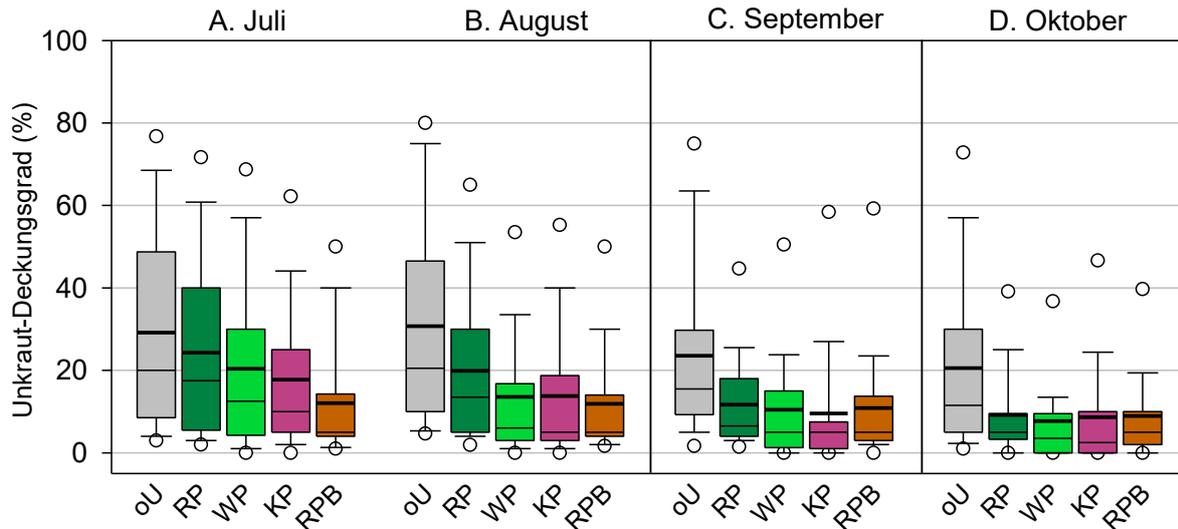


**Abb. 13:** Boden-Deckungsgrad (in %) der Unkraut-Sprossmasse in den Varianten „ohne Untersaat“ (oU), Winterroggen (R), Welsches Weidelgras (W), Erdklee (K) und Wegwarte (P) für Juli, August, September und Oktober an beiden Standorten. Boxplots mit Median (dünne Linie) und arithmetischen Mittelwert (dicke Linie). Stichprobenumfang jeweils  $n = 72$  (2011 bis 2013), bei R:  $n = 48$  (2011 bis 2012).

Die Kontrolle ohne Untersaaten (oU in Abb. 13 und 14) zeigte im Mittel stets höhere Unkraut-Deckungsgrade als die Untersaat-Varianten. Die Deckungsgrade der Kontrollvariante „oU“ bewegten sich zwischen 21 und 31 % (arithmetischer Mittelwert) bzw. zwischen 12 und 21 % (Mediane). Im zeitlichen Verlauf von Juli bis Oktober wurde generell beobachtet, dass die Unkraut-Deckungsgrade bei allen Varianten kontinuierlich abnahmen. Diese Abnahme war allerdings bei den unterschiedlichen Untersaat-Varianten verschiedenartig ausgeprägt. Die niedrigste Unkraut-Deckung wurde bei den Reinsaaten in der Variante Erdklee registriert (von 14 % auf 7 % fallend, arithmetische Mittelwerte), während bei den Mischsaaten in den Monaten Juli und August zunächst in der Variante RPB (ca. 12 % Unkrautdeckung), im September in der Variante KP (ca. 10 % Unkrautdeckung) und im Oktober in der Variante WP (ca. 8 % Unkrautdeckung) die niedrigsten Werte angetroffen wurden.

Ferner wurde beobachtet, dass die Unkraut-Deckungsgrade in der Variante mit Winterroggen-Reinsaat relativ hoch ausfielen. Sie lagen im Zeitverlauf von Juli (22 %) bis Oktober (17 %) nur unwesentlich unter der Kontrollvariante „oU“ (29 % im

Juli, 21 % im Oktober). In der Mischsaat aus Winterroggen und Wegwarte (RP) war die Unkrautdeckung im Mittel höher als bei den anderen Mischsaaten, im Juli und August fiel der Unterschied besonders deutlich aus. Winterroggen war in diesem Gemenge spätestens ab August nur noch in geringem Maße vorhanden, so dass die unkrautreduzierende Wirkung fast nur durch Wegwarte erreicht wurde. Dies galt gleichfalls für die Mischsaat-Varianten WP und KP, jedoch waren Weidelgras und Erdklee in diesen Mischungen etwas stärker vertreten als Winterroggen in RP.



**Abb. 14:** Boden-Deckungsgrad (in %) der Unkraut-Sprossmasse in den Varianten „ohne Untersaat“ (oU), Winterroggen mit Wegwarte (RP), Welsches Weidelgras mit Wegwarte (WP), Erdklee mit Wegwarte (KP) sowie Winterroggen mit Wegwarte und Buchweizen (RPB) für Juli, August, September und Oktober an beiden Standorten. Boxplots mit Median (dünne Linie) und arithmetischen Mittelwert (dicke Linie). Stichprobenumfang jeweils n = 72 (2011 bis 2013), bei RP: n = 48 (2011 bis 2012).

Werden die arithmetischen Mittelwert und die Mediane der Unkrautdeckungsgrade als Grundlage für einen Vergleich der Reinsaat-Varianten herangezogen, so kann der Grad des Unkrautunterdrückungsvermögen in folgender Reihenfolge ausgedrückt werden: Erdklee > Wegwarte oder Weidelgras > Winterroggen. Zumindest im September und Oktober wurde dieses gute Ergebnis für Erdklee gleichzeitig durch im Vergleich niedrige Untersaat-Deckungsgrade erreicht (Abb. 11). Daraus folgt, dass Erdklee ein gutes Unkrautunterdrückungsvermögen im Mittel mit weniger Sprossmasse als die anderen Untersaaten erreicht. Dieses Resultat wurde bereits bei den Ergebnissen für die Sprossmassen gezeigt. Der Vergleich von Weidelgras und Wegwarte fiel über die Monate indifferent aus. Weidelgras zeigte im Juli und Oktober die niedrigeren Unkrautdeckungsgrade, Weidelgras hingegen wies im August und September die niedrigeren Unkrautdeckungsgrade auf. Die Unterschiede zwischen beiden Arten betrug jedoch lediglich maximal 3 %.

**Tab. 6:** Relativer Rückgang (in %) des Unkrautdeckungsgrades (Flächenanteil Bodenbedeckung) der geprüften Untersaat-Varianten im Vergleich zur Kontrolle ohne Untersaat. Darstellung für vier Zeitpunkte während der Vegetationsperiode sowie für den gesamten Zeitraum (2011 bis 2013).

Untersaat-Varianten	Abk.	Juli	August	September	Oktober	Total
Kontrolle (Median) Mais ohne Untersaaten	oU	20,0 = 100 %	20,5 = 100 %	15,5 = 100 %	11,5 = 100 %	<b>18,0</b> <b>= 100 %</b>
<b>R e i n s a a t e n</b>						
1 Winterroggen*	R	-29	-38	-3	0	<b>-17</b>
2 Welsches Weidelgras	W	-35	-63	-58	-77	<b>-56</b>
3 Erdklee	K	-63	-67	-73	-71	<b>-67</b>
4 Wegwarte	P	-29	-63	-70	-80	<b>-58</b>
<b>M i s c h s a a t e n</b>						
5 Roggen + Wegwarte*	RP	-15	-31	-43	-44	<b>-33</b>
6 Weidelgras + Wegwarte	WP	-40	-57	-71	-76	<b>-60</b>
7 Erdklee + Wegwarte	KP	-37	-67	-75	-79	<b>-66</b>
8 Roggen + Wegwarte + Buchweizen	RPB	-68	-67	-61	-67	<b>-67</b>

\* Die Varianten 1 und 5 wurden im Jahr 2013 nicht untersucht.

Eine Reihe verschiedenster Untersaaten konnten in den Feldversuchen autochthone Unkräuter hinreichend unterdrücken. Für den Parameter „Deckungsgrad“ wurden im Vergleich zur Kontrolle bis zu 67 % der Unkräuter reduziert (Tab. 6). Erdklee und die Variante mit Buchweizen (RPB) lieferten hier die Spitzenwerte, während Varianten mit Winterroggen (R und RP) am schlechtesten abschnitten. Wichtig ist die Tatsache, dass zu verschiedenen Zeitpunkten der Vegetationsperiode das Unkrautunterdrückungsvermögen der Untersaat-Varianten variierte. Die einzelnen Arten reagierten offenkundig unterschiedlich auf die Verfügbarkeit von Wachstumsressourcen. Hier ist besonderes die PAR-Strahlung zu nennen, die in geschlossenen Maisbeständen im Vergleich zum Freiland relativ gering ist. Nur wenige Pflanzenarten können in den halbschattigen Verhältnissen dauerhaft Sprossmasse neu bilden. Ein gutes Beispiel ist die in mehreren Varianten geprüfte blattreiche Wegwarten-Sorte „Grasslands Puna“. Als Korbblüter ähnelt sie im Wuchsverhalten und im Habitus dem bekannten einheimischen Löwenzahn (*Taraxacum officinale*). Sowohl als Reinsaat wie auch in Mischsaaten mit Weidelgras oder Erdklee zeigte sie gute Resultate bezüglich der Unkrautunterdrückung. Auffällig ist die enorme Steigerung der Unkrautunterdrückung zwischen August und Oktober. Im letzten Monat, wenn die Lichtverhältnisse unter dem Mais langsam wieder besser werden, zeigte Wegwarte in Reinsaat mit einer Unkraut-Reduktion von 80 % den besten Wert. Die dauerhafte Beschattung unter Mais wirkte sich beim Winterroggen vielfach negativ aus. Die oberirdische Biomasse der Art war häufig im September und

Oktober verschwunden. Demnach war dann ein Unkrautunterdrückungseffekt nicht vorhanden.

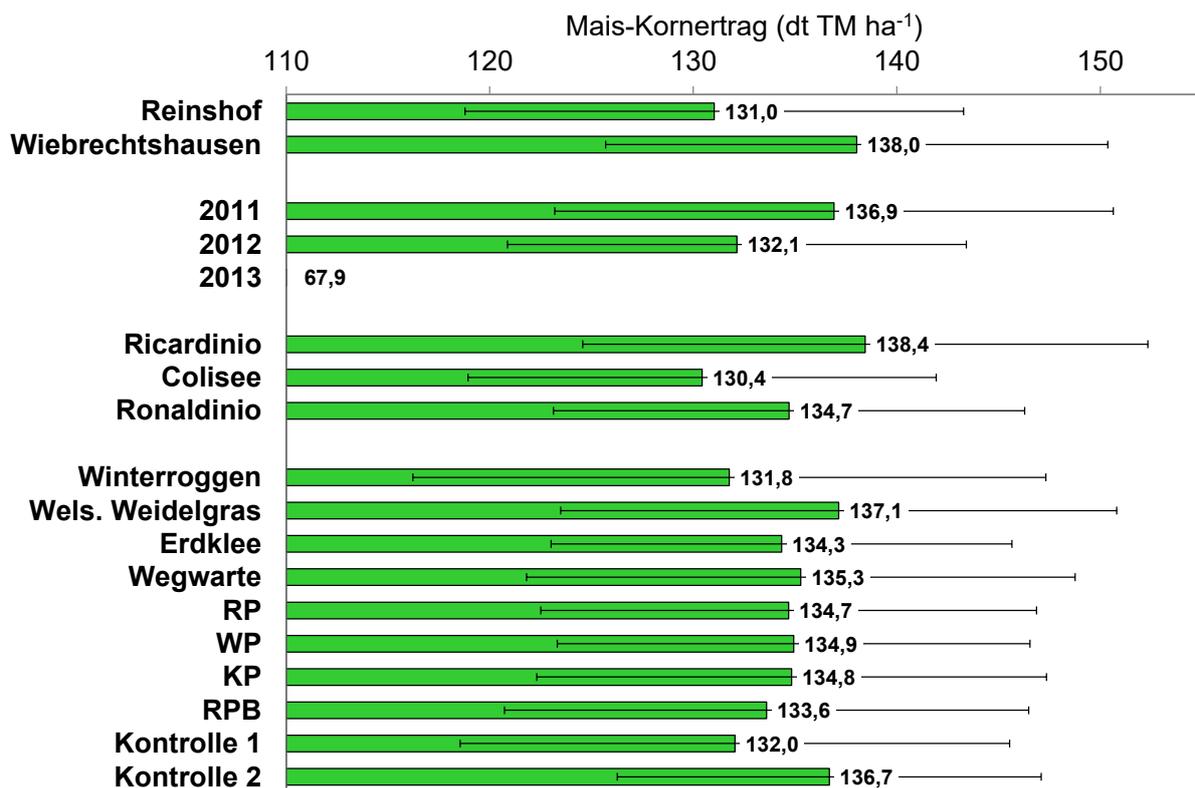
Von Juli bis August war bei den Reinsaaten hingegen Erdklee in der führenden Position. Insbesondere in der frühen Vegetationsphase im Juli scheint Erdklee sehr gut geeignet, um Unkräuter zu unterdrücken. Welsches Weidelgras zeigte im August, im September und insbesondere im Oktober ein gutes Unkrautunterdrückungsvermögen. Allerdings blieb die Art in Ihren Leistungen hinter Erdklee zurück, insbesondere im Juli.

Die als substitutive Gemenge (siehe Tab. 3) angelegten Mischsaaten waren in Bezug auf das Unkrautunterdrückungsvermögen zumeist nur um wenige Prozentpunkte besser als die Reinsaaten. Da in allen Mischsaat-Varianten die Wegwarte enthalten war (bei RP, WP und KP jeweils 50 %, bei RPB 33 % Aussaatstärke der Reinsaat) liegt ein Vergleich zur Wegwarten-Reinsaat nahe. Eine Mischung aus Weidelgras und Wegwarte verbesserte im Vergleich zu den Reinsaaten die Ergebnisse im Juli und im September, jedoch nicht im August und Oktober. Vergleicht man nur die Mischsaaten, so schneidet die Mischung aus Erdklee und Wegwarte im September und im Oktober (75 % bzw. 79 %) am besten ab. Die Variante mit Winterroggen fällt erneut deutlich ab, da der Roggen ab Ende August zumeist kaum noch vorhanden war. Die Mischsaat mit Buchweizen (RPB) bildet aus mehreren Gründen einen Sonderfall. An dieser Mischung waren drei Kulturarten beteiligt, der Buchweizen war jedoch bei der Massenbildung fast immer dominant (Abb. 8). Zudem war der Buchweizen im Gegensatz zu allen anderen Untersaaten oft hochwüchsig (bis zu 1 m Höhe). Dies hatte in einigen Fällen zur Folge, dass der Buchweizen in späten Phasen der Vegetationsperiode lagerte. Dennoch bewegten sich die Werte hinsichtlich des Unkrautunterdrückungsvermögens für alle Zeitpunkte konstant über 60 %.

### 4.3 Mais-Erträge

Die in Abbildung 17 dargestellten Mais-Kornerträge beruhen auf den Daten aus der Beerntung der Maisparzellen mit Mähdrescher und Maispflücker (siehe Kap. 3.3.3) im Oktober oder November (siehe Tabelle A7). Im Mittel über die Untersuchungs-jahre 2011 plus 2012 wurde in den Feldversuchen varianten- und standortsun-abhängig ein Mais-Kornertrag in Höhe von 134,5 dt TM pro ha erzielt. Im Unter-suchungsjahr 2013 wurden in den Feldversuchen hingegen nur 67,9 dt Körnermais pro ha geerntet. In den Jahren 2011 und 2012 wurden in Deutschland laut Statistischem Bundesamt im Mittel 107 bzw. 106 dt Körnermais pro ha geerntet (RATH 2016). Für das Jahr 2013 wurden hingegen bundesweit im Mittel nur 89 dt Körnermais pro ha geerntet (RATH 2016).

Die Ertragsunterschiede zwischen den Jahren 2011 und 2012 einerseits und 2013 andererseits sind in den Feldversuchen höher als in der landwirtschaftlichen Praxis. Für die Vergleiche zwischen den Maissorten und Untersaat-Varianten in Abb. 15 wurden deshalb nur die Jahre 2011 und 2012 herangezogen.



\* Kontrolle 1: ohne Untersaaten und ohne Unkrautregulierung, Kontrolle 2: ohne Untersaaten und mit Unkrautregulierung.

**Abb. 15:** Mais-Kornerträge (dt TM ha<sup>-1</sup>) differenziert nach Standorten, Untersuchungsjahren, Maissorten und Untersaat-Varianten. Datengrundlage für die Standorte (n = 240), Maissorten (n = 160) und Untersaat-Varianten (n = 48) sind die Untersuchungsjahre 2011 und 2012 ohne die Einbeziehung der Ergebnisse für das Jahr 2013. Arithmetische Mittelwerte ± Standardabweichung.

Vergleicht man die Standorte, so wurden in allen drei Untersuchungsjahren in Wiebrechtshausen die etwas höheren Mais-Kornerträge erzielt. Die Unterschiede betragen etwa 6 bis 7 dt ha<sup>-1</sup>. Bei den Untersuchungsjahren lag das Jahr 2011 mit rund 137 dt ha<sup>-1</sup> vorn. Die drei zugelassenen Maissorten Ricardinio, Colisee und Ronaldinio wurden in den Jahren 2011 und 2012 gemeinsam in den Feldversuchen angebaut. Der Ertragsvergleich für diese Jahre ergibt, dass Ricardinio vor Ronaldinio und Colisee den höchsten Körnermais-Ertrag erzielte (Abb. 15). Die Differenz zwischen den Sorten betrug maximal 8 dt ha<sup>-1</sup>. Werden die Körnermais-Erträge auf der Ebene der Untersaat-Varianten verglichen, so zeigt sich, dass im Mittel durch die Untersaaten keine besonders hohen Ertragsverluste verursacht wurden. Als Vergleich diente die Kontrollvariante oU-2, in der im Mittel über die Untersuchungsjahre 2011 und 2012 etwa 137 dt Körnermais pro ha geerntet wurde. Alle Untersaat-Varianten (Ausnahme: Weidelgras in Reinsaat) lagen unterhalb dieses Ertragswertes. Der maximale Abstand zwischen einer Untersaat-Variante und der Kontrolle oU-2 betrug etwa 5 dt ha<sup>-1</sup>. Dies entspricht grob einem Ertragsrückgang von 4 %.

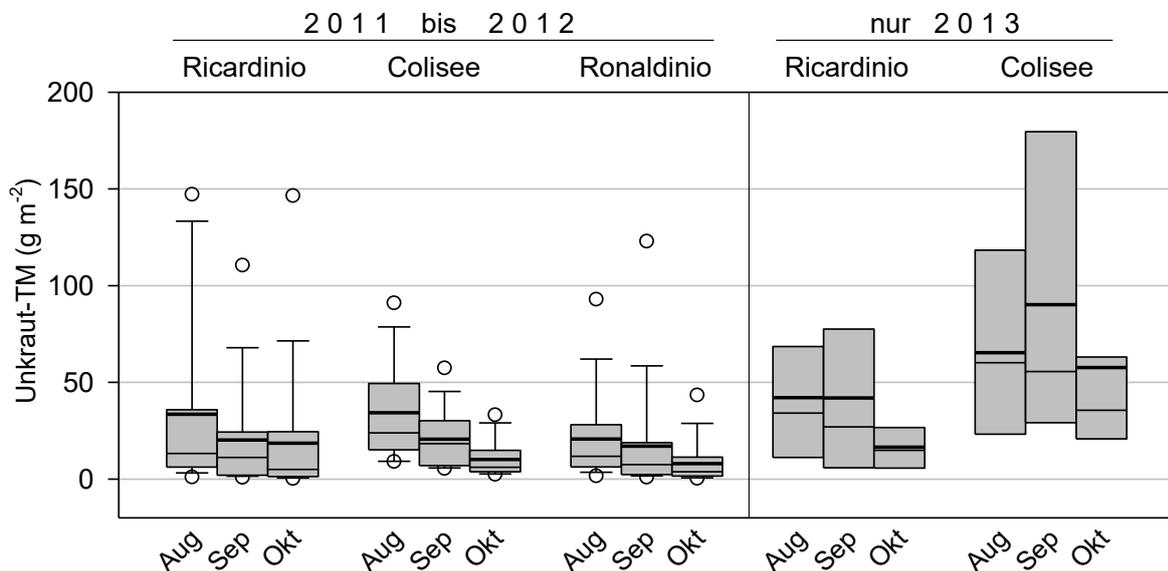
**Tab. 7:** Mais-Kornerträge (dt TM ha<sup>-1</sup>) differenziert nach Standorten und Untersuchungsjahren. Erträge **mit** Untersaaten (mU) im Mittel über acht (2011, 2012; n = 96 pro Jahr) bzw. sechs (2013; n = 72 pro Jahr) Varianten. Erträge ohne Untersaaten (oU) entsprechen Kontrolle oU-2 (mit Unkrautregulierung; n = 12 pro Jahr). Arithmetische Mittelwerte ± Standardabweichung.

		2011		2012		2013	
		$\bar{x}$	$s_x$	$\bar{x}$	$s_x$	$\bar{x}$	$s_x$
Reinshof	mU	136,5	10,6	125,4	11,0	62,5	13,7
	oU	133,0	10,3	130,1	8,3	77,4	10,2
Wiebrechtshausen	mU	138,0	16,4	138,4	7,5	68,6	9,6
	oU	144,3	11,0	139,3	6,0	83,7	6,6

Die Darstellung in Tabelle 7 soll den Zusammenhang zwischen der Untersaaten und den Körnermais-Erträgen nochmals vertiefen. Abgetragen sind die Untersuchungsjahre, die Standorte und die mittleren Körnermais-Erträge für die Varianten mit und ohne Untersaaten. In den ertragsreichen Jahren 2011 und 2012 waren die Unterschiede zwischen den Varianten mit oder ohne Untersaat zumeist nur sehr gering ausgeprägt. Einmal (Reinshof 2011) war sogar der Körnermais-Ertrag mit Untersaaten höher als ohne Untersaaten. Im ertragsschwachen Untersuchungsjahr 2013 gab es jedoch deutlichere Differenzen. An beiden Standorten begünstigte die Abwesenheit von Untersaaten den Körnermais-Ertrag. Im Mittel waren die Erträge ohne Untersaaten etwa 15 dt höher als mit Untersaaten.

