



Berichte aus dem TFZ

Eignung von Buchweizen und Quinoa als späte Zweitfrüchte für die Biogasnutzung



Eignung von Buchweizen und Quinoa als späte Zweitfrüchte für die Biogasnutzung



Eignung von Buchweizen und Quinoa als späte Zweitfrüchte für die Biogasnutzung

Falko Stockmann
Dr. Maendy Fritz

Gefördert durch:



Bundesministerium für
Ernährung, Landwirtschaft
und Verbraucherschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Berichte aus dem TFZ 39

Straubing, März 2015

Projekttitel: Eignung von Buchweizen und Quinoa als späte Zweitfrüchte für die Biogasnutzung

Projektleitung: Dr. Maendy Fritz

Projektbearbeitung: Falko Stockmann

Autoren: Falko Stockmann
Dr. Maendy Fritz

Mitarbeiter: Franz Heimler, Christian Loher, Heide Lummer,
Stefan Wiesent, Markus Krinner, Florian Völkl

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben mit dem Förderkennzeichen 10NR129 wurde aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages mit Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) über die Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) als Projektträger des BMEL für das Förderprogramm Nachwachsende Rohstoffe unterstützt. Die Projektlaufzeit ging vom 01.05.2011 bis 31.03.2014. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

© 2015
Technologie- und Förderzentrum
im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ), Straubing

Alle Rechte vorbehalten.
Kein Teil dieses Werkes darf ohne schriftliche Einwilligung des Herausgebers in irgendeiner Form reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt, verbreitet oder archiviert werden.

ISSN: 1614-1008

Hrsg.: Technologie- und Förderzentrum
im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ)
Schulgasse 18, 94315 Straubing

E-Mail: poststelle@tfz.bayern.de
Internet: www.tfz.bayern.de

Redaktion: Falko Stockmann
Verlag: Eigenverlag
Erscheinungsort: Straubing
Erscheinungsjahr: 2015
Gestaltung: Falko Stockmann

Fotonachweis: Falko Stockmann (alle Fotos)

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|-----------|
| Abbildungsverzeichnis | 7 |
| Tabellenverzeichnis..... | 11 |
| 1 Einleitung und Problemstellung | 15 |
| 2 Stand des Wissens..... | 17 |
| 3 Zielsetzung..... | 21 |
| 4 Material und Methoden | 23 |
| 4.1 Versuchsstandorte und klimatische Bedingungen..... | 23 |
| 4.2 Versuchsdurchführung und Versuchsanlage | 26 |
| 4.3 Ernte und Probenaufbereitung..... | 30 |
| 4.4 Durchgeführte Analysen..... | 30 |
| 4.5 Gewächshausversuche..... | 34 |
| 4.5.1 Trockenstress | 34 |
| 4.5.2 Stickstoffdüngung | 36 |
| 4.6 Statistische Auswertung..... | 36 |
| 5 Ergebnisse und Diskussion | 39 |
| 5.1 Bestandsentwicklung innerhalb der Jahre 2011 bis 2013..... | 39 |
| 5.2 Bestandsdichte und Lagerbonitur | 45 |
| 5.3 Trockenmasseertrag und Trockensubstanzgehalt | 47 |
| 5.3.1 Buchweizen | 48 |
| 5.3.2 Quinoa | 52 |
| 5.4 Substratqualität | 59 |
| 5.5 Biogas- und Methanausbeute | 62 |
| 5.6 Methanhektarertrag | 70 |
| 5.7 Mineral- und Stickstoffgehalte | 71 |
| 5.8 ¹³ C-Isotopenanalyse (Feldversuche) | 73 |
| 5.9 Spurenelementanalyse Cobalt und Nickel | 77 |
| 5.10 Gewächshausversuche..... | 87 |
| 5.10.1 Wassernutzungseffizienz..... | 87 |
| 5.10.1.1 Saugspannung | 87 |
| 5.10.1.2 ¹³ C-Isotopenanalyse im Gewächshausversuch..... | 91 |
| 5.10.2 Stickstoffdüngung | 93 |
| 6 Einordnung in die Praxis | 97 |
| 6.1 Anbauhinweise | 97 |

| | | |
|------------|---|------------|
| 6.2 | Vorteile von Buchweizen und Quinoa im Überblick..... | 98 |
| | Zusammenfassung | 99 |
| | Abstract | 101 |
| | Quellenverzeichnis | 103 |
| | Anhang | 107 |