#### 4.4 Unkrautunterdrückung: Maissorten und Untersaat-Varianten

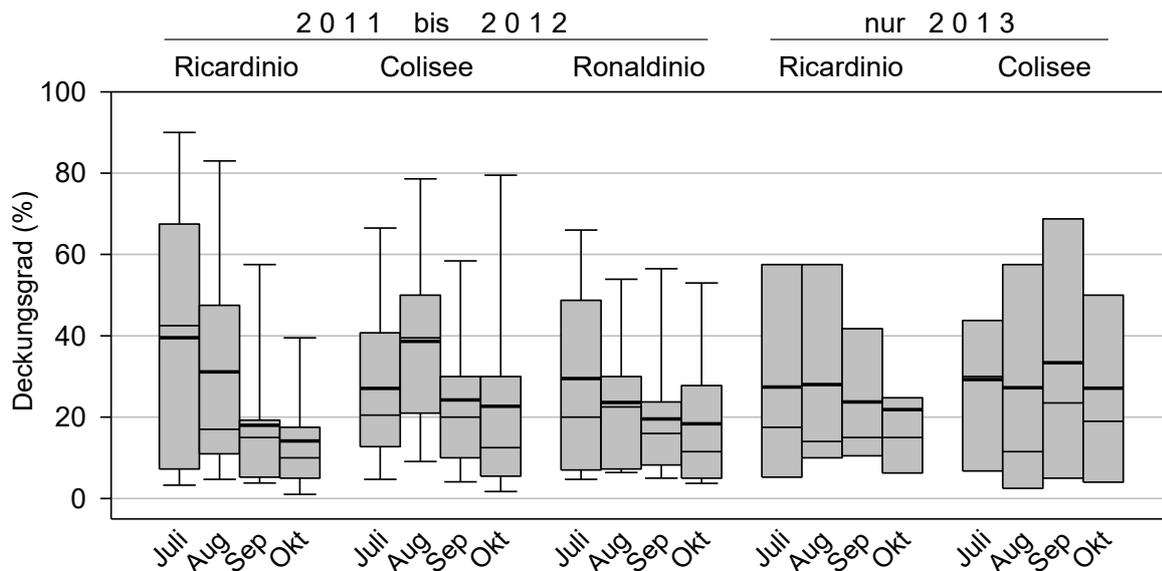
In zwei Abbildungen werden die Sprossmassen (Abb. 16) und die Deckungsgrade (Abb. 17) der Unkräuter in der Kontrollvariante oU-1 in Abhängigkeit von den Maissorten wiedergegeben. Die Angaben für die Spross-Trockenmasse (Abb. 16) sind im Vergleich mit den Angaben der Deckungsgrade (Abb. 17) aussagekräftiger, da hier konkrete Messwerte den visuellen Schätzbonituren gegenübergestellt werden. Bei den Deckungsgraden wurde jedoch zusätzlich der Monat Juli erfasst. Beachtenswert ist zudem, dass die Resultate der ertragsstarken Untersuchungsjahre 2011 und 2012 getrennt vom ertragsschwachen Untersuchungsjahr 2013 dargestellt wurden. Durch diese Darstellungsweise wird klar, dass unter den Sorten Ricardinio und Colisee im Jahr 2013 erheblich höhere Unkraut-Sprossmassen auftraten als in den vorhergehenden ertragsstarken Jahren.



**Abb. 16:** Unkraut-Sprossmasse (g TM m<sup>-2</sup>) in der Kontrollvariante „ohne Untersaat“ (oU), differenziert nach Maissorten und Untersuchungsjahren für August, September und Oktober. Boxplots mit Median (dünne Linie) und arithmetischen Mittelwert (dicke Linie). Stichprobenumfang jeweils n = 16 (2011 bis 2012) bzw. n = 8 (2013).

Im Mittel zeigte Ricardinio im August 2013 eine Unkraut-Sprossmasse in Höhe von 42 g TM m<sup>-2</sup>, während unter Colisee zum gleichen Zeitpunkt im Mittel 65 g Unkraut-TM m<sup>-2</sup> festgestellt wurde. Demgegenüber standen bei den gleichen Sorten in den ertragsstarken Jahren 2011 und 2012 Unkraut-Sprossmassen in Höhe von rund 34 g TM m<sup>-2</sup> (arithmetischer Mittelwert). Da bei Ricardinio die Spannweite und Schiefe der Verteilung der Unkraut-Sprossmasse größer war als bei Colisee, unterschieden sich die Mediane der Datensätze für die Jahre 2011 und 2012: 13 g Unkraut-TM m<sup>-2</sup> bei Ricardinio und 24 g TM m<sup>-2</sup> bei Colisee. Zum Vergleich die Mediane für das Jahr 2013: 34 g Unkraut-TM m<sup>-2</sup> (Ricardinio) bzw. 60 g TM m<sup>-2</sup> (Colisee). Die Sorte Ronaldinio wurde nur in den Jahren 2011 und 2012 geprüft. In diesen Zeiträumen zeigte diese Sorte in der Kontrollvariante oU-1 ohne Untersaaten stets geringere mittlere Unkraut-Sprossmassen als die Sorten Colisee und Ricardinio. Die Differenz

zu Colisee war dabei höher als jene zu Ricardinio. Bemerkenswert ist eine Ausnahme, die aber nur in Abb. 16 bei den Deckungsgraden ersichtlich ist. Im Monat Juli zeigte die Sorte Colisee im Mittel niedrigere Unkraut-Deckungsgrade als die anderen beiden Sorten (etwa 27 % bei Colisee, 30 % bei Ronaldinio und rund 40 % bei Ricardinio). Möglicherweise steht dies im Zusammenhang mit der Tatsache, dass die Sorte Colisee eine schnellere Jugendentwicklung als die Sorten Ricardinio und Ronaldinio aufweist.



**Abb. 17:** Bodenbedeckungsgrad der Unkraut-Sprossmasse (in %) in der Kontrollvariante „ohne Untersaat“ (oU), differenziert nach Maissorten und Untersuchungs Jahren für August, September und Oktober. Boxplots mit Median (dünne Linie) und arithmetischen Mittelwert (dicke Linie). Stichprobenumfang jeweils  $n = 16$  (2011 bis 2012) bzw.  $n = 8$  (2013).

Ein weiterer Aspekt wird durch den Verlauf und die Verteilung der Unkrautdaten (Abb. 16 und 17) deutlich: Bei den Sorten Ricardinio und Ronaldinio wird der Höhepunkt des Unkrautwachstums sehr früh erreicht. In den Folgemonaten sinken die Werte kontinuierlich, wenn auch nicht immer sehr stark. Bei der Sorte Colisee wird der Höhepunkt der Verunkrautung in den ertragsstarken Jahren 2011 und 2012 im August erreicht, beim ertragsschwachen Jahr 2013 zeigte sich im September die stärkste Verunkrautung.

In den Tabellen 8 und 9 wird der Versuch unternommen, das Unkrautunterdrückungsvermögen der Untersaat-Varianten auf differenzierten zeitlichen Ebenen (Monate, Untersuchungs Jahre) für die drei Maissorten anzugeben. Zudem wird versucht, mit einem Ranking die Untersaat-Varianten einzuordnen. Da es zwischen den Untersuchungs Jahren quantitative und qualitative Unterschiede gab, erschien es sinnvoll die ertragsstarken Jahre (2011 bzw. 2012) und das ertragsschwache Jahr 2013 getrennt darzustellen. Im Mittel (Mediane) der ertragsstarken Jahren 2011 und 2012 entwickelte sich die Unkraut-Sprossmasse in den drei Maissorten unterschiedlich. In der Kontrolle oU-1 (ohne Untersaaten) wurde unter der Sorte Colisee stets die höchste Unkraut-Sprossmasse angetroffen (6 bis 24 g TM m<sup>-2</sup>, Tab. 8).

Ricardinio folgte mit deutlichem Abstand (5 bis 13 g TM m<sup>-2</sup>), Ronaldinio wies eine mäßig geringere Unkraut-Sprossmasse auf (4 bis 12 g TM m<sup>-2</sup>). Die Unkraut-Sprossmasse war auf Ebene der Maissorten in den Varianten mit Untersaaten ähnlich geordnet, jedoch lagen die Sorten Ricardinio und Ronaldinio gleichauf (Tab. 8). Die höchste Unkraut-Sprossmasse wurde im August festgestellt, sie sank über den September bis Oktober kontinuierlich ab. Durch die Untersaaten wurde der Unkraut-aufwuchs stetig reduziert, im Mittel bewegte sich der relative Rückgang in den ertragsstarken Jahren 2011/2012 zwischen 17 % und maximal 64 %.

**Tab. 8:** Mediane der Unkraut-Sprossmassen (g TM m<sup>-2</sup>) in den Varianten ohne und mit Untersaaten für drei Maissorten in den Monaten August, September und Oktober der ertragsstarken Jahre 2011 und 2012. Relativer Rückgang der Unkraut-Sprossmasse (in %) bezieht sich auf das Mittel über acht Untersaat-Varianten. Das Ranking der Untersaaten zeigt drei Varianten, in denen die Unkraut-Sprossmasse am geringsten war.

Monat	Maissorte	ohne Untersaat	mit Untersaat	relativer Rückgang	1. Rang	2. Rang	3. Rang
August	Ricardinio	13	<b>10</b>	-23 %	5 (RPB)	8 (K)	9 (WP)
	Colisee	24	<b>15</b>	-38 %	9 (RPB)	10 (WP)	12 (W)
	Ronaldinio	12	<b>10</b>	-17 %	7 (R)	9 (RP)	9 (P)
September	Ricardinio	11	<b>4</b>	-64 %	2 (K)	2 (P)	3 (RPB)
	Colisee	18	<b>7</b>	-61 %	5 (RPB)	5 (RP)	7 (P)
	Ronaldinio	7	<b>4</b>	-43 %	2 (KP)	3 (RP)	3 (WP)
Oktober	Ricardinio	5	<b>2</b>	-60 %	1 (WP)	2 (W)	2 (RP)
	Colisee	6	<b>3</b>	-50 %	2 (W)	2 (WP)	3 (P)
	Ronaldinio	4	<b>2</b>	-50 %	1 (WP)	1 (RPB)	1 (KP)

Wesentlich höhere Unkraut-Sprossmassen als in den Jahren 2011/2012 wurden in den Varianten mit und ohne Untersaaten im ertragsschwachen Jahr 2013 festgestellt (Abb. 15 und 16, Tab. 9). Die Beträge der Unkraut-Sprossmasse waren in allen drei Monaten in der Kontrollvariante ohne Untersaaten bei der Sorte Colisee mehr als doppelt so hoch wie bei der Sorte Ricardinio. Etwas überraschend ist das Ausmaß, mit dem die Unkräuter im Jahr 2013 durch Untersaaten zurückgedrängt wurden. Im Vergleich zur Kontrolle schwankte der relative Rückgang im Mittel zwischen 59 % bis maximal 93 % (Tab. 9).

Untersaat-Varianten, die eine überdurchschnittliche Unkrautreduzierung zeigten, wurden in den Tabellen 8 und 9 gesondert ausgewiesen (Ränge 1 bis 3). Dabei ergab sich kein einheitliches Bild. Am häufigsten genannt wurden für die Jahre 2011/2012 die Mischsaat-Varianten RPB, WP und RP. Die Variante mit Buchweizen (RPB) konnte demnach zwar im August und September in der Sorte Colisee überdurchschnittlich Unkraut unterdrücken, jedoch ist zu beachten, dass dieser Erfolg mit hohem „Eigenwachstum“ der Untersaat-Mischung gekoppelt ist (siehe Abb. 7). Dies birgt die Gefahr, dass die Untersaat zum größeren Konkurrenten für die Deckfrucht Mais wird als die Unkräuter.

**Tab. 9:** Mediane der Unkraut-Sprossmassen (g TM m<sup>-2</sup>) in den Varianten ohne und mit Untersaaten für zwei Maissorten in den Monaten August, September und Oktober des ertragsschwachen Jahres 2013. Relativer Rückgang der Unkraut-Sprossmasse (in %) bezieht sich auf das Mittel über sechs Untersaat-Varianten. Das Ranking der Untersaaten zeigt drei Varianten, in denen die Unkraut-Sprossmasse am geringsten war.

Monat	Maissorte	ohne Untersaat	mit Untersaat	relativer Rückgang	1. Rang	2. Rang	3. Rang
August	Ricardinio	34	<b>14</b>	-59 %	6 (W)	6 (K)	9 (P)
	Colisee	60	<b>8</b>	-87 %	2 (W)	4 (WP)	6 (P)
September	Ricardinio	27	<b>5</b>	-81 %	2 (KP)	2 (W)	4 (K)
	Colisee	56	<b>4</b>	-93 %	2 (K)	3 (WP)	4 (W)
Oktober	Ricardinio	15	<b>5</b>	-67 %	2 (WP)	2 (P)	3 (W)
	Colisee	36	<b>6</b>	-83 %	4 (P)	5 (WP)	5 (K)

Zudem ist zu beachten, dass Buchweizen in den Feldversuchen als einzige Pflanzenart in jedem Jahr blühte und Samen bildete. Buchweizen-Durchwuchs im Folgejahr ist daher nicht auszuschließen. Im ertragsschwachen Jahr 2013 wurde Winterroggen als Untersaat nicht gesondert untersucht. „Hochrangige“ Untersaat-Varianten waren nun (Tab. 9) die Reinsaaten von Weidelgras (W), Erdklee (K) und Wegwarte (P). Um noch besser beurteilen zu können, welche Untersaaten speziell mit welcher Maissorte gut harmonierten, muss ferner der Mais-Kornertrag einzeln betrachtet werden. Hier zeigte sich, dass die Variante RPB – wie bereits beschrieben – stärker mit Mais konkurrierte als die meisten anderen Untersaaten. In den ertragsstarken Jahren 2011/2012 lag der Mais-Kornertrag mit der Variante RPB bei jeder Maissorte etwa 2 bis 3 dt ha<sup>-1</sup> niedriger als der mittlere Mais-Kornertrag aller Untersaat-Varianten. Vergleichsweise ertragsstarke (in Bezug auf den Mais-Kornertrag 2011/2012) Untersaat-Varianten waren in der Maissorte Ricardinio die Reinsaaten Wegwarte (P) und Weidelgras (W). Bei den Sorten Colisee und Ronaldinio stach erneut Weidelgras mit vergleichsweise hohen Mais-Kornerträgen heraus (2 bis 4 dt ha<sup>-1</sup> über dem Mittel) diesmal in Rein- und Mischsaat (W und WP). Der Mais-Kornertrag lag mit Erdklee in den Sorten Ricardinio und Colisee leicht über dem Mittel der Varianten, aber in der Sorte Ronaldinio führte die Erdklee-Untersaat zu vergleichsweise deutlichen Abschlägen: ca. 3 dt ha<sup>-1</sup> weniger als das Untersaaten-Mittel und ca. 5 dt ha<sup>-1</sup> weniger als in der Kontrolle ohne Bewuchs.

Fazit: In der Maissorte Colisee wächst nach Reihenschluss potentiell mehr Unkraut als in den Maissorten Ricardinio und Ronaldinio. Mit Untersaaten ist ein spürbarer Rückgang der Unkraut-Sprossmassen erreichbar. In der Gesamtheit aller Faktoren scheint Welsches Weidelgras für alle drei Maissorten als Untersaat gut geeignet zu sein. Erdklee kann gleichfalls empfohlen werden. In ertragsschwachen Jahren sind Untersaaten nur bedingt zu empfehlen.

#### 4.5 Stickstoff im Maiskorn

Die gemessenen Stickstoffgehalte (% in der Trockensubstanz) in den geernteten Maiskörnern bewegten sich insgesamt zwischen 1,17 und 1,43 %. Im Mittel über alle Versuchsjahre und Standorte betrug der mittlere Korn-N-Gehalt etwa 1,29 %. Dieser Wert liegt deutlich im unteren Wertebereich dessen, was allgemein empfohlen wird (Spannweite von 1,20 % bis 1,60 %, KTBL 2009).

**Tab. 10:** Stickstoff-Gehalte (% i. d. TS) in den Maiskörnern, differenziert nach Maissorten. Arithmetischer Mittelwert ( $\bar{x}$ ) und Standardabweichung ( $s_x$ ).

	2011 Korn		2012 Korn		2013 Korn	
	$\bar{x}$	$s_x$	$\bar{x}$	$s_x$	$\bar{x}$	$s_x$
Ricardinio	1,25	0,09	1,20	0,12	1,23	0,13
Colisee	1,43	0,12	1,28	0,15	1,25	0,15
Ronaldinio	1,41	0,08	1,33	0,16	n.u.	-

Im Vergleich der Jahre lag das Jahr 2011 mit 1,36 % vor dem Jahr 2012 mit 1,27 %. Im ertragsschwachen Untersuchungsjahr 2013 wurden auch die geringsten mittleren Korn-N-Gehalte gefunden (1,24 %). Beim Vergleich der Versuchsstandorte liegt Wiebrectshausen mit einem mittleren Korn-N-Gehalt in Höhe von 1,31 % leicht vor dem Standort Reinshof (1,26 % mittlerer Korn-N-Gehalt).

**Tab. 11:** Stickstoff-Gehalte (% i. d. TS) in den Maiskörnern, differenziert nach Untersaat-Varianten. Arithmetischer Mittelwert ( $\bar{x}$ ) und Standardabweichung ( $s_x$ ).

	2011 Korn		2012 Korn		2013 Korn	
	$\bar{x}$	$s_x$	$\bar{x}$	$s_x$	$\bar{x}$	$s_x$
R	1,32	0,13	1,27	0,18	-	-
W	1,37	0,12	1,29	0,16	1,23	0,14
K	1,35	0,10	1,29	0,17	1,26	0,16
P	1,38	0,13	1,27	0,14	1,19	0,13
RP	1,45	0,15	1,24	0,13	-	-
WP	1,34	0,10	1,25	0,17	1,19	0,13
KP	1,32	0,10	1,28	0,15	1,17	0,11
RPB	1,36	0,11	1,27	0,16	1,15	0,11
oU-1*	1,33	0,17	1,26	0,17	1,22	0,13
oU-2*	1,42	0,14	1,29	0,15	1,31	0,13

\* Kontrolle 1 (oU-1): ohne Untersaat, ohne Unkrautregulierung, Kontrolle 2 (oU-2): ohne Untersaat, mit Unkrautregulierung.

Die Reihenfolge bei den Maissorten lautete: Colisee > Ronaldinio > Ricardinio. Die Korn-N-Gehalte der letztgenannten Sorte lagen in allen drei Untersuchungsjahren unter dem Gesamt-Mittelwert. Zwischen den Maissorten Colisee und Ronaldinio gab

es zumeist nur geringe Unterschiede. Die insgesamt höchsten Korn-N-Gehalte wurden im Untersuchungsjahr 2011 bei der Sorte Colisee festgestellt (1,43 %).

Beim Vergleich der Untersaat-Varianten fällt erneut auf, dass die Kontrollvariante ohne Bewuchs (oU-2) tendenziell die höchsten Korn-N-Gehalte aufwies. In den Untersuchungsjahren 2011 und 2013 trat dies relativ deutlich hervor, im Untersuchungsjahr 2012 jedoch nur sehr vage. Im Untersuchungsjahr 2011 wurde bei der Variante Winterroggen mit Wegwarte (RP) der höchste Korn-N-Gehalt aufgefunden (1,45 %). Dieser Befund ist nur schwer zu erklären. Da Winterroggen ab einem bestimmten Zeitpunkt nicht mehr vorhanden war, kam es vielleicht zu N-Mineralisierungsprozessen im Boden. Allerdings wurden bei der Reinsaat von Winterroggen keine besonders hohen Korn-N-Gehalte nachgewiesen. Zudem bestand im Vorfeld die Hoffnung, dass der Einsatz einer Leguminose als Untersaat (Erdklee) positive Effekte hinsichtlich der N-Versorgung der Deckfrucht Mais zeigen würde. Bei den Korn-N-Gehalten ist dies kaum ersichtlich. Beim Vergleich der Untersaat-Varianten zeigte Erdklee in Reinsaat immerhin im Jahr 2013 den höchsten Wert (1,26 %). Im Untersuchungsjahr 2012 waren beide Erdklee-Varianten im Vordergrund zu finden, aber die Unterschiede waren nur gering.

#### 4.6. Blattgrünfärbung beim Mais während der Vegetationsperiode

Die sogenannte Blattgrünfärbung der Maisblätter wurde mit einem spektroskopischen Handmessgerät nicht-destruktiv in den Monaten Juli, August, September und Oktober gemessen. Die höchsten SPAD-Werte wurden im August erreicht (im Mittel 53,5), gefolgt vom September (im Mittel 51,9) und Juli (im Mittel 47,4). Im Oktober waren die SPAD-Werte bereits auf einem niedrigen Niveau (im Mittel 34,6), da die Blätter an den Maispflanzen langsam abstarben.

**Tab. 12:** Mediane ( $Z$ ), arithmetische Mittelwerte ( $\bar{x}$ ) und Standardabweichung ( $s_x$ ) der Maisblattgrünfärbung („SPAD-Werte“) für drei Maissorten im Mittel über die Untersuchungsjahre 2011 und 2012. Stichprobenumfang:  $n = 160$  pro Monat und Sorte.

	Juli			August			September			Oktober		
	Z	$\bar{x}$	$s_x$	Z	$\bar{x}$	$s_x$	Z	$\bar{x}$	$s_x$	Z	$\bar{x}$	$s_x$
Ricardinio	47,5	47,1	4,0	55,6	54,3	5,1	55,4	53,6	4,8	38,1	37,0	10,6
Colisee	47,8	47,0	4,4	54,5	52,8	5,9	52,4	50,1	6,3	32,8	30,7	9,6
Ronaldinio	48,6	48,1	4,0	55,0	53,3	5,1	53,3	51,9	4,8	36,0	36,0	10,1

Zwischen den Maissorten gab es besonders von August bis Oktober einige Unterschiede. Die Sorte Colisee blieb hinter den Sorten Ricardinio und Ronaldinio teils deutlich zurück. Im Oktober waren die Unterschiede mit bis zu 6,3 SPAD-Einheiten vergleichsweise groß (Tab. 12). Die insgesamt höchsten SPAD-Werte zeigte die Sorte Ricardinio zwischen August und Oktober. Der Abstand zur Sorte Ronaldinio war aber meist gering (1,0 bis 1,7 SPAD-Einheiten). Im Juli waren Sortenunterschiede kaum erkennbar.

Der Vergleich der Maisblatt-SPAD-Werte für alle Untersaat-Varianten und Kontrollvarianten zeigte interessante und stimmige Resultate. In der Kontrollvariante oU-2 gab es keine Untersaaten. Zudem wurden dort regelmäßig auflaufende Unkräuter manuell entfernt. Die Konkurrenz für die Deckfrucht Mais um Bodennährstoffe verringerte sich entsprechend. Diese Kontrollvariante ohne Bewuchs zeigte in allen vier Monaten des Untersuchungszeitraumes stets die höchsten SPAD-Werte (Tab. 13). Die Differenzen zu den Untersaat-Varianten variierten je nach Zeitpunkt und Kultur zwischen 1,7 und 4,8 SPAD-Einheiten. Die zweite Kontrollvariante (oU-1) besaß keine Untersaaten, aber die Unkräuter konnten ungestört wachsen. Bei den SPAD-Werten folgte diese Variante fast immer auf Rang zwei. Sie zeigte häufig höhere SPAD-Werte als die Untersaat-Varianten, aber geringere SPAD-Werte als die Kontrolle ohne Bewuchs (Tab. 13).

**Tab. 13:** Mediane (Z), arithmetische Mittelwerte ( $\bar{x}$ ) und Standardabweichung ( $s_x$ ) der Maisblattgrünfärbung („SPAD-Werte“) für acht Untersaat-Varianten und zwei Kontroll-Varianten ohne Untersaaten im Mittel über die Untersuchungsjahre 2011 und 2012. Stichprobenumfang: n = 48 pro Monat und Variante.