Abbildungsverzeichnis

| | | |
|---------------|---|----|
| Abbildung 1: | Blüten, Blütenbesucher und dreikantige Nüsschen bei Buchweizen-Blüten..... | 18 |
| Abbildung 2: | Versuchsanlage am Standort Aholzing 2012 (weiße Felder: Saattermin 1; blaue Felder: Saattermin 2)..... | 28 |
| Abbildung 3: | Topfversuch Quinoa zum Einfluss von Trockenstress auf die Ertragsleistung von vier Quinoasorten sowie der Referenzen Einjähriges Weidelgras und Sommerroggen | 35 |
| Abbildung 4: | Dichter Reihenschluss bei beiden Kulturen, links Quinoa, rechts Buchweizen | 40 |
| Abbildung 5: | Abgeerntete Kern- und noch stehende Randparzellen am Standort Aholzing, Quinoasorte 407 | 41 |
| Abbildung 6: | Entwicklung der Wachstumsstadien der Kulturarten am Standort Aholzing zum Saattermin 1 in 2012..... | 42 |
| Abbildung 7: | Entwicklung der Wachstumsstadien der Kulturarten am Standort Aholzing zum Saattermin 2 in 2012..... | 43 |
| Abbildung 8: | Trockenmasseertrag und Trockensubstanzgehalt für Saattermin 1 am Standort Aholzing getrennt nach Jahr | 49 |
| Abbildung 9: | Trockenmasseertrag und Trockensubstanzgehalt für Saattermin 2 am Standort Aholzing getrennt nach Jahr | 50 |
| Abbildung 10: | Trockenmasseertrag und Trockensubstanzgehalt für Saattermin 1 am Standort Straubing getrennt nach Jahr..... | 51 |
| Abbildung 11: | Trockenmasseertrag und Trockensubstanzgehalt für Saattermin 2 am Standort Straubing getrennt nach Jahr..... | 52 |
| Abbildung 12: | Trockenmasseertrag und Trockensubstanzgehalt für Saattermin 1 am Standort Aholzing getrennt nach Jahr | 53 |
| Abbildung 13: | Trockenmasseertrag und Trockensubstanzgehalt für Saattermin 2 am Standort Aholzing getrennt nach Jahr | 54 |
| Abbildung 14: | Trockenmasseertrag und Trockensubstanzgehalt für Saattermin 1 am Standort Straubing getrennt nach Jahr..... | 55 |
| Abbildung 15: | Trockenmasseertrag und Trockensubstanzgehalt für Saattermin 2 am Standort Straubing getrennt nach Jahr..... | 56 |
| Abbildung 16: | Verteilung ausgewählter Parameter der Weender Analyse getrennt nach Saattermin und Kulturart (BW: Buchweizen, n = 16; Qui: Quinoa, n = 18) im Vergleich zur Referenz Mais, n = 12) | 61 |
| Abbildung 17: | Methanausbeute von Buchweizen (Spac. = Spacinska, Tus. = Tussi, Lif. = Lifago) getrennt nach Jahr, Sorte und Saattermin vom Standort Straubing im Vergleich zu Mais (nach KTBL [23] [24]) | 63 |

| | |
|---|----|
| Abbildung 18: Methanausbeute von Quinoa getrennt nach Jahr, Sorte und Saattermin vom Standort Straubing im Vergleich zu Mais (nach KTBL [23] [24]) | 64 |
| Abbildung 19: Einfluss der Sorte auf den Zeitverlauf (32 Tage) der Methanproduktion bei Buchweizen | 65 |
| Abbildung 20: Einfluss der Sorte auf den Zeitverlauf (10 Tage) der Methanproduktion bei Buchweizen | 66 |
| Abbildung 21: Einfluss der Sorte auf den Zeitverlauf (32 Tage) der Methanproduktion bei Quinoa | 67 |
| Abbildung 22: Einfluss der Sorte auf den Zeitverlauf (10 Tage) der Methanproduktion bei Quinoa | 68 |
| Abbildung 23: ¹³ C-Isotopenanalyse von Buchweizen- und Quinoasorten aus dem Versuchsjahr 2011, Fehlerbalken = Standardfehler, Säulen mit unterschiedlichen Kleinbuchstaben (innerhalb der Art) und Großbuchstaben (Artenvergleich) unterscheiden sich signifikant voneinander ($p < 0,05$, t-Test)..... | 74 |
| Abbildung 24: ¹³ C-Isotopenanalyse von Buchweizen- und Quinoasorten sowie der Referenzen aus dem Versuchsjahr 2012, Standort Straubing, Fehlerbalken = Standardfehler, Säulen mit unterschiedlichen Kleinbuchstaben (innerhalb der Art) und Großbuchstaben (Artenvergleich) unterscheiden sich signifikant voneinander ($p < 0,05$, t-Test)..... | 75 |
| Abbildung 25: ¹³ C-Isotopenanalyse von Buchweizen- und Quinoasorten sowie der Referenzen aus dem Versuchsjahr 2013, Standort Straubing, Fehlerbalken = Standardfehler, Säulen mit unterschiedlichen Kleinbuchstaben (innerhalb der Art) und Großbuchstaben (Artenvergleich) unterscheiden sich signifikant voneinander ($p < 0,05$, t-Test)..... | 76 |
| Abbildung 26: Cobaltgehalte in verschiedenen Substraten aus Feldversuchen am Standort Straubing in 2013: Amarant (n = 75), Buchweizen (n = 5), Quinoa (n = 5), Sorghum (n = 4), Mais (n = 6)..... | 79 |
| Abbildung 27: Cobaltgehalte in Buchweizen- und Quinoasorten am Standort Straubing getrennt nach Saattermin in 2013 | 81 |
| Abbildung 28: Cobaltgehalte in Buchweizensorten am Standort Aholting getrennt nach Saattermin in 2012 | 82 |
| Abbildung 29: Cobaltgehalte in Quinoasorten am Standort Aholting getrennt nach Saattermin in 2012 | 83 |
| Abbildung 30: Nickelgehalte in verschiedenen Substraten aus Feldversuchen am Standort Straubing in 2013: Amarant (n = 75), Buchweizen (n = 5), Quinoa (n = 5), Sorghum (n = 4) und Mais (n = 6)..... | 84 |
| Abbildung 31: Nickelgehalte in Buchweizen- und Quinoasorten am Standort Straubing getrennt nach Saattermin in 2013 | 85 |
| Abbildung 32: Nickelgehalte in Buchweizensorten am Standort Aholting getrennt nach Saattermin in 2012 | 86 |