	Juli			August			September			Oktober		
	Z	$\bar{x}$	$s_x$	Z	$\bar{x}$	$s_x$	Z	$\bar{x}$	$s_x$	Z	$\bar{x}$	$s_x$
R	47,5	46,6	4,4	54,8	52,4	5,9	52,9	50,7	6,1	34,6	33,2	10,5
W	47,1	46,8	4,0	55,2	53,4	4,9	53,4	51,7	5,3	35,5	34,2	10,9
K	46,9	47,0	4,1	55,1	53,5	4,9	53,9	52,1	5,2	37,4	34,7	10,3
P	47,7	47,1	4,2	54,6	52,9	5,3	53,1	51,9	5,6	34,5	33,5	10,9
RP	47,7	46,7	4,2	54,4	52,9	5,0	54,1	51,4	5,6	34,7	33,6	10,6
WP	47,8	46,8	4,1	54,8	52,8	5,6	53,6	51,4	5,6	34,5	34,2	10,6
KP	48,4	47,7	4,0	55,3	53,4	5,5	54,4	51,7	5,7	35,1	34,2	10,4
RPB	47,2	47,2	3,6	54,9	53,1	5,4	54,1	51,3	5,8	37,3	34,4	10,7
oU-1*	49,5	48,5	4,1	57,0	54,7	6,2	55,3	52,8	5,8	35,2	35,8	9,6
oU-2*	50,6	49,5	4,1	57,3	55,9	4,9	55,8	54,0	4,3	39,5	38,0	10,1

\* Kontrolle 1 (oU-1): ohne Untersaat, ohne Unkrautregulierung, Kontrolle 2 (oU-2): ohne Untersaat, mit Unkrautregulierung.

Mit Winterroggen in Reinsaat oder in Mischsaat zeigten die Maisblätter zu jedem Zeitpunkt die niedrigsten SPAD-Werte im Vergleich zu den anderen Untersaat-Varianten. Bei der Untersaat Welsches Weidelgras (Reinsaat) wurden lediglich im August relativ hohe SPAD-Werte beobachtet. Ansonsten bewegten sich die Werte im Mittelfeld. Mit der Untersaat Erdklee (Reinsaat) wurde im Vergleich über alle acht Varianten bei der Deckfrucht Mais von August bis Oktober jeweils der höchste SPAD-Wert festgestellt. Maisblätter unter Erdklee in Mischsaat mit Wegwarte (KP) zeigten im Juli hohe SPAD-Werte. Allerdings waren die Unterschiede zu den andere Varianten überwiegend gering (maximal 1,5 SPAD-Einheiten). Möglicherweise konnte Erdklee als Leguminose dennoch einen Beitrag zur Stickstoff-Ernährung des Maises liefern. Im Feld wurden die Erdklee-Pflanzen vereinzelt visuell auf das Vorkommen von Wurzelknöllchen geprüft. Besonders im August und September wurden aktive, rötliche Wurzelknöllchen an beiden Standorten aufgefunden. Systematische Erhebungen wurden zu diesem Themenkomplex jedoch nicht vorgenommen. Mit der Untersaat Wegwarte wurden in Reinsaat zumeist durchschnittliche SPAD-Werte ermittelt. Die Mischsaaten zeigten – außer bei Erdklee mit Wegwarte – in der überwiegenden Zahl der Zeitpunkte SPAD-Messwerte nahe dem Gesamt-Mittelwert.

#### 4.7 Pflanzenverfügbare Stickstoff im Boden (N<sub>min</sub>)

Die N<sub>min</sub>-Werte in den drei Untersuchungsmonaten während der Vegetationsperiode bewegten sich im Mittel auf niedrigem Niveau. In der Bodenschicht zwischen 0 cm und 30 cm Tiefe wurden maximal 20 kg N ha<sup>-1</sup> gemessen und in der Bodenschicht zwischen 30 und 60 cm Tiefe wurden gleichfalls höchstens 17 kg N ha<sup>-1</sup> vorgefunden. Selbst für den Ökologischen Landbau sind dies relativ niedrige Werte (Tab. 14 und 15).

**Tab. 14:** Mediane (Z), arithmetische Mittelwerte ( $\bar{x}$ ) und Standardabweichung ( $s_x$ ) der N<sub>min</sub>-Werte für drei Maissorten im Mittel über die Untersuchungsjahre: Ricardinio und Colisee 2011 bis 2013, Ronaldinio 2011 bis 2012. Stichprobenumfang pro Termin: n = 224 (Ricardinio und Colisee) bzw. n = 160 (Ronaldinio).

		August			September			Oktober		
		Z	$\bar{x}$	$s_x$	Z	$\bar{x}$	$s_x$	Z	$\bar{x}$	$s_x$
Ricardinio	0-30 cm	10,8	<b>13,5</b>	10,3	8,9	<b>13,0</b>	10,0	12,4	<b>16,6</b>	11,4
	30-60 cm	8,6	<b>13,1</b>	10,2	5,9	<b>10,7</b>	11,2	4,7	<b>7,2</b>	6,5
Colisee	0-30 cm	10,4	<b>15,2</b>	12,7	9,7	<b>14,6</b>	12,5	12,6	<b>16,8</b>	10,9
	30-60 cm	9,9	<b>15,2</b>	12,5	5,4	<b>10,6</b>	12,2	4,5	<b>7,3</b>	7,8
Ronaldinio	0-30 cm	8,7	<b>11,1</b>	8,3	8,5	<b>12,0</b>	8,7	12,2	<b>16,8</b>	11,6
	30-60 cm	12,3	<b>13,9</b>	9,4	5,2	<b>11,3</b>	12,6	4,1	<b>6,0</b>	4,6

In allen drei Untersuchungsmonaten waren die Unterschiede zwischen den Untersaat-Varianten relativ gering. In der Bodenschicht zwischen 0 bis 30 cm Tiefe betrug die maximale Spannweite zwischen den Untersaat-Varianten 6,0 kg N ha<sup>-1</sup> (August). Jedoch wurden in der Kontrollvariante ohne Bewuchs (oU-2, ohne Untersaat, mit Unkrautregulierung) stets die höchsten N<sub>min</sub>-Werte angetroffen. Dieses Ergebnis ist stimmig, da einerseits der Untersaaten-Bewuchs fortgesetzt bodenbürtigen Stickstoff aufnahm und andererseits durch die häufige Bodenbewegung bei der manuellen Unkrautregulierung in Variante oU-2 von einer Anregung der N-Mineralisierung auszugehen ist. Lediglich im August waren die N<sub>min</sub>-Werte in der Bodenschicht zwischen 30 bis 60 cm bei den Untersaat-Varianten Winterroggen in Reinsaat und Winterroggen plus Wegwarte höher als bei der Kontrolle oU-2. In der Kontrollvariante oU-1 wurden die Unkräuter nicht reguliert, es gab dort aber auch keine Untersaaten. Daher erreichten die N<sub>min</sub>-Werte in dieser Variante in der Bodenschicht zwischen 0 cm und 30 cm Tiefe vielfach ähnliche Werte wie die Untersaat-Varianten.

Interessant ist zudem der Varianten-Vergleich der N<sub>min</sub>-Werte für die Bodenschicht in 30 bis 60 cm Tiefe. Im August bewegten sich die Werte zwischen 11,6 kg N ha<sup>-1</sup>, (Weidelgras plus Wegwarte) und 16,5 kg N ha<sup>-1</sup> (Winterroggen). Im September fielen sie leicht ab: 7,5 kg N ha<sup>-1</sup> bei der Variante RPB und maximal 13,9 kg N ha<sup>-1</sup> bei der Kontrolle oU-2. Im Oktober betrug sie schließlich im Minimum 5,4 kg N ha<sup>-1</sup> (Weidelgras) und im Maximum 10,8 kg N ha<sup>-1</sup> (oU-2). Der zeitliche Verlauf zeigt dem-

nach, dass die Nmin-Aufnahme durch eine im September und Oktober fortgeschrittene Durchwurzelung des Bodens in den Untersaat-Varianten anstieg.

**Tab. 15:** Mediane (Z), arithmetische Mittelwerte ( $\bar{x}$ ) und Standardabweichung ( $s_x$ ) der Nmin-Werte für acht Untersaat-Varianten und zwei Kontroll-Varianten ohne Untersaaten im Mittel über die Untersuchungsjahre 2011 bis 2013 (Varianten R und RP: 2011 bis 2012). Stichprobenumfang pro Termin: n = 64, (Varianten R und RP: n = 48).

		August			September			Oktober		
		Z	$\bar{x}$	$s_x$	Z	$\bar{x}$	$s_x$	Z	$\bar{x}$	$s_x$
R	0-30 cm	10,7	<b>13,3</b>	8,6	9,4	<b>14,8</b>	11,8	15,0	<b>19,4</b>	12,0
	30-60 cm	12,7	<b>16,5</b>	11,7	6,5	<b>11,4</b>	12,6	4,8	<b>6,8</b>	5,4
W	0-30 cm	9,8	<b>13,0</b>	10,8	8,2	<b>11,1</b>	8,0	10,1	<b>13,6</b>	9,5
	30-60 cm	9,3	<b>12,7</b>	9,4	4,4	<b>9,6</b>	12,0	4,1	<b>5,4</b>	4,2
K	0-30 cm	10,7	<b>14,1</b>	11,9	9,3	<b>12,9</b>	11,0	12,0	<b>15,9</b>	9,6
	30-60 cm	9,9	<b>14,5</b>	11,7	6,6	<b>10,7</b>	10,8	4,7	<b>8,1</b>	6,8
P	0-30 cm	11,1	<b>13,2</b>	11,3	8,0	<b>11,6</b>	8,9	10,5	<b>15,2</b>	11,1
	30-60 cm	8,0	<b>11,9</b>	9,2	4,8	<b>9,0</b>	10,3	4,7	<b>6,0</b>	4,7
RP	0-30 cm	10,2	<b>12,3</b>	7,7	9,5	<b>14,8</b>	12,3	13,1	<b>17,4</b>	10,7
	30-60 cm	11,6	<b>16,0</b>	12,3	5,8	<b>11,6</b>	12,1	4,5	<b>6,5</b>	5,6
WP	0-30 cm	9,8	<b>12,3</b>	8,8	7,9	<b>11,0</b>	8,7	10,6	<b>14,4</b>	11,8
	30-60 cm	8,4	<b>11,6</b>	8,9	4,4	<b>9,2</b>	11,4	4,1	<b>5,6</b>	4,4
KP	0-30 cm	10,6	<b>14,7</b>	11,8	7,7	<b>12,9</b>	11,9	11,0	<b>16,4</b>	12,2
	30-60 cm	10,0	<b>13,3</b>	11,3	4,5	<b>8,6</b>	9,7	4,5	<b>5,8</b>	4,5
RPB	0-30 cm	9,1	<b>10,5</b>	6,1	9,8	<b>12,7</b>	9,3	11,9	<b>15,8</b>	10,4
	30-60 cm	8,2	<b>12,2</b>	10,0	4,8	<b>7,5</b>	6,5	4,5	<b>6,0</b>	4,3
oU-1*	0-30 cm	8,5	<b>15,9</b>	14,4	8,9	<b>13,2</b>	9,6	13,2	<b>16,2</b>	8,5
	30-60 cm	8,4	<b>13,0</b>	10,1	7,6	<b>13,7</b>	15,2	4,5	<b>8,6</b>	7,8
oU-2*	0-30 cm	9,8	<b>18,5</b>	18,6	9,9	<b>16,4</b>	13,3	14,5	<b>19,8</b>	13,2
	30-60 cm	9,5	<b>14,5</b>	12,3	6,7	<b>13,9</b>	13,2	5,9	<b>10,8</b>	12,4

\* Kontrolle 1 (oU-1): ohne Untersaat, ohne Unkrautregulierung, Kontrolle 2 (oU-2): ohne Untersaat, mit Unkrautregulierung.

Bei den Untersaat-Varianten Weidelgras, Erdklee und Wegwarte (W, K, P, WP und KP) wurden für die Bodenschicht 0 bis 30 cm die niedrigsten Nmin-Werte jeweils im September beobachtet. Bei den Untersaat-Varianten mit Winterroggen oder Buchweizen und Wegwarte im Gemenge (R, RP und RPB) wurden jedoch für die Bodenschicht 0 bis 30 cm die niedrigsten Nmin-Werte jeweils im August ermittelt. Dieses Resultat ist für Winterroggen damit erklärbar, dass die Roggen-Untersaat im August zumeist gut entwickelt war, aber bis Oktober fast immer abstarb. Das Gemenge mit Buchweizen, Winterroggen und Wegwarte zeigte häufig hohe Sprossmassen. Insbesondere Buchweizen war im Vergleich zu den anderen Untersaaten bereits im August wüchsig und nahm demnach mehr Stickstoff aus dem Boden auf. Erdklee und Wegwarte sind zweikeimblättrige Kräuter mit allorhizer Bewurzelung im Gegen-

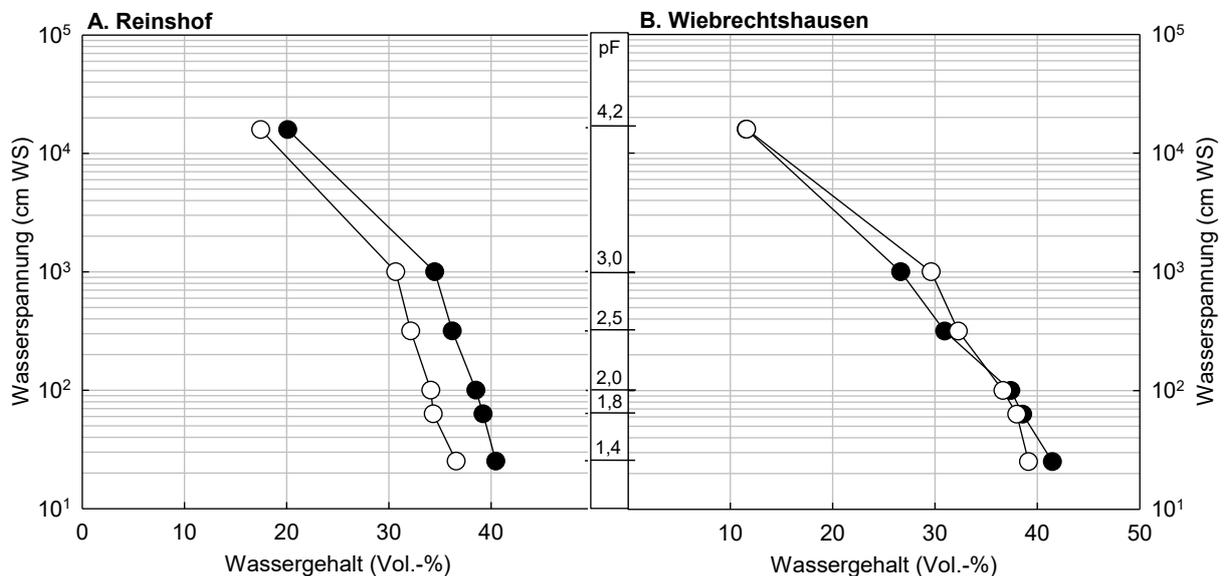
satz zum einkeimblättrigen Weidelgras mit homorhizer Bewurzelung. Eine vergleichsweise hohe N<sub>min</sub>-Aufnahme zeigten in den Monaten September und vor allem im Oktober die Varianten mit Welschem Weidelgras (W und WP). Im Oktober waren die N<sub>min</sub>-Werte bei der Reinsaat des Weidelgras deutlich die niedrigsten in beiden Bodenschichten (13,6 und 5,4 kg N ha<sup>-1</sup>), während die Werte beim Erdklee mit 15,6 kg N ha<sup>-1</sup> (0 bis 30 cm Tiefe) bzw. 8,1 kg N ha<sup>-1</sup> (30 bis 60 cm Tiefe) höher lagen. Insgesamt war die Standardabweichung innerhalb der Varianten zumeist vergleichsweise hoch (Tab. 14 und 15), so dass die beschriebenen Unterschiede mit einer entsprechenden statistischen Unsicherheit behaftet sind.

Wird das gemessene N<sub>min</sub> über die Maissorten verglichen, so fällt auf, dass unter der Sorte Colisee fast immer die höchsten N<sub>min</sub>-Werte in beiden Bodenschichten ermittelt wurden (Tab. 14). Die niedrigsten Werte in der Bodenschicht zwischen 0 cm und 30 cm Tiefe fanden sich im August und September unter der Sorte Ronaldinio. Im Oktober gab es bezüglich der N<sub>min</sub>-Werte kaum Unterschiede zwischen den Maissorten.

Fazit: Im Vergleich aller Untersaat-Varianten konnten marginale Unterschiede aufgedeckt werden. Unter den gleichmäßigen Reinsaat-Beständen des Welschen Weidelgrases wurden vor allem in den späten Phasen der Vegetationsperiode die geringsten N<sub>min</sub>-Werte ermittelt. Ist kein Bewuchs vorhanden (oU-2), wurden im Mittel die höchsten N<sub>min</sub>-Werte nachgewiesen.

#### 4.8 Wasserspannung und Bodenwassergehalte

Für die Abschätzung der Mengen an pflanzenverfügbarem Wasser wurden an den Standorten Reinshof und Wiebrechtshausen jeweils im Herbst zahlreichen Proben mit Stechzylindern (100 cm<sup>3</sup>) aus dem Oberboden (0 bis etwa 30 cm Tiefe) entnommen. Im Labor wurden diese Stechzylinderproben mit der sogenannten Drucktopf-Methode untersucht. Dabei wird durch Anlage verschiedener definierter Überdrücke ein bestimmter Teil des in den Bodenporen festgehaltenen Wassers herausgedrückt. Das im Boden zurückgebliebene Wasser wird nachfolgend gravimetrisch und volumetrisch bestimmt. Als Resultat erhält man eine Wassergehalts-Saugspannungs-Beziehung, die auch als sogenannte Wasserspannungs- oder pF-Kurve bekannt ist (Abb. 18).



**Abb. 18:** Wasserspannungskurve (Oberboden, 0 bis 30 cm Bodentiefe, entspricht etwa dem Ap-Horizont) für (A) den Standort Reinshof mit dem Schlag Sauanger (Untersuchungsjahre 2011 und 2012, weiße Punkte) und dem Schlag Kamp (Untersuchungsjahr 2013, schwarze Punkte) sowie (B) den Standort Wiebrechtshausen (B) mit den Schlägen Lindenbreite bzw. Querbreite (Untersuchungsjahre 2011 bzw. 2013, schwarze Punkte) und dem Schlag Teerweg (Untersuchungsjahr 2012, weiße Punkte).

An den Feldschlägen Sauanger-Ost (2011) und Sauanger-West (2012) am Standort Reinshof sowie an den Feldschlägen Lindenbreite (2011) und Querbreite (2013) am Standort Wiebrechtshausen wurden standortbezogen jeweils die gleichen Bodentypen und Bodenarten vorgefunden (siehe Tab. 1). Deshalb wurden die Wasserspannungs-Messungen für diese Bereiche in Abbildung 18 jeweils zusammengefasst. Für die sechs untersuchten Feldschläge an zwei Standorten gab es demnach vier pF-Kurven.

Mit Hilfe der pF-Kurven können einige pflanzenbaulich relevante Fragestellungen beantwortet werden. Beispielweise kann aus den Angaben in Abbildung 18 die Verteilung der Mittelporen und eines Großteiles der Grobporen abgelesen werden. Einer der wichtigsten Aspekte ist zudem die Wasserverfügbarkeit. Der Bereich

zwischen pF 1,8 und pF 4,2 wird als nutzbare Feldkapazität (nFK) bezeichnet (AD-HOC-AG BODEN 2005). Die Angaben erfolgen in Volumen-% (x-Achse Abb. 18). Eine Umrechnung in mm Wasser ist problemlos möglich, da 1 Vol.-% genau 1 mm Wasser je dm Bodentiefe entspricht. Das in den Poren von 0,2 bis 50 µm gehaltene Bodenwasser (nFK) kann von den Pflanzen direkt genutzt werden. In unterschiedlichen Böden differieren die konkreten Wassermengen. Für die Versuchsflächen an den Standorten Reinshof und Wiebrechtshausen ergeben sich folgende Gehalte bzw. Mengen: Der Schlag Sauanger (schluffiger Lehm, Reinshof) zeigte für den Ap-Horizont (bei angenommenen 3 dm Schichtdicke) eine nutzbare Feldkapazität in Höhe von 16,9 Vol.-% oder 51 mm Wasser, während am Schlag Kamp (mittel schluffiger Ton, Reinshof) eine nFK in Höhe von 19,1 Vol.-% oder 57 mm Wasser bestimmt wurde. An den Schlägen Lindenbreite bzw. Querbredite (mittel toniger Schluff, Wiebrechtshausen) wurde eine nFK in Höhe von 27,0 Vol.-% oder 81 mm Wasser ermittelt, für den Schlag Teerweg (schwach toniger Schluff, Wiebrechtshausen) wurde eine nFK in Höhe von 26,4 Vol.-% oder 79 mm Wasser errechnet. Das Gesamtporenvolumen betrug am Schlag Sauanger (Reinshof) 45,4 Vol.-% am Schlag Kamp (Reinshof) 45,5 Vol.-%, an den Schlägen Lindenbreite bzw. Querbredite (Wiebrechtshausen) 47,4 Vol.-% und schließlich am Schlag Teerweg (Wiebrechtshausen) 43,3 Vol.-%.

**Tab. 16:** Arithmetische Mittelwerte des volumetrischen Wassergehaltes (%) in der Bodenschicht von 0 bis 30 cm Tiefe am Standort **Reinshof**, differenziert nach Untersaat-Varianten.

	Mai			August			September			Oktober		
	2011	2012	2013	2011	2012	2013	2011	2012	2013	2011	2012	2013
R	30,8	32,9	n.u.	20,7	28,2	n.u.	26,4	28,6	n.u.	26,6	34,5	n.u.
W	30,8	32,9	42,1	20,9	27,5	29,0	26,5	27,3	35,3	27,2	33,3	40,0
K	30,8	32,9	42,1	21,9	27,2	28,6	26,3	26,6	35,9	26,5	33,5	40,3
P	30,8	32,9	42,1	20,8	27,6	28,2	24,3	27,3	36,6	26,7	31,6	41,2
RP	30,8	32,9	n.u.	21,7	27,4	n.u.	26,6	27,8	n.u.	27,8	32,9	n.u.
WP	30,8	32,9	42,1	20,9	27,8	28,3	26,3	27,8	35,8	26,9	32,4	40,8
KP	30,8	32,9	42,1	20,2	27,3	29,8	25,2	27,9	36,6	27,2	34,2	40,9
RPB	30,8	32,9	42,1	21,8	27,0	26,9	24,8	27,5	35,0	27,2	32,7	40,3
oU-1*	30,8	32,9	42,1	21,0	27,7	30,2	25,4	27,3	37,1	27,0	33,0	40,2
oU-2*	30,8	32,9	42,1	21,6	27,3	30,2	26,3	26,1	37,1	27,8	33,3	39,9

\* Kontrolle 1 (oU-1): ohne Untersaat, ohne Unkrautregulierung, Kontrolle 2 (oU-2): ohne Untersaat, mit Unkrautregulierung.  
n.u. = nicht untersucht

Bodenproben für die Nmin-Analyse und Wassergehaltsbestimmungen wurden während der Vegetationsperiode in den drei Untersuchungsjahren und an den zwei Standorten jeweils zum Zeitpunkt der Mais-Aussaat im Mai sowie im August, September und Oktober oder Anfang November entnommen (Termine siehe Tab. A5). Ab August wurden diese Proben differenziert nach Untersaat-Varianten

entnommen. Die Ergebnisse sind als Vol.-% Wassergehalt der Bodenschicht 0-30 cm (Oberboden) in den Tabellen 16 und 17 dargestellt.