| | |
|--|-----|
| Abbildung 33: Nickelgehalte in Quinoasorten am Standort Aholfing getrennt nach Saattermin in 2012..... | 86 |
| Abbildung 34: Trockenmasseertrag und Trockensubstanzgehalt der Buchweizensorten Spacinska, Kora, Lifago und Lileja getrennt nach der Saugspannungsstufe; Fehlerbalken = Standardfehler, Säulen mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant voneinander ($p < 0,05$, t-Test) | 88 |
| Abbildung 35: Trockenmasseertrag und Trockensubstanzgehalt der Buchweizensorten Spacinska, Kora, Lifago und Lileja sowie der Referenzkulturen getrennt nach Saugspannungsstufe; Fehlerbalken = Standardfehler, Säulen mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant voneinander ($p < 0,05$, t-Test)..... | 89 |
| Abbildung 36: Trockenmasseertrag und Trockensubstanzgehalt der Quinoasorten Zeno, Puno, Faro und 407 sowie der Referenzen getrennt nach Saugspannungsstufe; Fehlerbalken = Standardfehler, Säulen mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant voneinander ($p < 0,05$, t-Test) | 91 |
| Abbildung 37: 13C-Isotopenanalyse von Buchweizen- und Quinoasorten aus dem Gewächshausversuch Trockenstress, Fehlerbalken = Standardfehler, Säulen mit unterschiedlichen Kleinbuchstaben und Großbuchstaben (Saugspannungsstufe) unterscheiden sich signifikant voneinander ($p < 0,05$, t-Test) | 92 |
| Abbildung 38: Trockenmasseertrag und Trockensubstanzgehalt der Buchweizensorten Spacinska, Kora, Lifago und Lileja getrennt nach Stickstoffdüngestufe; Fehlerbalken = Standardfehler, Säulen und Düngestufen mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant voneinander ($p < 0,05$, t-Test) | 94 |
| Abbildung 39: Trockenmasseertrag und Trockensubstanzgehalt der Quinoasorten Zeno, Puno, Carmen, Faro und 407 getrennt nach Stickstoffdüngestufe; Fehlerbalken = Standardfehler, Säulen mit unterschiedlichen Buchstaben sowie Düngestufen mit unterschiedlichen Großbuchstaben unterscheiden sich signifikant voneinander ($p < 0,05$, t-Test) | 95 |
| Abbildung 40: Einfluss des Jahres auf den Zeitverlauf der Methanausbeute in NI/kg oTM der Buchweizensorten Spacinska und Kora | 132 |
| Abbildung 41: Einfluss des Saattermins auf den Zeitverlauf der Methanausbeute in NI/kg oTM der Buchweizensorten Spacinska und Kora | 132 |
| Abbildung 42: Einfluss des Jahres auf den Zeitverlauf der Methanausbeute in NI/kg oTM der Quinoasorten 407 und Tango | 133 |
| Abbildung 43: Einfluss des Saattermins auf den Zeitverlauf der Methanausbeute in NI/kg oTM der Quinoasorten 407 und Tango | 133 |
| Abbildung 44: Etablierte Quinoa- (Vordergrund) und Buchweizenparzellen (Hintergrund)..... | 135 |
| Abbildung 45: Wuchsunterschiede von Einjährigem Weidelgras (Mitte) zu Quinoa (links) und Buchweizen (rechts) im Jahr 2012..... | 135 |

Abbildung 46: Dünnere Bestand bei Sommerroggen durch eine geringe Bestockung... 136

Abbildung 47: Unterschied Tatarischer Buchweizen grünblühend (links),
Gewöhnlicher Buchweizen rosablühend (Mitte), Gewöhnlicher
Buchweizen weißblühend (rechts) 136

Abbildung 48: Bestandsentwicklung bei Buchweizen getrennt nach BBCH-Stadien
(BBCH 12/13: 2–3 Blattstadium, BBCH 60: Beginn Blüte, BBCH 93:
Mutterpflanze fast vollständig abgestorben) 137

Abbildung 49: Oben: Lagerausprägung bei Buchweizen, Mitte: Trockenstress bei
Buchweizen ersichtlich durch die eingerollten und schlaffen Blätter,
unten: typische Rotstängeligkeit des Gewöhnlichen Buchweizens
(*Fagopyrum esculentum*) 138

Abbildung 50: Bestandsentwicklung bei Quinoa getrennt nach BBCH-Stadien
(BBCH 12/13: 2–3 Blattstadium, BBCH 37: Blütenknospen beginnen
Pyramide zu bilden, BBCH 95: Stängel fast vollständig entfärbt),
oberstes Bild zeigt die Reihenabstände 14 cm und 30 cm 139

Abbildung 51: Unterschied der Sorten Zeno (links), Faro (Mitte) und 407 (rechts) 139

Abbildung 52: Oben und Mitte: Farbenfrohe Fruchtstände von Quinoasorten,
unten: Sorte Zeno färbt ihre Fruchtstände während der Abreife rot 140

Tabellenverzeichnis

| | | |
|-------------|--|----|
| Tabelle 1: | Standortdaten der Versuchsstandorte im Versuchsjahr 2012..... | 23 |
| Tabelle 2: | Ausgewählte Klimadaten im Anbauzeitraum 2011, 2012 und 2013 getrennt nach Standort | 24 |
| Tabelle 3: | Relative Abweichung des Temperaturmittels und der Niederschlagssumme zum langjährigen Mittel (1961 bis 1990) für die Monate Juni bis Oktober sowie absolut als Mittelwert bzw. Summe getrennt nach Standort, Jahr und Monat..... | 26 |
| Tabelle 4: | Vegetationsperioden für die Jahre 2011 bis 2013 getrennt nach Standort | 27 |
| Tabelle 5: | Beschreibung des verwendeten Saatmaterials | 29 |
| Tabelle 6: | Bezugsquellen des Versuchssaatguts für Buchweizen und Quinoa | 34 |
| Tabelle 7: | Bestandsdichte und Lagerbonitur (getrennt nach Art, Sorte und Saattermin als Mittelwert der Standorte | 46 |
| Tabelle 8: | Varianzanalyse der Versuchsfaktoren inkl. Wechselwirkungen getrennt nach Trockenmasseertrag und Trockensubstanzgehalt | 48 |
| Tabelle 9: | Einfluss der Reihenweite (in 2012 und 2013) und der Saatstärke (nur 2012) auf den Trockenmasseertrag von Quinoasorten relativ zur engen Reihenweite (100 %) und normaler Saattermin (100 %) am Standort Aholting zu Saattermin 1 und 2..... | 58 |
| Tabelle 10: | Inhaltsstoffe von Buchweizen und Quinoa nach der erweiterten Weender Analyse als Mittelwert über die angebauten Sorten getrennt nach Standort und Saattermin..... | 60 |
| Tabelle 11: | Tage, nach denen 50 bzw. 70 % der gesamten Methanausbeute erreicht wurden, getrennt nach Buchweizensorten | 66 |
| Tabelle 12: | Tage, nach denen 50 bzw. 70 % der gesamten Methanausbeute erreicht wurden, getrennt nach Quinoasorten | 69 |
| Tabelle 13: | Mittlere Methanhektarerträge von Buchweizen und Quinoa | 70 |
| Tabelle 14: | Mineralstoffgehalte für Buchweizen und Quinoa als Mittelwert getrennt nach Standort und Saattermin..... | 71 |
| Tabelle 15: | Pflanzenbedingter Nährstoffentzug getrennt nach Art, Standort und Saattermin auf Basis gemittelter TM-Erträge der Sorten jeder Art und Jahre | 73 |
| Tabelle 16: | Elementtotalgehalte in mg/kg des Oberbodens der Versuchsstandorte Aholting (2012; n = 37) und Straubing (2013; n = 16)..... | 78 |
| Tabelle 17: | Berechnung der Abfuhr von Cobalt pro Hektar getrennt nach Kulturart | 80 |
| Tabelle 18: | Berechnung der Abfuhr von Nickel pro Hektar, getrennt nach Kulturart | 83 |