Die Unterschiede in Tab. 16 und 17 zwischen den Untersuchungsjahren (maximal 7 Vol.-%), den Messzeitpunkten während der Vegetationsperioden (maximal 17 Vol.-%), und den Standorten (maximal 15 Vol.-%) sind erheblich größer als die Differenzen zwischen den Untersaat-Varianten innerhalb eines Messtermins (maximal 3,3 Vol.-%).

**Tab. 17:** Arithmetische Mittelwerte des volumetrischen Wassergehaltes (%) in der Bodenschicht von 0 bis 30 cm Tiefe am Standort **Wiebrechtshausen**, differenziert nach Untersaat-Varianten.

	Mai			August			September			Oktober		
	2011	2012	2013	2011	2012	2013	2011	2012	2013	2011	2012	2013
R	26,3	30,2	n.u.	21,2	27,2	n.u.	29,0	20,1	n.u.	26,8	22,1	n.u.
W	26,3	30,2	30,7	20,4	27,5	13,4	28,2	20,3	26,5	26,1	22,6	30,8
K	26,3	30,2	30,7	21,2	27,7	13,5	28,3	19,2	26,2	26,1	21,6	31,5
P	26,3	30,2	30,7	20,5	27,8	14,4	28,1	19,2	27,2	25,4	22,3	31,1
RP	26,3	30,2	n.u.	21,2	27,5	n.u.	28,2	20,4	n.u.	26,0	22,0	n.u.
WP	26,3	30,2	30,7	21,0	27,6	14,0	28,2	19,6	27,1	25,6	21,5	31,2
KP	26,3	30,2	30,7	20,7	27,4	14,5	28,7	20,7	26,3	26,0	22,1	31,0
RPB	26,3	30,2	30,7	20,8	27,6	14,3	28,3	20,3	26,1	26,1	21,7	31,2
oU-1*	26,3	30,2	30,7	20,9	27,2	14,3	28,2	19,6	27,2	26,0	21,6	31,0
oU-2*	26,3	30,2	30,7	20,8	27,2	14,8	28,1	21,0	26,9	25,4	22,6	30,7

\* Kontrolle 1 (oU-1): ohne Untersaat, ohne Unkrautregulierung, Kontrolle 2 (oU-2): ohne Untersaat, mit Unkrautregulierung.  
n.u. = nicht untersucht

Im Vergleich der Untersuchungsjahre waren die Bodenwassergehalte im Mai 2011 an beiden Standorten am niedrigsten. Am Standort Reinshof blieb der Oberboden in 2011 während der gesamten Vegetationsperiode trockener als in den Jahren 2012 und 2013. Vergleichsweise hohe Bodenwassergehalte wurden hier im Jahr 2013 registriert (im Mittel 29 bis 41 Vol.-%). Am Standort Wiebrechtshausen wurden die niedrigsten Werte im August 2013 (im Mittel 14 Vol.-%) gemessen. Im September und Oktober waren die Bodenwassergehalte besonders im Jahr 2012 relativ niedrig (im Mittel 20 bzw. 22 Vol.-%). Andererseits wurden in Wiebrechtshausen vergleichsweise hohe Bodenwassergehalte im September 2011 (im Mittel 28 Vol.-%) und im Oktober 2013 (im Mittel 31 Vol.-%) ermittelt. Die suboptimale Wasserversorgung im Jahr 2013 in Wiebrechtshausen ist eine mögliche Erklärung für die niedrigen Mais-Kornerträge (vgl. Abb. 15). Ein Vergleich mit den monatlichen Niederschlagssummen der Standorte ist zudem lohnend (siehe Abb. 1).

Die Unterschiede im Bodenwassergehalt waren bei den Untersaat-Varianten zumeist sehr gering. Am Standort Reinshof wurden die niedrigsten Boden-Wassergehalte dreimal in der Mischsaat-Variante RPB festgestellt (August 2012, August 2013, September 2013). Zeitweise wurden in den Reinsaat mit Wegwarte oder

Welschem Weidelgras die niedrigsten Boden-Wassergehalte festgestellt (September 2011, Oktober 2012, Oktober 2013). Vergleichsweise hohe Bodenwassergehalte zeigten sich an beiden Standorten häufig bei der Variante Winterroggen-Reinsaat. Die Untersaaten zeigten im Vergleich untereinander und im Vergleich zu den Kontrollvarianten mit und ohne Bewuchs keine klar erkennbare Tendenz.

Fazit: Die Bodenwassergehalte im Oberboden wurden durch die Untersaaten kaum beeinflusst, während die Bodenverhältnisse und Niederschlagsmengen erhebliche Bedeutung besaßen.

#### **4.9 Diasporenbank im Boden an den Standorten – Inkubationsversuche**

An beiden Versuchsstandorten wurden in jedem Untersuchungsjahr (2011, 2012 und 2013) Bodenproben mit normierten Stechzylindern entnommen. Die Böden wurden verwendet, um auf Parzellenebene Keimschalen für Inkubationsversuche herzustellen (weitere Details siehe Kap. 3). Insgesamt wurden über drei Jahre 360 Keimschalen im Gewächshaus unter kontrollierten Bedingungen (20°C Lufttemperatur, konstante Luftfeuchtigkeit, regelmäßige Zufuhr von Wasser) aufgestellt. Es gab demnach sechs Keimversuche, die sechs verschiedene Feldschläge repräsentierten (je drei pro Standort). Ziel war es, die im Boden vorhandenen Unkrautsamen zum Keimen anzuregen. Da nicht alle Pflanzenarten bei den gleichen Umweltbedingungen die Keimruhe verlieren, wurden zwischenzeitlich einige Einflussfaktoren variiert (Einschub von Trockenphasen, Kältereize zur Vernalisation).

Die Tabelle 18 zeigt 34 Pflanzenarten, deren Keimlinge in der Summe aller Inkubationsversuche zumeist bis auf Artebene bestimmt werden konnten. Daneben gab es einige Keimlinge, die vorzeitig abstarben. Der Anteil dieser Keimlinge am Gesamtumfang betrug aber weniger als 3 %.

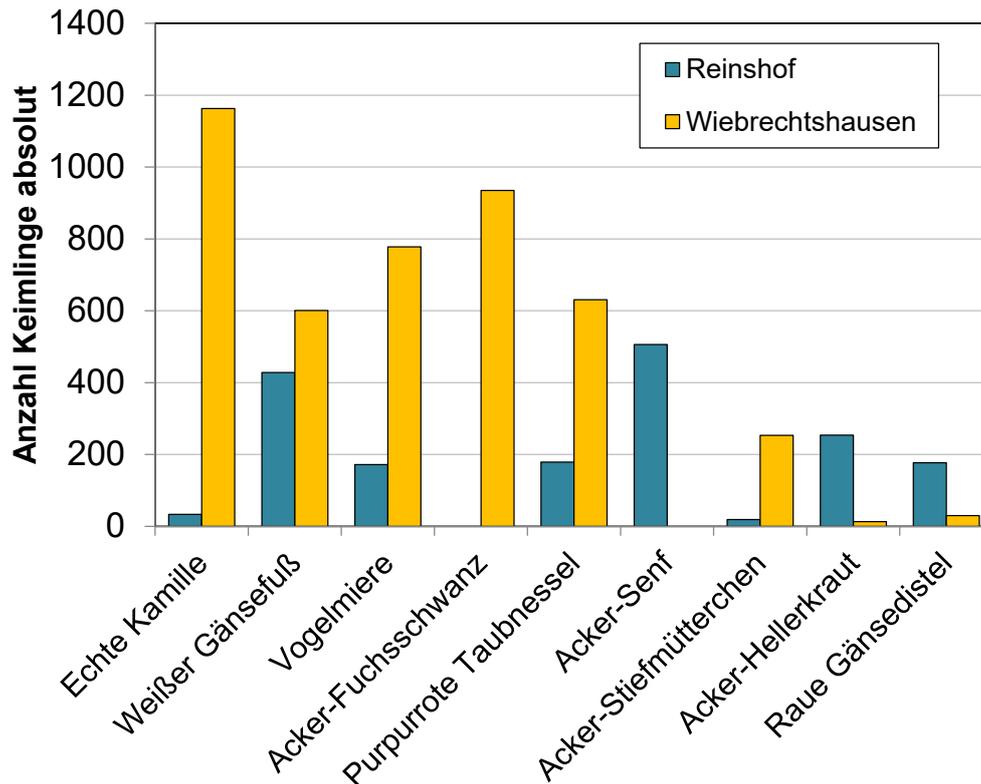
Insgesamt wurden über 6900 Keimlinge gezählt und bestimmt. Tabelle 18 zeigt alle Keimlinge, die lebend bestimmt werden konnten. Den daran höchsten Anteil mit 17,3 % erzielte Echte Kamille. Allerdings befanden sich 93 % der Keimlinge dieser Art auf nur einem Schlag (Querbreite, Wiebrechtshausen 2013). Am zweithäufigsten (14,9 % der Keimlinge) war Weißer Gänsefuß, der am Standort Wiebrechtshausen in jedem Jahr und am Standort Reinshof im Jahr 2011 häufig vorkam. Ähnlich verhielt es sich mit Vogelmiere (13,8 % aller Keimlinge) und Purpurroter Taubnessel (11,7 % aller Keimlinge). Das Gesamtaufkommen von Acker-Senf (7,3 % aller Keimlinge) befand sich jedoch fast nur auf dem Schlag Sauanger-Ost (Reinshof 2011). Auch die Samen des Ackerfuchschwanzes (13,5 % aller Keimlinge) kamen nur auf einer Fläche vor (Querbreite, Wiebrechtshausen 2013).

Die in Tabelle 18 dargestellte Differenzierung nach Untersaat-Varianten bezieht sich jeweils nur auf eine Vegetationsperiode (Aussaat Mitte Juni, Entnahme Bodenproben Ende Oktober). Es ist daher wahrscheinlich, dass langfristige Effekte (Bodenbearbeitung, Düngung, Fruchtfolge) auf den jeweiligen Versuchsschlägen wesentlich größeren Einfluss auf die Zusammensetzung der Samenbank im Boden ausübten, als der nur für etwa fünf Monate vorhandene Bestand der Untersaaten.

**Tab. 18:** Unkrautarten und die absolute Anzahl der Keimlinge aus insgesamt sechs Inkubationsversuchen (zwei Standorte, drei Jahre). Differenzierung nach Untersaat-Varianten (n = 24 pro Versuch).

Nr.	wissenschaftlicher Name	Kontrolle ohne Untersaat	Erdklee	Wegwarte	Weidelgras	Weidelgras + Wegwarte	Summe	Anteil (%)
1	<i>Matricaria chamomilla</i>	288	203	265	211	229	<b>1196</b>	17,3
2	<i>Chenopodium album</i>	326	146	230	163	164	<b>1029</b>	14,9
3	<i>Stellaria media</i>	234	183	170	196	167	<b>950</b>	13,8
4	<i>Alopecurus cf. myosuroides</i>	199	190	197	190	159	<b>935</b>	13,5
5	<i>Lamium purpureum</i>	152	153	162	206	137	<b>810</b>	11,7
6	<i>Sinapis arvensis</i>	54	107	76	143	126	<b>506</b>	7,3
7	<i>Viola arvensis</i>	54	65	59	47	47	<b>272</b>	3,9
8	<i>Thlaspi arvense</i>	60	44	58	51	54	<b>267</b>	3,9
9	<i>Sonchus asper</i>	46	26	55	45	35	<b>207</b>	3,0
10	<i>Veronica hederifolia</i>	40	34	27	43	51	<b>195</b>	2,8
11	<i>Veronica persica</i>	35	33	29	18	25	<b>140</b>	2,0
12	<i>Lamium amplexicaule</i>	19	26	20	30	16	<b>111</b>	1,6
13	<i>Capsella bursa-pastoris</i>	24	7	9	8	22	<b>70</b>	1,0
14	<i>Fallopia convolvulus</i>	13	9	8	2	10	<b>42</b>	0,6
15	<i>Papaver rhoeas</i>	7	6	8	5	5	<b>31</b>	0,4
16	<i>Geranium dissectum</i>	1	9	5	9	4	<b>28</b>	0,4
17	<i>Elymus repens</i>	5	4	3	4	4	<b>20</b>	0,3
18	<i>Galium aparine</i>	4	7	4	2	1	<b>18</b>	0,3
19	<i>Trifolium sp.</i>	0	5	2	5	4	<b>16</b>	0,2
20	<i>Cerastium arvense</i>	7	0	1	1	3	<b>12</b>	0,2
21	<i>Myosotis arvensis</i>	1	4	1	2	1	<b>9</b>	0,1
22	<i>Persicaria lapathifolium</i>	5	0	1	0	0	<b>6</b>	0,1
23	<i>Rumex crispus</i>	4	0	1	0	1	<b>6</b>	0,1
24	<i>Arabidopsis thaliana</i>	0	1	0	1	1	<b>3</b>	<0,1
25	<i>Cirsium arvense</i>	1	1	1	0	0	<b>3</b>	<0,1
26	<i>Galinsoga ciliata</i>	0	0	1	2	0	<b>3</b>	<0,1
27	<i>Poa trivialis</i>	0	1	0	0	2	<b>3</b>	<0,1
28	<i>Sisymbrium officinale</i>	2	1	0	0	0	<b>3</b>	<0,1
29	<i>Urtica urens</i>	0	1	1	0	1	<b>3</b>	<0,1
30	<i>Polygonum aviculare</i>	1	0	0	1	0	<b>2</b>	<0,1
31	<i>Sonchus arvensis</i>	0	0	0	0	2	<b>2</b>	<0,1
32	<i>Veronica agrestis</i>	0	0	0	1	1	<b>2</b>	<0,1
33	<i>Galinsoga parviflora</i>	0	1	0	0	0	<b>1</b>	<0,1
34	<i>Taraxacum officinale</i>	0	1	0	0	0	<b>1</b>	<0,1
<b>Summe Keimlinge</b>		<b>1582</b>	<b>1268</b>	<b>1394</b>	<b>1386</b>	<b>1272</b>	<b>6902</b>	<b>100</b>
Anteile Keimlinge in %		22,9	18,4	20,2	20,1	18,4	100	100
Shannon-Index		7,73	8,23	8,10	7,71	8,07		
Evenness		2,40	2,50	2,49	2,39	2,45		

In Abbildung 19 ist zu sehen, dass einige der häufigsten Unkrautarten im Keimversuch hohe Abundanzen auf beiden Standorten zeigten (z.B. Weißer Gänsefuß), während die meisten Arten nur auf jeweils einem der beiden Standorte häufig vorkamen (z.B. Acker-Senf). Dennoch gab es Arten, die in der Kontrollvariante ohne Untersaaten (oU-1) deutlich höhere Keimzahlen als in den Varianten mit Untersaaten auswiesen. Beispiele dafür sind Weißer Gänsefuß, Kamille oder Acker-Senf.



**Abb. 19:** Absolute Anzahl der neun häufigsten Unkraut- bzw. Ungras-Keimlinge aus Inkubationsversuchen. Aufteilung nach Standorten (Reinshof und Wiebrechtshausen). Daten entstammen der standortbezogenen Summe für die Untersuchungsjahre 2011, 2012 und 2013.

## **5 Diskussion der Ergebnisse**

### **5.1 Unkrautunterdrückung durch Untersaaten**

Primäres Ziel in den Feldversuchen war eine spürbare Unkrautunterdrückung durch Untersaaten unter den Bedingungen des Ökologischen Landbaus. Wesentlich war dabei die Beurteilung der Unkrautentwicklung ab etwa Beginn des Makrostadiums 5 bis zur Kornreife des Mais. Das heißt, besonders die mittleren und späten Phasen in der Vegetationsperiode wurden betrachtet. In dieser Zeit sind die Lichtverhältnisse am Boden zwischen den Maisreihen zumeist schattig. Die Ergebnisse der durchgeführten Feldversuche haben gezeigt, dass der Einsatz von Untersaaten in Mais grundsätzlich zu einem verringerten Unkrautwachstum führt.

Der eingesetzte Winterroggen der Sorte Vitallo ist ein Grünschnittroggen, den eine schnelle Jugendentwicklung auszeichnet. Die Sorte soll nach Empfehlungen des Züchters als Zwischenfrucht oder als Vorfrucht vor Mais zur Futter- oder Biomasseerzeugung eingesetzt werden. Roggen ist allgemein dafür bekannt, eine zügige Entwicklung mit einem guten Unkrautunterdrückungsvermögen zu verbinden. Das Wachstum der Winterroggen-Sprossmasse war in den Feldversuchen im August zunächst noch befriedigend (Abb. 6), bevor die Art im September und im Oktober fast vollständig verschwand. Bei Untersuchungen von RÜCKERT (2010) zeigte Winterroggen in Mais etwa Ende Juli einen Sprossmasse-Ertrag in Höhe von bis zu 14 dt TM ha<sup>-1</sup>. Aber auch RÜCKERT & RAUBER (2010) berichten, dass eine Winterroggen-Untersaat im Vegetationsverlauf „beträchtliche Alterungsprozesse“ zeigte und bis zur Maisernte fast völlig abgestorben war. Diese Beobachtungen konnten in den Untersuchungsjahren 2011 und 2012 bestätigt werden. Als Grund für diese Absterbeprozesse liegt eine Reaktion auf das mangelnde Strahlungsangebot im geschlossenen Maisbestand nahe. Nährstoff- oder Wassermangel sind wenig wahrscheinliche Gründe, da z.B. Welsches Weidelgras unter den gleichen Bedingungen ein viel besseres Wachstum im September und Oktober zeigte. Versuche mit Untersaaten in ökologisch produziertem Mais in Japan zeigten jedoch andererseits, dass Winterroggen die Unkrautdichte zwischen den Maisreihen erheblich reduzieren kann (UCHINO et al. 2012, 2015).

Das Welsche Weidelgras ist ein horstbildendes Obergras. Im Freiland sind Wuchshöhen von bis zu 100 cm möglich. Welsches Weidelgras ist zudem bekannt für seinen hohen Futterwert (Note 8). Bevorzugt werden wintermilde, luftfeuchte, maritime Lagen mit nährstoffreichen Böden. In den Feldversuchen wurde die einjährige Sorte Tigris verwendet. Diese Sorte zeigt im Vergleich zu anderen Sorten eine eher langsame Anfangsentwicklung, eine halbaufrechte Wuchsform, eine mittlere Halmlänge und eine mittlere Massenbildung im Anfang (BESCHREIBENDE SORTENLISTE 2013). Erst später soll die Sorte im Massenwuchs zulegen. In den Feldversuchen konnte dies weitgehend bestätigt werden. Das Welsche Weidelgras der Sorte Tigris steigerte den Massenwuchs von August bis Oktober kontinuierlich. Im

Mittel über alle Standorte und Jahre wurden im Oktober etwa 6,7 dt TM ha<sup>-1</sup> erreicht. Im Oktober 2013 wurde mit etwa 15 dt TM ha<sup>-1</sup> die insgesamt höchste Sprossmasse des Welschen Weidelgrases beobachtet. Zum Vergleich: PICKERT (2008) berichtet, dass in Untersaat-Versuchen im konventionellen Maisanbau Welsches Weidelgras einen Ertrag in Höhe von 30 dt TM ha<sup>-1</sup> aufwies. Aktuell haben Grasuntersaaten im norddeutschen Maisanbau einen hohen Stellenwert, da sie Stickstoff binden, den Mais vor Erosion schützen und bei Bedarf als Biogassubstrat genutzt werden können (ROMUNDT 2013).

Die Leguminose Erdklee wurde ausgewählt, da diese Art bei Versuchen in der Schweiz und in den USA als „Lebendmulch“-Bodenbedecker bzw. als Untersaat unter anderem in Mais erfolgreich Unkräuter verdrängte (KLÄY 1984, ILNICKI & ENACHE 1992, YENISH et al. 1996). Das genannte „Lebendmulchsystem“ (engl. „living mulch“) basiert auf der Idee, dass der in einer Hauptfrucht eingesäte Bodenbedecker die „aggressive Unkrautflora“ verdrängt und die Unkrautregulierung somit vereinfacht (FEIL & LIEDGENS 2001). Ursprünglich verstand man darunter ein Anbausystem, bei dem eine Hauptfrucht in einen bereits vorhandenen, lebenden Bodenbedecker eingesät wird. In der Literatur wird der Begriff Lebendmulchsystem häufig weiter gefasst. FEIL & LIEDGENS (2001) definieren den Begriff so, dass „... ein Mischungs-partner über einen längeren Zeitraum während der Vegetation der Hauptfrucht vornehmlich als lebender Bodendecker fungiert“. Unter diesen Umständen können Untersaaten in Mais, die erst spät in die Deckfrucht gesät wurden, gleichfalls als Lebendmulch aufgefasst werden. Entscheidend ist jedoch, dass in beiden Anbausystemen der Bodendecker bzw. die Untersaat einerseits und die Hauptfrucht bzw. die Deckfrucht andererseits um Wachstumsfaktoren (Nährstoffe, Wasser, Licht) konkurrieren (PICKERT 2008).

Die Wegwarten-Sorte „Grasslands Puna“ ist eine in Deutschland wenig bekannte Sorte der Gemeinen Wegwarte (*Cichorium intybus*). Der Genotyp wurde in den 1980er Jahren in Neuseeland gezüchtet (RUMBALL et al. 2003). Inzwischen sind in Neuseeland, in den USA oder in Frankreich weitere Sorten (z.B. Choice, Forage Feast, Puna II) erschienen. Die Wegwarten-Individuen dieser Wuchsform sind ausdauernde Stauden, die als frisches Feldfutter zur Beweidung für kleinere Wiederkäuer (BARRY 1998, FOSTER et al. 2011) eingesetzt werden. Die Blätter enthalten häufig verschiedene Sesquiterpen-Lactone, z.B. Lactucin, aber auch Tannine. Die Aufnahme der Pflanzen soll bei Schafen das Vorkommen von Darmparasiten reduzieren (FOSTER et al. 2011). Die Wuchsform der Sorte „Grasslands Puna“ erinnert entfernt an Gemeinen Löwenzahn (*Taraxacum officinale*). Ebenso wie diese verwandte Art (Korblütengewächse) besitzt „Grasslands Puna“ eine grundständige Rosette mit zahlreichen, länglichen Blättern.