| | | |
|-------------|---|-----|
| Tabelle 19: | Signifikante Unterschiede der einzelnen Sorten und Stickstoff-Düngestufen (N-Düngung) erkennbar an unterschiedlichen Buchstaben | 96 |
| Tabelle 20: | Entwicklungsstadien der Reismelde, modifiziert nach [8] | 107 |
| Tabelle 21: | Entwicklungsstadien von Buchweizen, modifiziert nach [4] | 108 |
| Tabelle 22: | Varianzanalyse der Versuchsfaktoren inkl. Wechselwirkungen getrennt nach Trockenmasseertrag und Trockensubstanzgehalt für den Standort Straubing und das Jahr 2011 | 109 |
| Tabelle 23: | Trockenmasseerträge und Trockensubstanzgehalte 2011 der Buchweizen- und Quinoasorten sowie der Referenzen Einjähriges Weidelgras und Sommerroggen am Standort Straubing getrennt nach Saattermin, unterschiedliche Buchstaben innerhalb der Art und innerhalb der Ertragsparameter stehen für signifikante Unterschiede ($p < 0,05$, t-Test)..... | 110 |
| Tabelle 24: | Trockenmasseerträge und Trockensubstanzgehalte 2011 der Buchweizensorten sowie der Referenzen Weidelgras und Sommerroggen am Standort Aholting getrennt nach Saattermin, unterschiedliche Buchstaben stehen für signifikante Unterschiede ($p < 0,05$, t-Test)..... | 111 |
| Tabelle 25: | Varianzanalyse der Versuchsfaktoren inkl. Wechselwirkungen getrennt nach Trockenmasseertrag und Trockensubstanzgehalt für 2012 ($p < 0,05$, t-Test)..... | 111 |
| Tabelle 26: | Trockenmasseerträge und Trockensubstanzgehalte der Buchweizensorten im Jahr 2012 sowie der Referenzen Weidelgras und Sommerroggen getrennt nach Standort und Saattermin, unterschiedliche Buchstaben innerhalb des Standortes stehen für signifikante Unterschiede ($p < 0,05$, t-Test) | 112 |
| Tabelle 27: | Trockenmasseerträge und Trockensubstanzgehalte der Quinoasorten im Jahr 2012 sowie der Referenzen Weidelgras und Sommerroggen getrennt nach Standort und Saattermin, unterschiedliche Buchstaben innerhalb des Standortes stehen für signifikante Unterschiede ($p < 0,05$, t-Test) | 113 |
| Tabelle 28: | Varianzanalyse der Versuchsfaktoren inkl. Wechselwirkungen getrennt nach Trockenmasseertrag und Trockensubstanzgehalt für 2013 | 114 |
| Tabelle 29: | Trockenmasseerträge und Trockensubstanzgehalte der Buchweizensorten im Jahr 2013 sowie der Referenzen Weidelgras und Sommerroggen getrennt nach Standort und Saattermin, unterschiedliche Buchstaben innerhalb des Standortes stehen für signifikante Unterschiede ($p < 0,05$, t-Test) | 115 |
| Tabelle 30: | Trockenmasseerträge und Trockensubstanzgehalte der Quinoasorten im Jahr 2013 sowie der Referenzen Weidelgras und Sommerroggen getrennt nach Standort und Saattermin, unterschiedliche Buchstaben innerhalb des Standortes stehen für signifikante Unterschiede ($p < 0,05$, t-Test) | 116 |

Tabelle 31: Inhaltsstoffanalysen ausgewählter Buchweizensorten 2011 nach der erweiterten Weender Analyse unterteilt nach Standort und Saatzeitpunkt 117

Tabelle 32: Inhaltsstoffanalysen ausgewählter Quinoasorten 2011 nach der erweiterten Weender Analyse unterteilt nach Standort und Saatzeitpunkt 118

Tabelle 33: Inhaltsstoffgehalte 2012 von Buchweizensorten sowie der Referenzen Einjähriges Weidelgras und Sommerroggen nach der erweiterten Weender Analyse getrennt nach Standort und Saattermin 119

Tabelle 34: Inhaltsstoffanalysen 2012 von Quinoasorten nach der erweiterten Weender Analyse getrennt nach Standort und Saattermin 121

Tabelle 35: Inhaltsstoffanalysen 2013 von Buchweizen- und Quinoasorten sowie der Referenzen nach der erweiterten Weender Analyse getrennt nach Standort und Saattermin 122

Tabelle 36: Stickstoff- und Mineralstoffgehalte 2011 von Buchweizen- und Quinoasorten sowie der Referenzkulturen getrennt nach Standort und Saattermin 124

Tabelle 37: Stickstoff- und Mineralstoffgehalte 2012 von Buchweizensorten und Referenzkulturen getrennt nach Standort und Saattermin 126

Tabelle 38: Stickstoff- und Mineralstoffgehalte 2012 von Quinoasorten getrennt nach Standort und Saattermin 128