Im Rahmen dieser Untersuchungen wurden insgesamt vier Mischungen bzw. Gemengesaaten geprüft. An diesen vier Varianten war immer die Wegwarte der Sorte „Grasslands Puna“ beteiligt. In drei der vier Varianten waren die bereits vorgestellten Arten Winterroggen, Welsches Weidelgras oder Erdklee zu jeweils 50 % der Reinsaatstärke (Tab. 3) als zweiter Gemeinpartner beteiligt. Die Grundidee war, dass Wegwarte mit seinen langen Blättern eher grundständig in die Breite wächst, während die einkeimblättrigen Gräser und der zweikeimblättrige Klee die kleineren Lücken zwischen den Maisreihen füllen sollten. Zudem entwickelt sich Wegwarte der Sorte „Grasslands Puna“ zunächst eher langsam, so dass die Ergänzungen mit einer Pflanzenart, die eine schnelle Jugendentwicklung zeigt (z.B. Winterroggen) als sinnvoll erachtet wurde. In den Feldversuchen zeigte die Wegwarte sowohl in den Reinsaaten wie auch in den Gemengesaaten häufig die gewünschten Eigenschaften. Die Blätter wuchsen flach am Boden in die Breite. Des Weiteren war Wegwarte in der Lage, in der späten Phase der Vegetationsperiode ausreichend Sprossmasse zu bilden. Dabei wurden jedoch enorme Unterschiede zwischen den Untersuchungsjahren ermittelt. Im August der Jahre 2011 und 2012 zeigte Wegwarte in Reinsaat Sprossmasse-Erträge in Höhe von ca. 3 dt TM ha<sup>-1</sup>, während im August 2013 im Mittel ca. 9 dt TM ha<sup>-1</sup> erreicht wurden. Um September und Oktober der Jahre 2011 und 2012 sank dieser Ertrag auf etwa 2 dt TM ha<sup>-1</sup> ab, im September 2013 erreichte er hingegen 16 dt TM ha<sup>-1</sup> und im Oktober 2013 schließlich 20 dt TM ha<sup>-1</sup>. Diese Ergebnisse müssen im Zusammenhang mit den jeweiligen Wuchsbedingungen (Trockenphasen, Niederschläge, Lufttemperatur, Abb. 1 und 2) für die Untersaaten und für die Deckfrucht Mais gesehen werden. Die hohen Zuwachsraten bei der Wegwarte und anderen Untersaat-Kulturen im Jahr 2013 können am wahrscheinlichsten mit einer erhöhten Lichttransmission im Maisbestand erklärt werden.

Eine vierte Untersaat-Gemengevariante (RPB, Tab. 3) beinhaltete Winterroggen, Wegwarte „Grasslands Puna“ und Gemeinen Buchweizen (*Fagopyrum esculentum*). Wie bereits im Kapitel 3.2.3 beschrieben, wurde diese ungewöhnliche Mischsaat im Arbeitspaket 2 (Pflanzenzüchtung) als beigesäter „Unkraut-Simulator“ im Mais eingesetzt. Deshalb erschien es sinnvoll, die Variante RPB auch im Arbeitspaket 1 zu testen.

Der sogenannte Echte oder auch Gemeine Buchweizen stammt ursprünglich aus Zentralasien und gehört zur Familie der Knöterichgewächse (Polygonaceae). Er bevorzugt warmes Klima und eher saure, sandig-humose Böden. Der wenig verzweigte, aufrechte und krautige Stängel kann unter optimalen Bedingungen Wuchshöhen von über 1 m erreichen. In der Landwirtschaft wird die Art häufig als Zwischenfrucht eingesetzt. Die reifen Körner (4 bis 6 mm lange Nüssfrüchte) können als hochwertige Pseudocerealie geerntet und vermarktet werden. Ein wesentlicher Grund für die Verwendung der Art in den Untersaat-Versuchen ist die Tatsache, dass Buchweizen als sogenannte Bienentrachtpflanze einen Beitrag zur Verbesserung der

agrarökologischen Komponente leisten könnte. Vielfach wird Maisanbau von Umweltschutzverbänden und von der Bevölkerung wegen seiner Eintönigkeit kritisiert (LINHART & DHUNGEL 2013). In den Feldversuchen der Jahre 2011 bis 2013 zeigte Buchweizen in jedem Jahr etwa ab Mitte Juli die arttypischen nektarreichen Blüten. Damit war Buchweizen von den geprüften Untersaaten die einzige Art, die zur Blüte kam und ab August zudem Früchte entwickelte. Die Früchte fielen später ab und gelangten so auf die Bodenoberfläche. Sollte Buchweizen in der Praxis als Untersaat eingesetzt werden, muss auf diesen Umstand hingewiesen werden. Auf wärmebegünstigten Standorten kann es bei den Folgefrüchten im nächsten Jahr eventuell zu Durchwuchs kommen.

Werden die Ergebnisse zur Unkrautunterdrückung und zur Sprossmassebildung bei den Reinsaaten und den Gemengesaaten verglichen, so zeigte sich, dass die vergleichsweise hohen Erwartungen an die Gemengevarianten im Wesentlichen kaum erfüllt wurden (Abb. 7, 8, 10, 12 und 14; Tab. 5 und 6). Die Gesamt-Sprossmasse der Unkräuter war in der Reinsaat-Variante der Wegwarte zu jedem Zeitpunkt (August, September, Oktober) etwas niedriger als in den vier Mischsaat-Varianten mit Wegwarte. Weitere Analysen (Tab. 5) zeigten für den Parameter „Unkrautunterdrückungsvermögen“ zudem die Überlegenheit der Reinsaaten von Welschem Weidelgras und von Erdklee. Für die Praxis bedeutet dies, dass Mischsaaten wegen des höheren Arbeitsaufwandes und höherer Saatgutkosten weniger attraktiv sind als Reinsaaten. Andererseits tragen Mischsaaten unzweifelhaft dazu bei, günstige Umweltwirkungen zu unterstützen, z.B. Erosionsschutz, Humusaufbau oder Steigerung der Biodiversität. Eventuell können sie zusätzlich als Nahrungsquelle für Bestäuber dienen (siehe Buchweizen).

Aus Versuchen mit Untersaaten in verschiedenen Getreidekulturen (z.B. Weizen, Dinkel) ist bekannt, dass Untersaaten mit Weißklee oder Deutschem Weidelgras die Unkräuter im Getreide wirksam unterdrücken (HILTBRUNNER et al. 2007, BRUST 2011). Wichtig war in diesem Zusammenhang, dass der Ertrag der Deckfrucht nicht negativ beeinflusst wurde. KLÄY (1984) erzielte mit einer Mischung aus Erdklee und Weidelgras gute Erfolge hinsichtlich der Unkrautunterdrückung. Zudem wird bei KLÄY (1984) der Einsatz von Erdklee empfohlen, wenn „saurer oder neutraler Boden“ vorliegt.

Im Vergleich zu den Erhebungen bezüglich der Sprossmasse durch Entnahme von Pflanzenmaterial am Standort, bot die Erfassung der Deckungsgrade den Vorteil, dass nicht-destruktiv Daten generiert wurden. Zudem war es möglich, bereits im Juli (Mais: Makrostadium 3, Längenwachstum) mit der Datenerfassung zu beginnen. Ein Nachteil der Methode ist die rein visuelle Erfassung im Feld, die erhobenen Rohdaten stellen somit nur Schätzungen dar.

Mais stellt keine spezifischen Ansprüche an den Boden. Allerdings muss gewährleistet sein, dass sich die Böden im Frühjahr schnell und hinreichend erwärmen

(HANUS 2008). Die Maiskörner benötigen eine Minimumtemperatur von 10 bis 12°C ist für die Keimung (GREEF 2008, HANUS 2008). Gerade das Untersuchungsjahr 2013 bot in dieser Hinsicht im Projekt eher suboptimale Bedingungen, da in der zweiten Maihälfte außergewöhnlich reichhaltige Niederschläge (DWD 2013, Abb. 1) einhergehend mit niedrigen Temperaturen alle Feldkulturen negativ beeinträchtigten. Ein weiterer Aspekt ist der relativ hohe Wasserbedarf von Mais in den mittleren und späten Phasen der Vegetationsperiode (HANUS 2008). Die im Projekt ausgewählten Versuchsstandorte im südlichen Niedersachsen erfüllen potenziell alle Voraussetzungen (Klima, Wasser, Nährstoffe) für einen erfolgreichen Maisanbau mit Untersaaten.

An den Standorten Reinshof und Wiebrechtshausen waren die Niederschläge in den für das Maiswachstum wichtigen Monaten Juli und August im Vergleich der Jahre unterschiedlich verteilt. Das Jahr 2011 war in weiten Phasen (Februar bis Mai, Juli) von einem Wechsel aus Trockenheit und ausreichender Niederschlagszufuhr geprägt. Im Juni und August hingegen fielen überdurchschnittliche Regenmengen (67 bis 123 mm Niederschlag, Abb. 1). Insgesamt war aber die Jahressumme der Niederschläge mit beispielsweise 449 mm am Standort Göttingen zu niedrig – zum langjährigen Mittel fehlten 31 %. Für die Region um den Standort Wiebrechtshausen galten ähnliche Bedingungen. Im Untersuchungsjahr 2012 wiederholte sich die Phase einer langen Frühjahrstrockenheit an beiden Standorten. Die Aussaat im Mai wurde plangemäß durchgeführt, allerdings mussten einzelne Tage mit hohen Niederschlagsmengen (31 mm Regen am 2. Mai 2012 in Göttingen) bei der Terminfindung einbezogen werden. Im Juni 2012 fiel an allen Standorten ausreichend Niederschlag (80 bis 91 mm, Abb. 1). Die Etablierung der Untersaaten am Standort Wiebrechtshausen wurde im Juni von einzelnen Starkregenereignissen beeinflusst. Im Feld zwischen den Maisreihen wurden stellenweise Zeichen von Wassererosion entdeckt, nicht alle Untersaaten erreichten zunächst das gewünschte Wachstum. Im späteren Verlauf relativierte sich dieser Sachverhalt. Im August 2012 waren die Regenmengen am Standort Reinshof gerade ausreichend (79 mm), nahe Wiebrechtshausen waren sie zu gering (46 mm). Das Untersuchungsjahr 2013 war von ergiebigen Regenmengen in der zweiten Maihälfte geprägt. Danach war es an beiden Standorten im Juni sehr trocken. Auch im Juli und August fiel weit weniger Niederschlag als im langjährigen Mittel. Insgesamt trugen diese wechselnden Bedingungen dazu bei, dass der Körnermais im Jahr 2013 an beiden Standorten in seiner Entwicklung zurückblieb und nur relativ niedrige Korn-Erträge produzierte (Tab. 7).

Auf die Untersaaten wirkten sich diese ungleichen Witterungsbedingungen des Jahres 2013 gleichfalls aus. Im Vergleich zu den Jahren 2011 und 2012 wurde im September und im Oktober 2013 eine achtfach höhere Sprossmasse bei den Untersaaten beobachtet (Abb. 5). Der häufig mäßig entwickelte Mais erlaubte höchst-

wahrscheinlich eine erhöhte Lichttransmission im Bestand. Es ist davon auszugehen, dass im September und Oktober am Boden wesentlich mehr PAR-Strahlung ankam, als in den Feldversuchen der Jahre 2011 und 2012. Allerdings wurden keine eigenen Messungen zur Lichttransmission durchgeführt. TIMLIN et al. (2014) zeigten jedoch, dass niedrigere Bestandesdichten und eine geringe N-Verfügbarkeit zur Erhöhung der Lichttransmission im Maisbestand führte.

Der sogenannte „Göttinger Schätzrahmen“ umfasst eine Fläche von 0,1 m<sup>2</sup> und wurde im Integrierten Pflanzenbau zur Ermittlung von Schadenschwellen eingeführt (BARTELS et al. 1983). Eine andere Anwendung ist die Erfassung der Variabilität der Verunkrautung, um beispielsweise eine teilflächenspezifische Unkrautkontrolle durchzuführen (BACKES 2005). Die Erfassung der Bodendeckungsgrade (in %) erfolgte im Feld durch visuelle Schätzung. Diese Art der Bonitur erfordert Erfahrung. Die Ergebnisse sind wie bei allen Bonituren mit einem gewissen Grad an Unsicherheit behaftet (THOMAS 2006). Eine qualitative Übereinstimmung mit den Daten der Sprossertrags-Erfassung ist gegeben, dies zeigen Vergleiche der Abbildungen 6 und 7 mit den Abbildungen 11 und 12.

### **5.2 Konkurrenz zwischen Mais, Untersaaten und Unkräutern**

Der Aussaattermin der Untersaaten ist für nachfolgenden Konkurrenzeffekte und Beziehungen zur Deckfrucht von großer Bedeutung. Es ist bekannt, dass Mais eine vergleichsweise langsame Jugendentwicklung aufweist, u.a. weil in Mitteleuropa vergleichsweise niedrige Tagesdurchschnittstemperaturen vorherrschen. Ferner zeigt Mais in der Anfangsentwicklung ein geringes Nährstoffaneignungsvermögen. Deshalb können frühe Untersaaten oder hohe Unkrautdichten den Mais in der Entwicklung behindern. GRAß (2003) fasst dies mit einer einfachen Formel zusammen: „Je früher eine Untersaat ausgebracht wird, umso höher ist der Konkurrenzdruck für den Mais“. Bereits in älteren Abhandlungen (KLÄY 1984) wird empfohlen, dass Untersaaten erst dann in Mais eingebracht werden sollten, wenn der Mais einen Wachstumsvorsprung aufweist. Wie groß dieser Wachstumsvorsprung ausfällt, hängt von den jeweiligen standörtlichen Begebenheiten und der Konkurrenzstärke der Untersaat ab. Für den Ökologischen Landbau sind Maissorten erforderlich, die über eine sehr gute Triebkraft und Keimfähigkeit verfügen. Zudem müssen sie sehr stresstolerant sein: Sie müssen Nährstoffstress zumindest temporär abpuffern, Trockenphasen überstehen und die Konkurrenz durch Unkräuter hinnehmen (SCHMIDT & BURGER 2010).

In den Untersuchungen von RÜCKERT (2010) erreichte die Maissorte Ricardinio am Standort Wiebrechtshausen im Jahr 2009 mit Klee-Untersaaten einen Kornenertrag in Höhe von 116,7 dt TM ha<sup>-1</sup>. Die gleiche Sorte zeigte ohne Untersaaten einen nur unwesentlich höheren Ertrag (117,3 dt TM ha<sup>-1</sup>). Im Mittel der für den Mais ertragreichen Jahre 2011 und 2012 wurden bei der Sorte Ricardinio Kornenerträge in Höhe

von 140,0 dt TM ha<sup>-1</sup> (ohne Untersaaten) bzw. 138,2 dt TM ha<sup>-1</sup> (mit Untersaaten) erreicht. Der Einfluss der Untersaaten auf den Kornertrag war demnach auch hier sehr gering. Im ertragsschwachen Mais-Jahr 2013 waren die Spross-Trockenmassen der Untersaaten (im Mittel 13 bis 15 dt TM ha<sup>-1</sup>) weit höher als in den Jahren 2011 und 2012 (im Mittel 2 bis 3 dt TM ha<sup>-1</sup>). Dies wirkte sich unmittelbar auf den Ertragsvergleich aus: Ohne Untersaaten war im Jahr 2013 der Mais-Kornertrag der Sorte Ricardinio ca. 13 % höher als mit Untersaaten. Noch größer war der Unterschied mit ca. 22 % bei der Sorte Colisee. Diese Sorte erreichte im Mittel der Jahre 2011 und 2012 etwas niedrigere Kornerträge (130,4 dt TM ha<sup>-1</sup> mit Untersaaten und 133,3 dt TM ha<sup>-1</sup> ohne Untersaaten) als die Sorten Ricardinio und Ronaldinio (135,1 dt TM ha<sup>-1</sup> mit Untersaaten und 136,4 dt TM ha<sup>-1</sup> ohne Untersaaten). Nach Angaben bei PICKERT (2008) zeigten Versuche von STEMANN et al. (1993), dass die Untersaat von Welschem Weidelgras keineswegs zum Ertragsrückgang von Silomais beitrug. Im Vergleich zur Kontrolle ohne Untersaat waren die Silomais-Erträge im Mittel sogar geringfügig höher.

Inwiefern die Blattstellung und der Wuchstyp (Heliotrophie) der Maissorten einen Einfluss auf das Wachstum der Untersaaten und Unkräuter ausübte, kann mit den in diesem Projekt gewonnenen Ergebnissen nur unzureichend beantwortet werden. WANG (2001) stellte fest, dass der pyramidalförmige Wuchstyp (sogenannter HT-Typ) gegenüber dem normalen Wuchstyp zumeist höhere Erträge und bessere Kornqualitäten erreichte. Von den im Projekt untersuchten Maissorten weist Ricardinio die kleinste Blattwinkelstellung auf. Den geringsten Kornertrag erzielte jedoch die Sorte Colisee, die bezüglich der Blattwinkelstellung zwischen Ricardinio und Ronaldinio liegt (Tab. 2). Der Blattflächenindex des Maises steigt, wenn die Bestandesdichte und die Stickstoff-Versorgung erhöht werden (TIMLIN et al. 2014). Damit einhergehend verringerte sich die Lichttransmission und damit die Strahlungsmenge, die zwischen den Maisreihen am Boden ankam. Die Lichttransmission und der Blattflächenindex wurden im Projekt nicht gemessen. Bei zukünftigen Untersuchungen mit Mais-Untersaaten wären Messungen dieser Art empfehlenswert.

Aus den in unseren Versuchen gewonnenen Erkenntnissen lässt sich ableiten, dass eine signifikante Reduktion des Maisertrages durch Untersaaten nur dann zu befürchten ist, wenn (a) die Sprossmasse der Untersaaten in jedem Monat mehr als etwa 10 dt TM pro ha beträgt und wenn (b) ungünstige Witterungsverhältnisse, z.B. lange Trockenphasen, den Mais schwächen oder in seiner Entwicklung behindern.

### **5.3 Stickstoff in den Pflanzen und im Boden**

Mit dem Gerät „SPAD-502“ (Fa. Konica-Minolta) ist es möglich, schnell und zerstörungsfrei Blattmessungen im Feld durchzuführen. Unterschiede zwischen den Behandlungen von Feldvarianten werden erkennbar. Das Gerät ist bewährt und wird

häufig bei Feldmessungen für wissenschaftliche Versuche eingesetzt (PIEKELEK et al. 1995, EARL & TOLLENAAR 1997, UDDLING et al. 2007).

In den Feldversuchen der Jahre 2011 und 2012 zeigten die SPAD-Werte bei den Maissorten einen charakteristischen Verlauf, der bereits von RÜCKERT (2010) beobachtet wurde. Im Juli lagen die SPAD-Werte etwa bei 47 bis 48, um dann im August und September auf Werte deutlich über 50 anzusteigen. Im Oktober gingen die SPAD-Werte stark zurück, die Werte lagen unter 40. Dieser Verlauf ist mit der Stickstoff-Aufnahme von Mais zu seinem unterschiedlichen Entwicklungsstadien zu erklären. In der Jugendentwicklung braucht Mais relativ wenig Stickstoff. Die höchste Stickstoff-Aufnahme erfolgt zwischen dem Schossen und kurz vor Ende der Blüte, z.B. erkenntlich am Vertrocknen der Nabenfäden. Zeitlich lässt sich die Hauptbedarfsperiode beim Mais etwa auf Anfang/Mitte Juli eingrenzen (PICKERT 2008). Der Stickstoff wird später in das Korn eingelagert, dabei nimmt der Gehalt in den Blättern ab.

Beim Vergleich der Maissorten lagen Ricardinio und Ronaldinio etwa auf dem gleichen Niveau, während die Sorte Colisee ab August geringere SPAD-Werte aufwies. Mit fortschreitender Zeit vergrößerten sich die Differenzen: im August maximal ca. 1,5 SPAD-Einheiten, im September etwa 3,5 SPAD-Einheiten und im Oktober betrug der Unterschied 6,3 SPAD-Einheiten (Tab. 12). Zudem ist bei der Sorte Ricardinio ein direkter Vergleich mit den Ergebnissen von RÜCKERT (2010) möglich. In ihren Versuchen im Jahr 2009 am Standort Wiebrechtshausen erreichte Ricardinio im Juli 46,3 SPAD-Einheiten, in Mittel der Jahre 2011 und 2012 lagen die Werte im Juli in Wiebrechtshausen bei 49,2. Im weiteren zeitlichen Verlauf waren die Werte aus dem Jahr 2009 im Vergleich zu den Jahren 2011 bzw. 2012 nur geringfügig höher: 0,9 SPAD-Einheiten im August, 0,7 SPAD-Einheiten September und 2,7 SPAD-Einheiten im Oktober.

Die Mais-Kontrollvarianten ohne Untersaaten zeigten in den Untersuchungsjahren 2011 und 2012 zu verschiedenen Terminen (Juli bis September) etwas höhere SPAD-Werte als Mais mit Untersaaten (Tab. 13). Wenn im Mais zusätzlich dauerhaft Unkräuter mechanisch reguliert wurden, fanden sich die höchsten SPAD-Werte (Kontrollvariante oU-2). Dies deutet darauf hin, dass Untersaaten und Unkräuter mit dem Mais um die Ressource Stickstoff konkurrieren. Die Unterschiede zwischen den Messwerten im Vergleich der Untersaat-Varianten waren mit maximal 2,0 SPAD-Einheiten relativ gering. Im Feld waren beim Mais Unterschiede in der Blattfärbung mit bloßem Auge kaum zu erkennen. Lediglich im Untersuchungsjahr 2013 traten Mangelercheinungen, wie z.B. hellgrüne Blätter, deutlich hervor.

Der Stickstoff, der elementaranalytisch im reifen Maiskorn gemessen wurde, lag zumeist in Bereichen zwischen 1,2 und 1,4 % N. Die Spannweite der Korn-N-Gehalte

soll bei Körnermais laut KTBL (2009) zwischen 1,2 und 1,6 % schwanken. Demnach verweisen die Korn-N-Gehalte in den Feldversuchen von 2011 bis 2013 eher auf geringere N-Versorgung der Deckfrucht Mais.

Die Maissorte Ricardinio zeigte im Mittel deutlich niedrige N-Gehalte im Korn als die Maissorten Colisee und Ronaldinio (Tab. 10). Ähnlich wie bei den SPAD-Werten waren die Stickstoff-Gehalte in den Maiskörnern in der Kontrollvariante oU-2 (ohne Untersaaten sowie mit Unkrautregulierung) am höchsten, besonders in den Jahren 2011 und 2013. Zwischen den Untersaat-Varianten gab es in den Jahren 2011 und 2012 in der Regel nur geringfügige Unterschiede. Das Jahr 2013 zeigte deutliche Differenzen. Es fällt auf, dass Mais mit der Untersaat Erdklee höhere Korn-N-Gehalte als mit den meisten anderen Untersaat-Varianten aufwies (Tab. 11). Wahrscheinlich ist dies darauf zurückzuführen, dass im Jahr 2013 der Erdklee im Vergleich zu den andern Untersaaten weniger Sprossmasse bildete. An den Korn-N-Gehalten des Untersuchungsjahres 2013 wird deutlich, dass hohe Sprossmasse-Erträge der Untersaaten die Deckfrucht Mais negativ beeinflusste. Ferner waren Unterschiede zwischen den Jahren zu beobachten, die möglicherweise mit der Düngung oder der Witterung in Zusammenhang stehen. Im Jahr 2011 waren die Korn-N-Gehalte im Mittel am höchsten, gefolgt von 2012 und zuletzt 2013 (Tab. 11).

Die in den Feldversuchen gemessenen Stickstoff-Vorräte im Boden (N<sub>min</sub>, Tab. 14 und 15) bewegten sich zwischen Mai und Oktober auf insgesamt niedrigem Niveau. Eine Stickstoff-Düngung wurde nach Maßgabe der praxisüblichen Bedarfsberechnungen in allen Feldversuchen zur Aussaat durchgeführt. Die ausgebrachten Stickstoff-Mengen mit zugelassenen organischen Düngern (z.B. Hornspäne) entsprachen nach Abzug der aktuellen N<sub>min</sub>-Werte einem Düngenniveau von etwa 180 kg N pro ha (Standort Reinshof). Am Standort Wiebrechtshausen wurde zur Aussaat des Mais eine ähnliche Düngemenge verabreicht.

Die Untersaat-Varianten unterschieden sich bei bezüglich der N<sub>min</sub>-Werte nicht sehr stark. Insgesamt ist aber eine leichte Tendenz erkennbar. Danach waren die N<sub>min</sub>-Werte im Mittel über alle Untersuchungsjahre unter den Varianten mit Erdklee etwa ein bis zwei kg höher als im Weidelgras oder unter der Wegwarte (Tab. 15). Möglicherweise ist dies ein kleiner Hinweis auf die symbiotische Stickstoff-Fixierung durch die Leguminose Erdklee. Am geringsten waren die N<sub>min</sub>-Werte unter dem Gemenge mit Buchweizen (RPB). Demgegenüber wurden die höchsten N<sub>min</sub>-Werte immer in der Kontrollvariante oU-2 (ohne Bewuchs) festgestellt. Der Bewuchs mit den Untersaaten führte demnach zur Akkumulation von Stickstoff in der Pflanzen-Sprossmasse. Damit einhergehen können positive Umweltwirkungen. Es ist beispielsweise bekannt, dass der Einsatz von Deutschem Weidelgras als Untersaat in Silomais zu einer signifikanten Reduktion der Nitrat-Auswaschungsverluste führen kann, wenn hohe Rest-N<sub>min</sub>-Mengen nach der Ernte vorliegen (BÜCHTER et al. 2003).

#### 5.4 Diasporen im Boden – Keimversuche mit der Auflaufmethode

Die in Deutschland verbreitete Unkrautflora in Mais wird bei MEHRTENS et al. (2005) beschrieben. Die höchsten Stetigkeiten erreichten demnach bundesweit der Weiße Gänsefuß (*Chenopodium album*), Vogelmiere (*Stellaria media*), Winden-Knöterich (*Fallopia convolvulus*), Hühnerhirse (*Echinochloa crus-galli*) und Kamille-Arten (*Matricaria* spp.). Verglichen mit den Ergebnissen aus den Keimversuchen in diesem Projekt, sind einige Übereinstimmungen erkennbar (Tab. 18). In Wiebrectshausen ist Weißer Gänsefuß ein Leitunkraut. Aber auch Kamille war stellenweise mit hohen Abundanzen vertreten, sowohl im Keimversuch wie auch im Feld. Vogelmiere gab es an beiden Standorten, während Hühnerhirse in unseren Feld- und Keimversuchen nicht auftrat. Der Winden-Knöterich ist vor allem im Ökologischen Landbau am Standort Reinshof anzutreffen. In den Keimversuchen belegte er nur Platz 13 (Keimlinge: 0,6 % Anteil am Gesamtvolumen).

Die durchgeführten Keimversuche zeigten, dass das vorhandene Potential der Samen im Boden der Feldschläge gut abgeschätzt werden kann. Allerdings werden bestimmte perennierende Unkräuter mit dieser Methode nur unzureichend erfasst. Im Feld waren Acker-Kratzdistel und Acker-Schachtelhalm zumindest temporär auf bestimmten Feldabschnitten mit sehr hohen Abundanzen vertreten.

Eine Arbeit von DE MOL et al. (2012) zeigte, dass im konventionellen Ackerbau pflanzenbauliche Maßnahmen (z.B. Herbizideinsatz) die Unkrautzusammensetzung im Mais signifikant beeinflusste. Inwiefern der Einsatz von Untersaaten im Ökologischen Landbau lang- und mittelfristig die Unkrautzusammensetzung ändert, wäre noch zu klären.

## **6 Angaben zum Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse**

Für den Untersaaten-Einsatz zur Unkrautunterdrückung im ökologischen Maisanbau sind aus unserer Sicht Welsches Weidelgras und Erdklee besonders empfehlenswert. Dabei ist jedoch zu beachten, dass ein zu hoher Anteil von Leguminosen in der Fruchtfolge vermieden werden sollte. Andererseits ist davon auszugehen, dass Erdklee im Mais kleinwüchsig bleibt. Die Höhe der Stickstoff-Nachlieferung ist wahrscheinlich erheblich geringer als bei ein- oder zweijährigem Klee gras. Erdklee wird als wärmeliebende Pflanze über Winter zumeist absterben.

Nach unseren Erkenntnissen sollten Untersaaten im Mais als Reinsaaten angelegt werden. Mischsaaten bzw. Gemenge sind zwar möglich, jedoch zeigten diese im Hinblick auf das Unkrautunterdrückungsvermögen keine entscheidenden Vorteile gegenüber Reinsaaten.

Winterroggen kann nur dann empfohlen werden, wenn man eine Untersaat mit schneller Jugendentwicklung wünscht. Es besteht die Gefahr, dass Winterroggen unter Mais schnell abstirbt und so wenig zur Unterdrückung der Mittel- und Spätverunkrautung beiträgt.

Buchweizen bildet hohe Stängel und steht im Verdacht, den Mais beim Ertrag negativ zu beeinflussen. Zudem können Früchte entstehen, die als Samen im Boden verbleiben. Eine Empfehlung ist daher nur sehr eingeschränkt möglich.

Die im Projekt gewählten Aussaatmengen waren zum Teil deutlich höher, als jene Aussaatmengen, die in der konventionellen und ökologischen Praxis empfohlen werden. Nach unserer Einschätzung kann man mit sonst praxisüblichen geringeren Aussaatmengen (z.B. 20 kg pro ha bei Weidelgras statt 30 kg pro ha wie im Projekt) bei stimmigen Rahmenbedingungen ebenfalls eine erfolgreich auflaufende Untersaat verwirklichen.

## **7 Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlich erreichten Zielen**

### (1) Erreichte Ziele:

- Antragstext: „Der Versuch wird in Form einer zweifaktoriellen voll randomisierten Blockanlage etabliert mit dem Faktor Maissorte und dem Faktor Untersaatvariante“ In drei Jahren (2011, 2012, 2013) wurden entsprechende Feldversuche an den Standorten Reinshof und Wiebrechtshausen erfolgreich durchgeführt.
- Stetig erhobene Parameter: Spross-Trockenmasse der Untersaaten und Unkräuter, Deckungsgrade der Untersaaten und Unkräuter, Nmin im Boden, Wassergehalt des Bodens, Kornerträge der Maissorten, Blattgrünfärbung der Maisblätter (SPAD-Werte), Stickstoff-Gehalte im Maiskorn, Samenbankpotential mit Inkubationsversuchen im Gewächshaus.
- Erfolgreiche Zusammenarbeit zwischen der KWS Saat SE und der Georg-August-Universität Göttingen (Department für Nutzpflanzenwissenschaften) bei der Etablierung, Bestandespflege und Ernte der Feldversuche an allen Standorten.

### (2) Differenzen zum ursprünglichen Vorhaben gemäß Antragstext:

- Antragstext: „Im dritten Versuchsjahr (2013) soll ferner die Maishybride dazu genommen werden, die sich im Teilprojekt Züchtung (AP2) als Genotyp mit der besten Öko-Eignung, insbesondere mit dem besten Konkurrenzvermögen, erwiesen hat.“ Eine Maishybride wurde zur Verfügung gestellt (KXB 2111). Das Untersuchungsjahr 2013 war bundesweit von suboptimalen Witterungsbedingungen für den Maisanbau geprägt. In den Feldversuchen 2013 gestaltete sich die Bestandesführung u.a. deshalb als schwierig. Die Kornerträge waren relativ gering. Insbesondere KXB 2111 erwies sich im Spätsommer bei Sturm als wenig standfest. Die Ergebnisse dieser Maishybride fanden daher im Bericht keine Berücksichtigung.
- Antragstext: „Im dritten Versuchsjahr (2013) soll ferner die Maishybride dazu genommen werden, die sich im Teilprojekt Züchtung (AP2) als Genotyp mit der besten Öko-Eignung, insbesondere mit dem besten Konkurrenzvermögen, erwiesen hat.“ Im Untersuchungsjahr 2013 hätten nach ursprünglicher Planung vier statt drei Maissorten untersucht werden sollen. Die Feldversuche wären entsprechend größer ausgefallen. Die Arbeitserledigung während der Vegetationsperiode wäre jedoch unter diesen Umständen 2013 mit den zur Verfügung stehenden personellen und materiellen Ressourcen gefährdet gewesen. Deshalb ersetzte die zur Verfügung gestellte Maishybride KXB 2111 im letzten Untersuchungsjahr 2013 in Übereinstimmung aller Beteiligten die Sorte Ronaldinio.
- Im ursprünglichen Antrag waren nur sieben Untersaat-Varianten vorgesehen. Die Variante RPB „Mischsaat mit Buchweizen, Winterroggen und Wegwarte“ wurde hinzugefügt, da die Projektpartner diese Variante im Arbeitspaket 2 (Pflanzenzüchtung) zur „Unkraut-Simulation“ in Mais-Teilversuchen einsetzen.

## 8 Zusammenfassung

In den Untersuchungsjahren 2011 bis 2013 wurden an zwei Standorten im südlichen Niedersachsen (Reinshof, Wiebrechtshausen) faktorielle Feldversuche mit mehreren Maissorten und mit acht Untersaat-Varianten unter Bedingungen des ökologischen Landbaus durchgeführt. Die Maissorten unterschieden sich hinsichtlich Ihrer Eigenschaften (Reifezahl, Blattstellung, Jugendentwicklung).

Primäres Ziel der Feldversuche war die Erforschung des Unkrautunterdrückungsvermögens von Winterroggen, Welschem Weidelgras, Wegwarte, Erdklee und Buchweizen. Diese Arten wurden als Rein- oder Mischsaaten jeweils im Juni im Drillsaatverfahren zwischen den Maisreihen ausgebracht. Der Mais hatte zu diesem Zeitpunkt mindestens das 4-Blatt-Stadium erreicht. Im Mai nach der Maisaussaat wurden die Unkräuter praxisüblich durch striegeln und hacken reguliert. Die Wirkung der Untersaaten wurde ab Juli (nach dem Reihenschluss) bis in den Oktober (Kornernte Mais) untersucht. Erhoben wurden die Sprossmasse (ab August) und der Deckungsgrad (ab Juli) der verschiedenen Untersaaten sowie der autochthonen Unkräuter in den Varianten mit und ohne Untersaaten (Kontrolle). Ferner wurde bezüglich der Unkrautunterdrückung die effektivste Kombination einer Maissorte mit einer Untersaat-Variante identifiziert. Ein weiteres Ziel war es, Konkurrenzeffekte zwischen den Untersaaten und den Maissorten aufzudecken. Zu diesem Zweck wurden die SPAD-Werte der Maisblätter und die Korn-N-Gehalte der reifen Maiskörner untersucht. Zusätzlich wurden unter kontrollierten Bedingungen Keimversuche (ex situ) mit Böden aus den Feldversuchs-Schlägen angelegt (drei Jahre, zwei Standorte). Auflaufende Unkrautkeimlinge wurden gezählt und bestimmt. Daraus wurden Informationen zum Samenbankpotential am Standort abgeleitet.

Mit allen Untersaat-Varianten konnte die Sprossmasse der Unkräuter zwischen den Maisreihen verringert werden. Vor allem gegen die Spätverunkrautung im September und Oktober schienen die Untersaaten wirksam zu sein, aber bereits im Juli und August zeigten viele Untersaaten ein gutes Unkrautunterdrückungsvermögen.

Effektiv waren die Reinsaaten von Welschem Weidelgras (im Mittel 61 % weniger Unkraut-Sprossmasse als in der Kontrollvariante) Erdklee (im Mittel 57 % Reduktion) und Wegwarte (im Mittel 53 % Reduktion). Im September und Oktober erreichte Wegwarte Reduktionswerte von bis zu 63 %. Erdklee benötigte für eine ähnlich effektive Unkrautunterdrückung wie Weidelgras oder Wegwarte insgesamt weniger eigene Sprossmasse. Winterroggen war bei der Unkrautunterdrückung im August mäßig effektiv (im Mittel 33 % Reduktion). Später war Winterroggen ineffektiv, da die Pflanzen im Halbschatten unter Mais zumeist abstarben. Mischsaaten boten gegenüber Reinsaaten keinen entscheidenden Vorteil bei der Unkrautunterdrückung.

Von den drei getesteten Maissorten unterdrückte Ronaldinio in den ertragsstarken Jahren das Unkraut am besten. Colisee zeigte eine gute Jugendentwicklung, aber im August wuchs unter dieser Sorte am meisten Unkraut. Tendenziell erscheint eine Kombination der Maissorte Ronaldinio mit den Untersaaten Welches Weidelgras oder mit Erdklee optimal zur Unkrautunterdrückung.

Der Mais-Kornertrag variierte in den beiden ertragreichen Jahren 2011 und 2012 je nach Variante und Standort zwischen 125 und 144 dt TM ha<sup>-1</sup>. Im ertragsschwachen Jahr 2013 bewegte sich der Mais-Kornertrag zwischen 63 und 84 dt TM ha<sup>-1</sup>. Der Mais wurde in ertragreichen Jahren (2011, 2012) durch die Untersaaten kaum beeinflusst (max. 5 % Rückgang beim Kornertrag). Im ertragsschwachen Jahr 2013 war die Konkurrenz der Untersaaten für den Mais jedoch relativ hoch, bis zu 20 % Verluste beim Kornertrag wurden beobachtet. Zudem gab es Hinweise, dass die Untersaaten und die Unkräuter mit dem Mais um Nährstoffe konkurrieren. Messungen der Blattgrünfärbung (SPAD) und der N-Gehalte im Maiskorn zeigten stets geringe Unterschiede zwischen den Varianten mit und ohne Untersaat. Die Bodenwassergehalte und die nutzbaren Feldkapazitäten waren für die untersuchten Standorte (schluffiger Lehm oder Ton bzw. toniger Schluff bei Auenböden oder Parabraunerden) typisch. Es ist davon auszugehen, dass die Untersaaten in Bezug auf die Ressource Wasser den Mais nur geringfügig beeinflussten. Weit bedeutsamer für das Maiswachstum waren witterungsbedingte Trockenphasen.

In den Keimversuchen wurden insgesamt etwa 34 Arten bestimmt und etwa 6900 Keimlinge gezählt. Hohe Anteile entfielen auf Kamille, Weißen Gänsefuß, Vogelmiere, Ackerfuchsschwanz, Purpurrote Taubnessel und Acker-Senf. Rund 78 % aller aufgelaufenen Keimlinge entfielen auf diese sechs Arten. Die Verteilung der Arten war bezüglich der Orte heterogen. Häufig war zu erkennen, dass auf einzelnen Schlägen eine Akkumulation bestimmter Arten auftrat. Dies legt nahe, dass die Flächenbewirtschaftung in der Vergangenheit das Samenbankpotential stark beeinflusste.

## 9 Literaturverzeichnis

ABDIN, O.A., ZHOU, X.M., CLOUTIER, D., COULMAN, D.C. & D.L. SMITH, 2000: Cover crops and interrow tillage for weed control in a short season maize (*Zea mays*). European Journal of Agronomy 12, 93-102.

AD-HOC-AG BODEN, 2005: Bodenkundliche Kartieranleitung KA 5. Hrsg.: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe in Zusammenarbeit mit den Staatlichen Geologischen Diensten. 5. Auflage, Hannover.

ANONYMUS, 2005: Weed management in organic sweet corn. Hort. Science 40, 1071-1072.

BACKES, M.B., 2005: Methodische Probleme bei der Erstellung von Unkrautverteilungskarten mit Geoinformationssystemen (GIS). Dissertation, Universität Bonn.

BARESEL, J.P., 2010: Selektion von Erdklee, *Trifolium subterraneum*, auf Winterfestigkeit, Biomassebildung und Reifezeitpunkt unter deutschen Bedingungen. <http://www.bundesprogramm.de/fkz=09OE088>, besucht am 25. Februar 2011.

BARRY, T.N., 1998: The feeding value of chicory (*Cichorium intybus*) for ruminant livestock. Journal of Agricultural Science (Cambridge) 131, 251-257.

BARTELS, J., WAHMHOF, W. & R. HEITEFUß, 1983: So kann der Praktiker Schadensschwellen feststellen. Hinweise zur praktischen Anwendung von Schadensschwellen für Unkräuter im Getreide. DLG-Mitteilungen 5, 270-274.

BILALIS, D., PAPASTYLIANOU, P., KONSTANTAS, A., PATSIALI, S., KARKANIS, A. & A. EFTHIMIADOU, 2010: Weed-suppressive effects of maize-legume intercropping in organic farming. International Journal of Pest Management 56, 173-181.

BRUST, J., GERHARDS, R., KARANISA, T., RUFF, L. & A. KIPP, 2011: Warum Untersaaten und Zwischenfrüchte wieder Bedeutung zur Unkrautregulierung in Europäischen Ackerbausystemen bekommen. Gesunde Pflanzen 63, 191-198.

BÜCHTER, M., WACHENDORF, M., VOLKERS, K. & F. TAUBE, 2003: Silomaisanbau auf sandigen Böden Norddeutschlands: Einfluss von Untersaat, Gülle- und Mineral-N-Düngung auf den Nitrataustrag. Pflanzenbauwissenschaften 7, 64-74.

BESCHREIBENDE SORTENLISTE, 2013: Futtergräser, Esparsette, Klee, Luzerne. Bundessortenamt, Hannover.

DE CAUWER, B., D'HOSE, T., COUGNON, M., LEROY, B., BILCKE, R. & D. REHEUL, 2011: Impact of the quality of organic amendments on size and composition of the weed seed bank. *Weed Res.* 51, 250-260.

DE MOL, F., VON REDWITZ, C., SCHULTE, M. & B. GEROWITT, 2012: Unkrautzusammensetzung in Mais in Abhängigkeit von pflanzenbaulichem Management - Ergebnisse eines deutschlandweiten Monitorings in den Jahren 2002-2004. *Julius-Kühn-Archiv* 434, 655-662.

DEUTSCHER WETTERDIENST (DWD), 2013: Die Landwirtschaft litt erst und dem kalten, dann zu nassen Frühjahr. Abt. Agrarmeteorologie, Offenbach.

[http://www.dwd.de/DE/fachnutzer/landwirtschaft/berichte/3-2\\_\\_rueckblicke/2013/am\\_bericht\\_fruehling\\_2013\\_internet.html?nn=586880](http://www.dwd.de/DE/fachnutzer/landwirtschaft/berichte/3-2__rueckblicke/2013/am_bericht_fruehling_2013_internet.html?nn=586880)

Internetseite (pdf) abgerufen am 20.04.2016.

DEUTSCHER WETTERDIENST (DWD), 2016: Langjährige Mittelwerte.

[https://www.dwd.de/DE/leistungen/klimadatendeutschland/langj\\_mittelwerte.html?lsbld=343278](https://www.dwd.de/DE/leistungen/klimadatendeutschland/langj_mittelwerte.html?lsbld=343278)

Internetseite abgerufen am 20.04.2016.

EARL, H.J. & M. TOLLENAAR, 1997: Maize leaf absorptance of photosynthetically active radiation and its estimation using a chlorophyll meter. *Crop Sci.* 37, 436-440.

FEIL, B. & M. LIEDGENS, 2011: Pflanzenproduktion in lebenden Mulchen – eine Übersicht. *Pflanzenbauwissenschaften* 5, 15-23.

FOSTER, J.G., CASSIDA, K.A. & M.A. SANDERSON, 2011: Seasonal variation in sesquiterpene lactone concentration and composition of forage chicory (*Cichorium intybus* L.) cultivars. *Grass For. Sci.* 66, 424-433.

GRAB, R., 2003: Direkt- und Spätsaat von Silomais – Ein neues Anbausystem zur Reduzierung von Umweltgefährdungen und Anbauproblemen bei Optimierung der Erträge. Dissertation, Universität Kassel. Cuvillier Verlag, Göttingen.

GREEF, J.M., 2008: Mais. Entwicklung und Ertragsbildung. In: HANUS, H., HEYLAND, K. U. & E. R. KELLER: *Handbuch des Pflanzenbaus. Band 2 – Getreide und Futtergräser.* Ulmer-Verlag, Stuttgart.

HANUS, H., 2008: Mais. Ansprüche an den Boden. Ansprüche an das Klima. In: HANUS, H., HEYLAND, K. U. & E. R. KELLER: *Handbuch des Pflanzenbaus. Band 2 – Getreide und Futtergräser.* Ulmer-Verlag, Stuttgart.

HILTBRUNNER, J., JEANNERET, P., LIEDGENS, M., STAMP, P. & B. STREIT, 2007: Response of weed communities to legume living mulches in winter wheat. *J. Agron. Crop. Sci.* 193, 93-102.

HOFFMANN, G., 1991: VDLUFA-Methodenhandbuch Band 1. Die Untersuchung von Böden. Abschnitt A 6.1.4.1. Nmin-Labormethode. 4. Auflage. VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

HÖVERMANN J., 1963: Geographische Landesaufnahme 1:200.000 – Naturräumliche Gliederung Deutschlands. Blatt 99 – Göttingen. Bundesanstalt für Landeskunde und Raumordnung.

ILNICKI, R.D. & A.J. ENACHE, 1992: Subterranean clover living mulch: an alternative method of weed control. *Agric. Ecosyst. Environ.* 40, 249-264.

KLÄY, R., 1984: Untersaaten zu Mais. Dissertationsschrift ETH Zürich. 196 S.

KLINK, H.-J., 1969: Geographische Landesaufnahme 1:200.000 – Naturräumliche Gliederung Deutschlands. Blatt 112 – Kassel. Bundesanstalt für Landeskunde und Raumordnung.

KTBL, KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAUWESEN IN DER LANDWIRTSCHAFT, 2009: Faustzahlen für die Landwirtschaft. KTBL Darmstadt (Hrsg.), 14. Auflage.

LI, G.D., KEMP, P.D. & J. HODGSON, 1997: Herbage production and persistence of Puna chicory (*Cichorium intybus* L.) under grazing management over 4 years. *N. Z. J. Agricult. Res.* 40, 51-56.

LINHART, E. & A.-K. DHUNGEL, 2013: Das Thema Vermaisung im öffentlichen Diskurs. *Berichte über Landwirtschaft* 91, 1-21.

MEHRTENS, J., SCHULTE, M. & K. HURLE, 2005: Unkrautflora in Mais, *Gesunde Pflanzen* 57, 206-218.

MOONEN, A.C. & P. BARBERI, 2004: Size and composition of the weed seedbank after 7 years of different cover-crop-maize management systems. *Weed Research* 44, 163-177.

MURPHY, S.D., YAKUBU, Y., WEISE, S.F. & C.J. SWANTON, 1996: Effect of planting patterns and inter-row cultivation on competition between corn (*Zea mays*) and late emerging weeds. *Weed Science* 44, 865-870.

NIBIS-KARTENSERVEN, 2016: Bodenschätzungskarte 1:5.000 sowie Bodenübersichtskarten 1:50.000 und 1:500.000. Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie. Geozentrum Hannover. URL: <http://nibis.lbeg.de/cardomap3/?TH=BGL500>.

PICKERT, J., 2008: Mais, Untersaaten. In: HANUS, H., HEYLAND, K. U. & E. R. KELLER: Handbuch des Pflanzenbaus. Band 2 – Getreide und Futtergräser. Ulmer-Verlag, Stuttgart.

PIEKELEK, W.P., FOX, F.H., TOTH, J.D. & K.E. MCNEAL, 1995: Use of a chlorophyll meter at early stage of corn to evaluate nitrogen sufficiency. Agron. J. 87, 403-408.

RATH, J., 2016: Deutsches Maiskomitee e.V. (DMK), Bonn.  
<http://www.maiskomitee.de/web/public/Fakten.aspx/Statistik/Deutschland/Flächenerträge>  
Internetseite abgerufen am 20.04.2016.

RATH, J., 2014: Sortenversuche Silomais und Körnermais Ökologischer Landbau – Mais 2013 – Versuchsergebnisse. Deutsches Maiskomitee und Pro-Corn, Bonn.

ROMUNDT, H., 2013: Untersaaten in Mais – so gelingen sie. Top Agrar 4/2013, 104-109.

RÜCKERT, S., 2010: Untersaaten zur Unterdrückung der Verunkrautung in Mais. Masterarbeit, Fakultät für Agrarwissenschaften, Universität Göttingen.

RÜCKERT, S. & RAUBER, R., 2010: Starke Untersaat - schwaches Unkraut. Bioland, 6/2010, 9-10.

RUMBALL, W., SKIP, R.A., KEOGH, R.G. & R.B. CLAYDON, 2003: 'Puna II' forage chicory (*Cichorium intybus* L.) N. Z. J. Agricult. Res. 46, 53-55.

SCHMIDT, W. & H. BURGER, 2010: Maissorten für den Ökoanbau. Mais 1/2010, 18-21.

STEMANN, G., LÜTKE-ENTRUP, N. & F.-F. GRÖBLINGHOFF, 1993: Maisanbau mit Gras-Untersaat – ein Baustein zu mehr Umweltschutz. Gesunde Pflanzen 45, 171.

TIMLIN, D.J., FLEISHER, D.H., KEMANIAN, A.R. & V.R. REDDY, 2014: Plant Density and Leaf Area Index Effects on the Distribution of Light Transmittance to the Soil Surface in Maize. Agron. J. 106, 1828-1837.

THOMAS, E., 2006: Feldversuchswesen. Ulmer-Verlag, Stuttgart.

UCHINO, H., IWAMA, K., JITSUYAMA, Y., YUDATE, T. & S. NAKAMURA, 2009: Yield losses of soybean and maize by competition with interseeded cover crops and weeds in organic-based cropping systems. *Field Crops Research* 113, 342-351.

UCHINO, H., IWAMA, K., JITSUYAMA, Y., ICHIYAMA, K., SUGIURA, E., YUDATE, T., NAKAMURA, S. & J. GOPAL, 2012: Effect of interseeding cover crops and fertilization on weed suppression under an organic and rotational cropping system. 1. Stability of weed suppression over years and main crops of potato, maize and soybean. *Field Crops Research* 127, 9-16.

UCHINO H., IWAMA, K., JITSUYAMA, Y., ICHIYAMA, K., YUDATE, T., NAKAMURA, S. & J. GOPAL, 2015: Interseeding a cover crop as a weed management tool is more compatible with soybean than with maize in organic farming systems. *Plant Prod. Sci.* 18, 187-196.

UDDLING, J.; GELANG-ALFREDSSON, J., PIIKKI, K. & H. PLEIJEL, 2007: Evaluating the relationship between leaf chlorophyll concentration and SPAD-502 chlorophyll meter readings. *Photosynth. Res.* 91, 37-46.

WANG, S., 2001: Einfluss von Blattstellung und Bestandesdichte auf Ertrag, Qualität, Lichtaufnahme und Blattflächenindex bei Silomaisorten verschiedenen Wuchstyps. Dissertation, Humboldt-Universität Berlin.

WRRL, 2000: Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik, *ABl. L 327* vom 22.12.2000.

YENISH, J.P., WORSHAM, A.D. & A.C. YORK, 1996: Cover crops for herbicide replacement in no-tillage corn (*Zea mays*). *Weed Technology* 10, 815-821.

## **10 Übersicht über alle im Berichtszeitraum vom Projektnehmer realisierten Veröffentlichungen zum Projekt, bisherige und geplante Aktivitäten zur Verbreitung der Ergebnisse**

### **Fachartikel:**

JUNG, R. & R. RAUBER, 2013a: Möglichkeiten und Grenzen der Unkrautreduzierung durch Untersaaten in Mais. In: Neuhoff, D.; Stumm, C.; Ziegler, S.; Rahmann, G.; Hamm U. & U.Köpke (Hrsg.): Beiträge zur 12. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. 320-321. Verlag Dr. Köster, Berlin.

JUNG, R. & R. RAUBER, 2013b: Regulation von Unkräutern im ökologischen Maisanbau durch Untersaaten. Mitt. Ges. Pflanzenbauwissenschaften 25, 329-330.

JUNG, R. & R. RAUBER, 2013c: Competition of interseeded cover crops and weeds in organic maize farming. p. 76. In: BECKER, H., SCHIERHOLT, A., VON WITZKE-EHBRECHT, S., HIPPE, S., LINK, W. & H. BRANDES: Breeding for Nutrient Efficiency. Joint Meeting of Eucarpia-Section Organic & Low-Input Agriculture and EU NUE-CROPS Project. Conference Booklet, Göttingen.

JUNG, R. & R. RAUBER, 2013d: Organic maize farming: Interseeded cover crops for weed suppression. p. 102. In: BECKER, H., SCHIERHOLT, A., VON WITZKE-EHBRECHT, S., HIPPE, S., LINK, W. & H. BRANDES: Breeding for Nutrient Efficiency. Joint Meeting of Eucarpia-Section Organic & Low-Input Agriculture and EU NUE-CROPS Project. Conference Booklet, Göttingen.

JUNG, R., 2013: Untermieter für den Mais. Bauernzeitung, 15/2013, 22-24.

JUNG, R. & R. RAUBER, 2012: Reduzierung der Verunkrautung durch Untersaaten in Ökomais. Mitt. Ges. Pflanzenbauwissenschaften 24, 264-265.

JUNG, R., STEVER, M., BURGER, H., SCHMIDT, W., RAUBER, R. & H. BECKER, 2012: Untersaaten mit zusätzlichem Nutzen - Entwicklung von Untersaaten und Untersaatenmischungen zur Reduzierung des Beikrautdruckes. Landwirtschaft ohne Pflug 05/2012, 32-37.

Ein zusammenfassender Text dieses Artikels ist im Internet im Portal [www.oekolandbau.de](http://www.oekolandbau.de) veröffentlicht:

<https://www.oekolandbau.de/erzeuger/pflanzenbau/spezieller-pflanzenbau/hackfruechte/mais/untersaaten-halten-das-unkraut-in-schach/>

### **Posterpräsentationen** (JUNG et al.)

- Joint Meeting of Eucarpia Section Organic & Low-Input Agriculture“ vom 24. bis 26. September 2013 in Göttingen.
- 56. Jahrestagung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften vom 4. bis 6. September 2013 in Weihenstephan.
- 55. Jahrestagung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften vom 24. bis 27. September 2013 in Berlin.

### **Vorträge R. Jung**

- 12. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau vom 5. bis 8. März 2013 in Bonn.
- Öko-Maisfeldtag, KWS-Klostergut Wiebrechtshausen, 21. September 2011. Darstellung und Präsentation der faktoriellen Feldversuche.
- Öko-Maisfeldtag, KWS-Klostergut Wiebrechtshausen, 20. September 2012. Darstellung und Präsentation der faktoriellen Feldversuche.
- Öko-Maisfeldtag, KWS-Klostergut Wiebrechtshausen, 10. September 2013. Darstellung und Präsentation der faktoriellen Feldversuche sowie Darstellung der Projektziele in gesonderten Demonstrationsparzellen.
- Exkursion des wissenschaftlichen Fachpublikums zum Klostergut Wiebrechtshausen (25. September 2013) im Rahmen der Tagung „Joint Meeting of Eucarpia Section Organic & Low-Input Agriculture“ vom 24. bis 26. September 2013 in Göttingen. Erläuterung der Projektziele in Demonstrationsversuchen sowie Darstellung und Präsentation der faktoriellen Feldversuche.

### **Sonstiges**

Darstellung und Beschreibung des vorliegenden Teilprojektes der Abteilung Pflanzenbau in Feldversuchsführern der Georg-August-Universität Göttingen.

Online hier abrufbar:

<http://www.uni-goettingen.de/de/2013/429712.html>

<http://www.uni-goettingen.de/de/2012/318644.html>

<http://www.uni-goettingen.de/de/2011/318643.html>

### **Geplant**

Verbreitung der Ergebnisse mit BÖLN-Merkblatt

Ausarbeitung wissenschaftlicher Fachartikel für internationale Fachzeitschriften

**11 Anhang**

Tab. A1: Termine für die Aussaat der geprüften Körnermais-Sorten im Feldversuch.

<b>Standort</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>
Reinshof	11. Mai	10. Mai	6. Mai
Wiebrechtshausen	2. Mai	4. Mai	6. Mai

Tab. A2: Termine für die Aussaat der geprüften Untersaat-Arten im Feldversuch.

<b>Standort</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>
Reinshof	15. Juni	12. Juni	13. Juni
Wiebrechtshausen	7. Juni	11. Juni	19. Juni

Tab. A3: Termine zur Entnahme von Sprossmasse zur Ermittlung der Untersaat- und Unkraut-Trockenmassen. Angabe in Klammern: Anzahl Tage nach Aussaat der Untersaaten.

<b>Standort</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>
Reinshof			
- Zeiternte 1	02.08. (47 Tage)	07.08. (56 Tage)	05.08. (53 Tage)
- Zeiternte 2	12.09. (88 Tage)	12.09. (92 Tage)	18.09. (97 Tage)
- Zeiternte 3	17.10. (123 Tage)	10.10. (120 Tage)	21.10. (130 Tage)
Wiebrechtshausen			
- Zeiternte 1	26.07. (49 Tage)	30.07. (50 Tage)	12.08. (54 Tage)
- Zeiternte 2	07.09. (92 Tage)	10.09. (91 Tage)	16.09. (89 Tage)
- Zeiternte 3	11.10. (126 Tage)	08.10. (119 Tage)	16.10. (119 Tage)

Tab. A4: Messtermine zur Ermittlung der relativen Grünfärbung der Maisblätter. Nicht-destruktive Messung mit dem Gerät „SPAD-502“ (Fa. Konica-Minolta).

<b>Standort</b>		<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>
Reinshof	Juli	19.07.	17.07.	06.07.
	August	17.08.	17.08.	02.08.
	September	21.09.	15.09.	13.09.
	Oktober	23.10.	16.10.	n.e.*
Wiebrechtshausen	Juli	18.07.	16.07.	17.07.
	August	15.08.	16.08.	14.08.
	September	23.09.	17.09.	13.09.
	Oktober	22.10.	18.10.	n.e.*

\* Maisblätter abgestorben durch Frost

Tab. A5: Entnahme von Bodenproben zur Ermittlung von N<sub>min</sub> sowie der aktuellen Boden-Wassergehalte.

<b>Standort</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>
<b>Reinshof</b>			
vor Düngung	21.03. (bis 90 cm)	12.03. (bis 90 cm)	19.03. (bis 60 cm)
zur Aussaat Mais	20.05. (bis 90 cm)	14.05. (bis 90 cm)	04.06. (bis 90 cm)
zur Zeiternte 1	03.08. (bis 60 cm)	07.08. (bis 60 cm)	05.08. (bis 60 cm)
zur Zeiternte 2	12.09. (bis 60 cm)	12.09. (bis 60 cm)	18.09. (bis 60 cm)
nach letzter Ernte	31.10. (bis 90 cm)	05.11. (bis 90 cm)	11.11. (bis 90 cm)
<b>Wiebrechtshausen</b>			
zur Aussaat Mais	16.05. (bis 90 cm)	23.05. (bis 90 cm)	16.05. (bis 90 cm)
zur Zeiternte 1	27.07. (bis 60 cm)	31.07. (bis 60 cm)	14.08. (bis 60 cm)
zur Zeiternte 2	07.09. (bis 60 cm)	12.09. (bis 60 cm)	16.09. (bis 60 cm)
nach letzter Ernte	08.11. (bis 90 cm)	01.11. (bis 90 cm)	06.11. (bis 90 cm)

Tab. A6: Termine für die Bestimmung des Bodenbedeckungsgrades der geprüften Untersaaten und der autochthonen Unkräuter mit dem „Göttinger Schätzrahmen“.

<b>Standort</b>		<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>
Reinshof	Juli	20.07.	13.07.	11.07.
	August	17.08.	10.08.	08.08.
	September	14.09.	07.09.	05.09.
	Oktober	12.10.	05.10.	03.10.
Wiebrechtshausen	Juli	11.07.	12.07.	17.07.
	August	10.08.	09.08.	14.08.
	September	08.09.	06.09.	12.09.
	Oktober	05.10.	04.10.	09.10.

Tab. A7: Erntetermine für Körnermais. In Klammer: Tage nach Aussaat des Maises. Durchführung mit Maisparzellenernter (Fa. Haldrup, Arbeitsbreite 1,5 m) durch Fa. KWS Saat SE. Erntefläche pro Parzelle: ca. 9 m<sup>2</sup>.

<b>Standort</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>
Reinshof	27.10. (170 Tage)	01.11. (175 Tage)	05.11. (183 Tage)
Wiebrechtshausen	28.10. (179 Tage)	29.10. (178 Tage)	30.10. (176 Tage)

Tab. A8: Erntetermine für Körnermais zur Bestimmung und Differenzierung der Stickstoff-Gehalte in Spross und Korn. Manuelle Ernte von je vier Einzelpflanzen pro Parzelle, zufällig ausgewählt. In Klammer: Tage nach Aussaat des Maises.

<b>Standort</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>
Reinshof	20.10. (163 Tage)	24.10. (167 Tage)	04.11. (182 Tage)
Wiebrechtshausen	19.10. (170 Tage)	22.10. (171 Tage)	28.10. (174 Tage)

## LP 159 - Reinshof 2011

Block 4		Block 3		Block 2		Block 1	
91	RON_W	90	RIC_P	31	RIC_RPB	30	RON_K
92	COL_OO	89	COL_OU	32	COL_OU	29	RIC_RP
93	RIC_OO	88	COL_WP	33	RIC_P	28	RON_WP
94	COL_RP	87	RIC_OU	34	RON_P	27	RIC_R
95	RIC_OU	86	RIC_RPB	35	RIC_KP	26	COL_RP
96	RIC_W	85	RON_OO	36	RON_RPB	25	COL_P
97	RON_KP	84	RIC_WP	37	RIC_OU	24	COL_OO
98	RON_OU	83	RIC_OO	38	COL_RP	23	RON_KP
99	RON_P	82	RON_R	39	COL_W	22	COL_OU
100	COL_WP	81	RON_P	40	RON_K	21	RON_RPB
101	RIC_RPB	80	COL_P	41	RON_KP	20	RIC_K
102	COL_KP	79	COL_R	42	RON_OU	19	RON_RP
103	RIC_R	78	RIC_KP	43	RON_WP	18	RIC_RPB
104	COL_RPB	77	RIC_K	44	RIC_W	17	COL_RPB
105	RIC_WP	76	RON_OU	45	COL_WP	16	COL_K
106	COL_OU	75	COL_RPB	46	RIC_K	15	RIC_OO
107	RON_K	74	RIC_RP	47	RIC_R	14	RIC_WP
108	RON_R	73	COL_RP	48	RIC_RP	13	RON_OO
109	RON_RPB	72	RON_KP	49	COL_RPB	12	RIC_KP
110	RIC_P	71	RON_RP	50	COL_KP	11	COL_R
111	RIC_KP	70	RIC_R	51	RON_RP	10	RON_P
112	COL_K	69	COL_OO	52	RON_OO	9	RON_R
113	RON_WP	68	RIC_W	53	COL_P	8	RON_OU
114	RIC_RP	67	RON_W	54	RIC_WP	7	RIC_W
115	COL_W	66	COL_KP	55	RON_W	6	COL_WP
116	RON_OO	65	RON_WP	56	RON_R	5	COL_KP
117	COL_R	64	COL_W	57	RIC_OO	4	RIC_OU
118	RON_RP	63	RON_K	58	COL_OO	3	COL_W
119	COL_P	62	RON_RPB	59	COL_R	2	RON_W
120	RIC_K	61	COL_K	60	COL_K	1	RIC_P

Abb. A1: Feldplan der randomisierten Blockanlage mit vier Wiederholungen (Block 1 bis 4) für den Standort Reinshof im Jahr 2011. Geprüft wurden drei Maissorten (RIC: Ricardinio, COL: Colisee, RON: Ronaldinio) in Kombination mit acht Untersaat-Varianten (R: Winterroggen, W: Welsches Weidelgras, K: Erdklee, P: Wegwarte, RP: Winterroggen mit Wegwarte, WP: Weidelgras mit Wegwarte, KP: Erdklee mit Wegwarte, RPB: Winterroggen mit Wegwarte und Buchweizen) sowie zwei Kontroll-Varianten ohne Untersaaten (OO: regelmäßige manuelle Unkrautregulierung bis Oktober; OU: keine manuelle Unkrautregulierung bis Oktober).

## LP 159 - Wiebrechtshausen 2011

Block 4	94520	519	518	517	516	94515
	COL_W	RIC_W	COL_KP	RIC_R	COL_RP	RON_OO
	94509	510	511	512	513	94514
	RIC_K	RON_OU	RON_P	RON_W	COL_OU	RIC_RPB
	94508	507	506	505	504	94503
COL_RPB	RON_RPB	COL_WP	RON_WP	RIC_KP	RIC_P	
Block 3	94497	498	499	500	501	94502
	RIC_WP	RIC_RP	RON_RP	RON_R	COL_P	RON_KP
	94496	495	494	493	492	94491
	RON_K	RIC_OU	RIC_OO	COL_R	COL_OO	COL_K
	94485	486	487	488	489	94490
RIC_W	COL_WP	RIC_OU	COL_OU	COL_P	RIC_RPB	
Block 2	94484	483	482	481	480	94479
	COL_R	COL_W	COL_OO	COL_RPB	RON_WP	RIC_WP
	94473	474	475	476	477	94478
	RIC_KP	COL_KP	RIC_R	COL_RP	RON_W	RON_OO
	94472	471	470	469	468	94467
RIC_OO	RON_P	RON_OU	RON_R	RON_KP	RON_K	
Block 1	94461	462	463	464	465	94466
	RIC_RP	RON_RPB	RIC_K	RON_RP	RIC_P	COL_K
	94460	459	458	457	456	94455
	COL_K	RIC_K	RIC_RPB	RIC_WP	RON_RP	COL_R
	94449	450	451	452	453	94454
RON_RPB	RON_KP	RON_R	RIC_P	COL_W	RON_OO	
Block 1	94448	447	446	445	444	94443
	COL_WP	COL_OO	RIC_KP	RIC_OU	RON_P	COL_OU
	94437	438	439	440	441	94442
	RON_K	COL_RP	RIC_W	COL_P	RIC_R	RON_OU
	94436	435	434	433	432	94431
COL_KP	RIC_OO	COL_RPB	RON_WP	RON_W	RIC_RP	
Block 1	94425	426	427	428	429	94430
	COL_K	COL_W	RON_OU	RON_W	RIC_KP	RON_K
	94424	423	422	421	420	94419
	COL_OO	COL_RP	RON_KP	COL_KP	RON_RPB	RIC_WP
	94413	414	415	416	417	94418
RON_RP	RIC_RP	COL_RPB	RIC_R	RIC_K	RIC_OU	
Block 1	94412	411	410	409	408	94407
	RON_WP	COL_R	COL_P	RON_R	RIC_RPB	RIC_W
Block 1	94401	402	403	404	405	94406
	RIC_P	RON_P	RIC_OO	COL_WP	RON_OO	COL_OU

Abb. A2: Feldplan der randomisierten Blockanlage mit vier Wiederholungen (Block 1 bis 4) für den Standort Wiebrechtshausen im Jahr 2011. Geprüft wurden drei Maissorten (RIC: Ricardinio, COL: Colisee, RON: Ronaldinio) in Kombination mit acht Untersaat-Varianten (R: Winterroggen, W: Welsches Weidelgras, K: Erdklee, P: Wegwarte, RP: Winterroggen mit Wegwarte, WP: Weidelgras mit Wegwarte, KP: Erdklee mit Wegwarte, RPB: Winterroggen mit Wegwarte und Buchweizen) sowie zwei Kontroll-Varianten ohne Untersaaten (OO: regelmäßige manuelle Unkrautregulierung bis Oktober; OU: keine manuelle Unkrautregulierung bis Oktober).

## LP 165 Reins Hof 2012

<b>Block 4</b>	19920 RIC_P	119 COL_OU	118 COL_WP	117 RIC_OU	116 RIC_RPB	115 RON_OO
	109 COL_R	110 COL_P	111 RON_P	112 RON_R	113 RIC_OO	114 RIC_WP
	108 RIC_KP	107 RIC_K	106 RON_OU	105 COL_RPB	104 RIC_RP	103 COL_RP
	097 RON_W	098 RIC_W	099 COL_OO	100 RIC_R	101 RON_RP	102 RON_KP
	096 COL_KP	095 RON_WP	094 COL_W	093 RON_K	092 RON_RPB	091 COL_K
<b>Block 3</b>	085 RON_W	486 RON_R	087 RIC_OO	088 COL_OO	089 COL_R	090 COL_K
	084 RIC_WP	083 COL_P	082 RON_OO	081 RON_RP	080 COL_KP	079 COL_RPB
	073 RON_WP	074 RIC_W	075 COL_WP	076 RIC_K	077 RIC_R	078 RIC_RP
	072 RON_OU	071 RON_KP	070 RON_K	069 COL_W	068 COL_RP	067 RIC_OU
	061 RIC_RPB	062 COL_OU	063 RIC_P	064 RON_P	065 RIC_KP	066 RON_RPB
<b>Block 2</b>	060 RON_K	059 RIC_RP	058 RON_WP	057 RIC_R	056 COL_RP	055 COL_P
	049 RON_RP	050 RIC_K	051 RON_RPB	052 COL_OU	053 RON_KP	054 COL_OO
	048 RIC_RPB	047 COL_RPB	046 COL_K	045 RIC_OO	044 RIC_WP	043 RON_OO
	037 RIC_W	038 RON_OU	039 RON_R	040 RON_P	041 COL_R	042 RIC_KP
	036 COL_WP	035 COL_KP	034 RIC_OU	033 COL_W	032 RON_W	031 RIC_P
<b>Block 1</b>	025 RON_P	026 RON_K	027 RIC_R	028 RON_W	029 COL_W	030 RIC_RPB
	024 RON_RP	023 COL_K	022 COL_P	021 RIC_RP	020 RON_OU	019 COL_WP
	013 RIC_KP	014 COL_RPB	015 RON_R	016 COL_KP	017 COL_OO	018 COL_OU
	012 RIC_P	011 RON_KP	010 RIC_OU	009 RON_WP	008 RIC_W	007 COL_R
	19801 RON_RPB	002 RIC_K	003 RIC_OO	004 COL_RP	005 RIC_WP	006 RON_OO

Abb. A3: Feldplan der randomisierten Blockanlage mit vier Wiederholungen (Block 1 bis 4) für den Standort Reins Hof im Jahr 2012. Geprüft wurden drei Maissorten (RIC: Ricardinio, COL: Colisee, RON: Ronaldinio) in Kombination mit acht Untersaat-Varianten (R: Winterroggen, W: Welsches Weidelgras, K: Erdklee, P: Wegwarte, RP: Winterroggen mit Wegwarte, WP: Weidelgras mit Wegwarte, KP: Erdklee mit Wegwarte, RPB: Winterroggen mit Wegwarte und Buchweizen) sowie zwei Kontroll-Varianten ohne Untersaaten (OO: regelmäßige manuelle Unkrautregulierung bis Oktober; OU: keine manuelle Unkrautregulierung bis Oktober).

## LP 165 Wiebrechtshausen 2012

<b>Block 4</b>	99320 RIC_RPB	119 COL_P	118 COL_OU	117 RIC_OU	116 COL_WP	115 RIC_W
	109 RIC_WP	110 RON_WP	111 COL_RPB	112 COL_OO	113 COL_W	114 COL_R
	108 RON_OO	107 RON_W	106 COL_RP	105 RIC_R	104 COL_KP	103 RIC_KP
	097 RON_K	098 RON_KP	099 RON_R	100 RON_OU	101 RON_P	102 RIC_OO
	096 COL_K	095 RIC_P	094 RON_RP	093 RIC_K	092 RON_RPB	091 RIC_RP
<b>Block 3</b>	085 COL_R	086 RON_RP	087 RIC_WP	088 RIC_RPB	089 RIC_K	090 COL_K
	084 RON_OO	083 COL_W	082 RIC_P	081 RON_R	080 RON_KP	079 RON_RPB
	073 COL_OU	074 RON_P	075 RIC_OU	076 RIC_KP	077 COL_OO	078 COL_WP
	072 RON_OU	071 RIC_R	070 COL_P	069 RIC_W	068 COL_RP	067 RON_K
	061 RIC_RP	062 RON_W	063 RON_WP	064 COL_RPB	065 RIC_OO	066 COL_KP
<b>Block 2</b>	060 RON_K	059 RIC_KP	058 RON_W	057 RON_OU	056 COL_W	055 COL_K
	049 RIC_WP	050 RON_RPB	051 COL_KP	052 RON_KP	053 COL_RP	054 COL_OO
	048 RIC_OU	047 RIC_K	046 RIC_R	045 COL_RPB	044 RIC_RP	043 RON_RP
	037 RIC_W	038 RIC_RPB	039 RON_R	040 COL_P	041 COL_R	042 RON_WP
	036 COL_OU	035 RON_OO	034 COL_WP	033 RIC_OO	032 RON_P	031 RIC_P
<b>Block 1</b>	025 RON_OO	026 COL_RPB	027 COL_P	028 RIC_WP	029 RON_RP	030 RIC_W
	024 RON_KP	023 RON_WP	022 RIC_P	021 COL_W	020 COL_R	019 RON_W
	013 RON_OU	014 COL_OO	015 RIC_OU	016 COL_WP	017 RIC_OO	018 COL_K
	012 RIC_RPB	011 RIC_RP	010 COL_OU	009 RIC_KP	008 RIC_R	007 RIC_K
	99201 RON_P	002 COL_RP	003 RON_RPB	004 COL_KP	005 RON_R	006 RON_K

Abb. A4: Feldplan der randomisierten Blockanlage mit vier Wiederholungen (Block 1 bis 4) für den Standort Wiebrechtshausen im Jahr 2012. Geprüft wurden drei Maissorten (RIC: Ricardinio, COL: Colisee, RON: Ronaldinio) in Kombination mit acht Untersaat-Varianten (R: Winterroggen, W: Welsches Weidelgras, K: Erdklee, P: Wegwarte, RP: Winterroggen mit Wegwarte, WP: Weidelgras mit Wegwarte, KP: Erdklee mit Wegwarte, RPB: Winterroggen mit Wegwarte und Buchweizen) sowie zwei Kontroll-Varianten ohne Untersaaten (OO: regelmäßige manuelle Unkrautregulierung bis Oktober; OU: keine manuelle Unkrautregulierung bis Oktober).

LP 145 - Reinshof 2013

Block 4	120 RIC W	119 COL KP	118 COL C	117 RIC C	116 RIC WP	115 KXB OU
	109 COL OO	110 COL RPB	111 KXB P	112 KXB W	113 RIC OO	114 RIC K
	108 RIC CS	107 RIC P	106 KXB CS	105 COL WP	104 RIC OU	103 COL W
	097 KXB OO	098 RIC RPB	099 COL P	100 RIC KP	101 KXB WP	102 KXB C
	096 COL OU	095 KXB RPB	094 COL K	093 KXB KP	092 KXB K	091 COL CS
Block 3	085 KXB OU	086 KXB OO	087 RIC OO	088 COL WP	089 COL K	090 COL OU
	084 RIC OU	083 COL P	082 KXB KP	081 KXB K	080 COL KP	079 COL C
	073 KXB C	074 RIC P	075 COL OO	076 RIC W	077 RIC WP	078 RIC CS
	072 KXB RPB	071 KXB CS	070 KXB P	069 COL RPB	068 COL W	067 RIC C
	061 RIC RPB	062 COL CS	063 RIC KP	064 KXB W	065 RIC K	066 KXB WP
Block 2	060 KXB C	059 RIC C	058 KXB OO	057 RIC W	056 COL W	055 COL P
	049 KXB RPB	050 RIC WP	051 KXB CS	052 COL OU	053 KXB K	054 COL WP
	048 RIC CS	047 COL CS	046 COL KP	045 RIC P	044 RIC RPB	043 KXB W
	037 RIC OU	038 KXB KP	039 KXB WP	040 KXB P	041 COL OO	042 RIC OO
	036 COL RPB	035 COL K	034 RIC KP	033 COL C	032 KXB OU	031 RIC K
Block 1	025 KXB P	026 KXB C	027 RIC W	028 KXB OU	029 COL OU	030 RIC WP
	024 KXB CS	023 COL OO	022 COL K	021 RIC OO	020 KXB W	019 COL C
	013 RIC C	014 COL RPB	015 KXB OO	016 COL P	017 COL CS	018 COL W
	012 RIC KP	011 KXB WP	010 RIC K	009 KXB K	008 RIC OU	007 COL KP
	001 KXB RPB	002 RIC P	003 RIC RPB	004 COL WP	005 RIC CS	006 KXB KP

Abb. A5: Feldplan der randomisierten Blockanlage mit vier Wiederholungen (Block 1 bis 4) für den Standort Reinshof im Jahr 2013. Geprüft wurden drei Maissorten (RIC: Ricardinio, COL: Colisee, KXB: KXB 2111) in Kombination mit acht Untersaat-Varianten (C: Riesen Kürbis, W: Welsches Weidelgras, K: Erdklee, P: Wegwarte, CS: Riesen Kürbis neben Stangenbohne, WP: Weidelgras mit Wegwarte, KP: Erdklee mit Wegwarte, RPB: Winterroggen mit Wegwarte und Buchweizen) sowie zwei Kontroll-Varianten ohne Untersaaten (OO: regelmäßige manuelle Unkrautregulierung bis Oktober; OU: keine manuelle Unkrautregulierung bis Oktober).

LP 145 - Wiebrechtshausen 2013

Block 4	120	RIC WP	119	COL OO	118	COL RPB	117	RIC KP	116	COL P	115	RIC W
	109	RIC CS	110	KXB W	111	COL OU	112	COL K	113	COL WP	114	COL CS
	108	KXB OO	107	KXB RPB	106	COL W	105	RIC OU	104	COL C	103	RIC P
	097	KXB WP	098	KXB OU	099	KXB CS	100	KXB KP	101	KXB C	102	RIC C
	096	COL KP	095	RIC RPB	094	KXB K	093	RIC K	092	KXB P	091	RIC OO
Block 3	085	COL RPB	086	KXB P	087	RIC WP	088	RIC P	089	RIC K	090	COL W
	084	KXB WP	083	COL K	082	RIC KP	081	KXB KP	080	KXB C	079	KXB OU
	073	COL KP	074	KXB K	075	RIC OO	076	RIC CS	077	COL OU	078	COL C
	072	KXB CS	071	RIC RPB	070	COL OO	069	RIC W	068	COL CS	067	KXB OO
	061	RIC OU	062	KXB W	063	KXB RPB	064	COL WP	065	RIC C	066	COL P
Block 2	060	KXB C	059	RIC OU	058	KXB KP	057	KXB OU	056	COL W	055	COL OO
	049	RIC W	050	KXB RPB	051	COL C	052	KXB OO	053	COL OU	054	COL K
	048	RIC WP	047	RIC RPB	046	RIC OO	045	COL KP	044	RIC C	043	KXB WP
	037	RIC CS	038	RIC P	039	KXB W	040	COL P	041	COL CS	042	KXB CS
	036	COL RPB	035	KXB K	034	COL WP	033	RIC K	032	KXB P	031	RIC KP
Block 1	025	KXB KP	026	COL P	027	COL RPB	028	RIC CS	029	KXB OO	030	RIC K
	024	KXB K	023	KXB RPB	022	RIC OU	021	COL C	020	COL CS	019	KXB W
	013	KXB OU	014	COL K	015	RIC P	016	COL OO	017	RIC RPB	018	COL WP
	012	RIC C	011	RIC W	010	COL OU	009	RIC WP	008	RIC KP	007	RIC OO
	001	KXB P	002	COL W	003	KXB WP	004	COL KP	005	KXB CS	006	KXB C

Abb. A6: Feldplan der randomisierten Blockanlage mit vier Wiederholungen (Block 1 bis 4) für den Standort Wiebrechtshausen im Jahr 2013. Geprüft wurden drei Maissorten (RIC: Ricardinio, COL: Colisee, KXB: KXB 2111) in Kombination mit acht Untersaat-Varianten (C: Riesen Kürbis, W: Welsches Weidelgras, K: Erdklee, P: Wegwarte, CS: Riesen Kürbis neben Stangenbohne, WP: Weidelgras mit Wegwarte, KP: Erdklee mit Wegwarte, RPB: Winterroggen mit Wegwarte und Buchweizen) sowie zwei Kontroll-Varianten ohne Untersaaten (OO: regelmäßige manuelle Unkrautregulierung bis Oktober; OU: keine manuelle Unkrautregulierung bis Oktober).

**Verzeichnis der Tabellen**

**Tab. 1:** Bodenphysikalische und bodenchemische Basisdaten \_\_\_\_\_ 8

**Tab. 2:** Maissorten der Fa. KWS Saat SE, die in den Feldversuchen an den Standorten Reinshof und Wiebrechtshausen zwischen den Jahren 2011 und 2013 eingesetzt wurden \_\_\_\_\_ 13

**Tab. 3:** Untersaat-Varianten, die in den Feldversuchen an den Standorten Reinshof und Wiebrechtshausen zwischen den Jahren 2011 und 2013 eingesetzt wurden \_\_\_\_\_ 14

**Tab. 4:** Median (Z), arithmetischer Mittelwert ( $\bar{x}$ ) und Standardabweichung ( $s_x$ ) der Unkraut-Sprossmasse ( $\text{g TM m}^{-2}$ ) in den drei Untersuchungsjahren 2011, 2012 und 2013 für drei Termine während der Vegetationsperiode (August, September, Oktober) an beiden Standorten \_\_\_\_\_ 28

**Tab. 5:** Relativer Rückgang (in %) der Unkraut-Sprosstrockenmasse im Vergleich zwischen der Kontrolle ohne Untersaat (Sprossmasse in  $\text{g m}^{-2} = 100\%$ ) und der jeweiligen Untersaat-Kultur für drei Termine während der Vegetationsperiode. Datenbasis: drei Untersuchungsjahre, zwei Standorte \_\_\_\_\_ 29

**Tab. 6:** Relativer Rückgang (in %) des Unkrautdeckungsgrades (Flächenanteil Bodenbedeckung) der geprüften Untersaat-Varianten im Vergleich zur Kontrolle ohne Untersaat \_\_\_\_\_ 36

**Tab. 7:** Mais-Kornerträge ( $\text{dt TM ha}^{-1}$ ) differenziert nach Standorten und Untersuchungsjahren \_\_\_\_\_ 39

**Tab. 8:** Mediane der Unkraut-Sprossmassen ( $\text{g TM m}^{-2}$ ) in den Varianten ohne und mit Untersaaten für drei Maissorten in den Monaten August, September und Oktober der ertragsstarken Jahre 2011 und 2012 \_\_\_\_\_ 42

**Tab. 9:** Mediane der Unkraut-Sprossmassen ( $\text{g TM m}^{-2}$ ) in den Varianten ohne und mit Untersaaten für zwei Maissorten in den Monaten August, September und Oktober des ertragsschwachen Jahres 2013 \_\_\_\_\_ 43

**Tab. 10:** Stickstoff-Gehalte (% i. d. TS) in den Maiskörnern, differenziert nach Maissorten \_\_\_\_\_ 44

**Tab. 11:** Stickstoff-Gehalte (% i. d. TS) in den Maiskörnern, differenziert nach Untersaat-Varianten \_\_\_\_\_ 44

**Tab. 12:** Mediane (Z), arithmetische Mittelwerte ( $\bar{x}$ ) und Standardabweichung ( $s_x$ ) der Maisblattgrünfärbung („SPAD-Werte“) für drei Maissorten im Mittel über die Untersuchungsjahre 2011 und 2012 \_\_\_\_\_ 46

**Tab. 13:** Mediane (Z), arithmetische Mittelwerte ( $\bar{x}$ ) und Standardabweichung ( $s_x$ ) der Maisblattgrünfärbung („SPAD-Werte“) für acht Untersaat-Varianten und zwei Kontroll-Varianten ohne Untersaaten im Mittel über die Untersuchungsjahre 2011 und 2012 \_\_\_\_\_ 47

**Tab. 14:** Mediane (Z), arithmetische Mittelwerte ( $\bar{x}$ ) und Standardabweichung ( $s_x$ ) der Nmin-Werte für drei Maissorten im Mittel über die Untersuchungsjahre: Ricardinio und Colisee 2011 bis 2013, Ronaldinio 2011 bis 2012 \_\_\_\_\_ 48

**Tab. 15:** Mediane (Z), arithmetische Mittelwerte ( $\bar{x}$ ) und Standardabweichung ( $s_x$ ) der Nmin-Werte für acht Untersaat-Varianten und zwei Kontroll-Varianten ohne Untersaaten im Mittel über die Untersuchungsjahre 2011 bis 2013 \_\_\_\_\_ 49

<b>Tab. 16:</b> Arithmetische Mittelwerte des volumetrischen Wassergehaltes (%) in der Bodenschicht von 0 bis 30 cm Tiefe am Standort Reinshof, differenziert nach Untersaat-Varianten	52
<b>Tab. 17:</b> Arithmetische Mittelwerte des volumetrischen Wassergehaltes (%) in der Bodenschicht von 0 bis 30 cm Tiefe am Standort Wiebrechtshausen, differenziert nach Untersaat-Varianten	53
<b>Tab. 18:</b> Unkrautarten und die absolute Anzahl der Keimlinge aus insgesamt sechs Inkubationsversuchen (zwei Standorte, drei Jahre). Differenzierung nach Untersaat-Varianten	56

## Verzeichnis der Abbildungen

<b>Abb. 1:</b> Monatliche Niederschlagsmengen (mm) der Jahre 2011, 2012, 2013 sowie für das langjährige Mittel (1981 bis 2010). Standort Göttingen-Reinshof (A), Standort Moringen-Lutterbeck (B). Quelle: Deutscher Wetterdienst (DWD)	9
<b>Abb. 2:</b> Lufttemperaturen (Monatsmittel in °C) der Jahre 2011, 2012, 2013 sowie für das langjährige Mittel (1981 bis 2010). Standort Göttingen-Reinshof (A), Standort Moringen-Lutterbeck (B). Quelle: Deutscher Wetterdienst (DWD)	10
<b>Abb. 3:</b> Schema zum Standraum der Untersaaten in Relation zu den Maisreihen	12
<b>Abb. 4:</b> Göttinger Schätzrahmen in einer Weidelgras-Untersaat	16
<b>Abb. 5:</b> Sprossmasse (g TM m <sup>-2</sup> ) aller geprüften Untersaat-Varianten für die Standorte (A), Reinshof (REI, n = 240) und Wiebrechtshausen (WIE, n = 240) sowie für die Untersuchungsjahre (B) mit den Jahren 2011, 2012 (je n = 192) und 2013 (je n = 92). Boxplots für je drei Erntetermine pro Jahr (August, September, Oktober)	21
<b>Abb. 6:</b> Sprossmasse (g TM m <sup>-2</sup> ) der Untersaat-Varianten Winterroggen (R), Welsches Weidelgras (W), Erdklee (K) und Wegwarte (P) für August (A), September (B) und Oktober (C) in den Untersuchungsjahren 2011 bis 2013. Boxplots mit Median und arithmetischen Mittelwert	22
<b>Abb. 7:</b> Sprossmasse (g TM m <sup>-2</sup> ) der Untersaat-Varianten Winterroggen mit Wegwarte (RP), Welsches Weidelgras mit Wegwarte (WP), Erdklee mit Wegwarte (KP) sowie Winterroggen mit Wegwarte und Buchweizen (RPB) für August (A), September (B) und Oktober (C) in den Untersuchungsjahren 2011 bis 2013. Boxplots mit Median und arithmetischen Mittelwert	23
<b>Abb. 8:</b> Relatives Verhältnis (%) der Sprossmasse in vier Untersaat-Gemengen differenziert nach den Monaten August, September und Oktober. Daten abgeleitet aus arithmetischen Mittelwerten der absoluten Sprossmasse an den Standorten Reinshof und Wiebrechtshausen	24
<b>Abb. 9:</b> Sprossmasse (g TM m <sup>-2</sup> ) der Unkräuter in den Varianten „ohne Untersaat (oU), Winterroggen (R), Welsches Weidelgras (W), Erdklee (K) und Wegwarte (P) für August, September und Oktober in den Untersuchungsjahren 2011, 2012 und 2013 an beiden Standorten. Boxplots mit Median und arithmetischen Mittelwert	26
<b>Abb. 10:</b> Sprossmasse (g TM m <sup>-2</sup> ) der Unkräuter in den Varianten „ohne Untersaat (oU), Winterroggen mit Wegwarte (RP), Welsches Weidelgras mit Wegwarte (WP), Erdklee mit Wegwarte (KP) sowie Winterroggen mit Wegwarte und Buchweizen (RPB) für August, September und Oktober in den Untersuchungsjahren 2011, 2012 und 2013 an beiden Standorten. Boxplots mit Median und arithmetischen Mittelwert	27
<b>Abb. 11:</b> Boden-Deckungsgrad (in %) der Untersaat-Varianten Winterroggen (R), Welsches Weidelgras (W), Erdklee (K) und Wegwarte (P) für Juli, August, September und Oktober an beiden Standorten. Boxplots mit Median und arithmetischen Mittelwert	32
<b>Abb. 12:</b> Boden-Deckungsgrad (in %) der Untersaat-Varianten Winterroggen mit Wegwarte (RP), Welsches Weidelgras mit Wegwarte (WP), Erdklee mit Wegwarte (KP) sowie Winterroggen mit Wegwarte und Buchweizen (RPB) für Juli, August, September und Oktober an beiden Standorten. Boxplots mit Median und arithmetischen Mittelwert	33

<b>Abb. 13:</b> Boden-Deckungsgrad (in %) der Unkraut-Sprossmasse in den Varianten „ohne Untersaat“ (oU), Winterroggen (R), Welsches Weidelgras (W), Erdklee (K) und Wegwarte (P) für Juli, August, September und Oktober an beiden Standorten. Boxplots mit Median und arithmetischen Mittelwert	34
<b>Abb. 14:</b> Boden-Deckungsgrad (in %) der Unkraut-Sprossmasse in den Varianten „ohne Untersaat“ (oU), Winterroggen mit Wegwarte (RP), Welsches Weidelgras mit Wegwarte (WP), Erdklee mit Wegwarte (KP) sowie Winterroggen mit Wegwarte und Buchweizen (RPB) für Juli, August, September und Oktober an beiden Standorten. Boxplots mit Median und arithmetischen Mittelwert	35
<b>Abb. 15:</b> Mais-Kornerträge (dt TM ha <sup>-1</sup> ) differenziert nach Standorten, Untersuchungsjahren, Maissorten und Untersaat-Varianten. Datengrundlage für die Standorte (n = 240), Maissorten (n = 160) und Untersaat-Varianten (n = 48) sind die Untersuchungsjahre 2011 und 2012 ohne die Einbeziehung der Ergebnisse für das Jahr 2013	38
<b>Abb. 16:</b> Unkraut-Sprossmasse (g TM m <sup>-2</sup> ) in der Kontrollvariante „ohne Untersaat“ (oU), differenziert nach Maissorten und Untersuchungsjahren für August, September und Oktober. Boxplots mit Median und arithmetischen Mittelwert	40
<b>Abb. 17:</b> Bodenbedeckungsgrad der Unkraut-Sprossmasse (in %) in der Kontrollvariante „ohne Untersaat“ (oU), differenziert nach Maissorten und Untersuchungsjahren für August, September und Oktober. Boxplots mit Median und arithmetischen Mittelwert	41
<b>Abb. 18:</b> Wasserspannungskurve (Oberboden, 0 bis 30 cm Bodentiefe, entspricht etwa dem Ap-Horizont) für (A) den Standort Reinshof mit dem Schlag Sauanger (Untersuchungsjahre 2011 und 2012) und dem Schlag Kamp (Untersuchungsjahr 2013) sowie (B) den Standort Wiebrechtshausen (B) mit den Schlägen Lindenbreite bzw. Querbreite (Untersuchungsjahre 2011 bzw. 2013) und dem Schlag Teerweg (Untersuchungsjahr 2012)	51
<b>Abb. 19:</b> Absolute Anzahl der neun häufigsten Unkraut- bzw. Ungras-Keimlinge aus Inkubationsversuchen. Aufteilung nach Standorten (Reinshof und Wiebrechtshausen). Daten entstammen der standortbezogenen Summe für die Untersuchungsjahre 2011, 2012 und 2013	57