Tabelle 39: Stickstoff- und Mineralstoffanalysen 2013 von Buchweizen- und Quinoa-sorten sowie der Referenzen getrennt nach Standort und Saattermin 129

Tabelle 40: Methangehalt von ausgesuchten Buchweizen- und Quinoasorten aus Straubing getrennt nach Jahr, Sorte und Saattermin 131

Tabelle 41: ¹³C-Isotopenanalyse von Buchweizen- und Quinoasorten sowie der Referenzen für den Standort Aholfing getrennt nach Jahr. Unterschiedliche Kleinbuchstaben innerhalb der Art zeigen signifikante Unterschiede an. Großbuchstaben stehen für signifikante Unterschiede zwischen Arten innerhalb des Jahres (p < 0,05, t-Test) 134

1 Einleitung und Problemstellung

Mais ist das für die Biogasproduktion am meisten genutzte Substrat. Die Produktionstechnik ist bekannt sowie schlagkräftig und Mais erreicht die höchsten Trockenmasseerträge. Jedoch ist der Anbau aufgrund von Limitierungen durch das EEG 2012 sowie bei Auftreten des Westlichen Maiswurzelbohrers begrenzt. Außerdem bieten enge Fruchtfolgen einen Nährboden für Krankheitserreger. Daher ist es wichtig, mit alternativen Anbausystemen das Spektrum der genutzten Arten zu erweitern und die Biodiversität in der Agrarlandschaft zu steigern. Zusätzlich können negative Folgewirkungen enger Fruchtfolgen vermieden werden. Ein nachhaltiger Energiepflanzenanbau mit einem häufigen Wechsel der Arten kann aber auch andere positive Effekte miteinander kombinieren: einen hohen ökologischen Nutzen, die Verbesserung der gesellschaftlichen Akzeptanz von Biogasanlagen und im besten Fall eine Steigerung der Flächenproduktivität.

Nach der Ernte von Wintergetreide zur Nutzung als Ganzpflanzen besteht eine Vegetationslücke bis zur nächsten Hauptkultur. Je nach eingesetzter Getreideart und Witterungsverlauf variiert ihr Erntezeitpunkt von Ende Mai bis Ende/Mitte Juli. Beim Anbau leistungsstarker Arten wie Mais oder Sorghum besteht die Gefahr, dass nach einer Saat ab Mitte Juni die Abreife unzureichend ist. Verbunden mit zu hohen Wassergehalten der Ganzpflanze kann dies neben erhöhten Transportkosten zu unerwünschtem Sickerwasser im Silo führen. Hier bieten Kulturen mit einer kurzen Vegetationszeit eine hohe Variabilität in der Anbaugestaltung, um die Vegetationslücke optimal zu nutzen.

Insbesondere Buchweizen und Quinoa eignen sich aufgrund ihrer sehr kurzen Entwicklungszeit (90 bis 110 Tage) von der Aussaat bis zur Siloreife (> 28 % Trockensubstanz) und des dabei relativ hohen Trockenmassezuwuchses für einen späten Anbau ab Mitte Juni. Zu beiden Kulturarten, die den Pseudocerealien zugeordnet werden, liegen bisher zahlreiche Studien zur Körnernutzung vor [1] [3] [4] [26] [37], auf ihre Eignung als Biogassubstrat wurden sie jedoch kaum geprüft.

Beide Arten sind nicht mit anderen, weit verbreiteten Ackerkulturen verwandt und können die Agrarlandschaft u. a. durch ihr Blütenangebot bereichern. Durch den Zweitfruchtanbau dieser Kulturen kann die Vegetationslücke im Sommer effizient genutzt und dadurch die Flächenproduktivität gesteigert, Arbeitsspitzen entzerrt und die Flächenkonkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion entschärft werden. Zudem können positive Vorfruchtwirkungen von Buchweizen und Quinoa zur Senkung der Produktionsintensität in nachfolgenden Kulturen beitragen und dadurch Ressourcen schonen.

Neben einer schnellen Abreife ist eine hohe Trockentoleranz für einen erfolgreichen späten Zweitfruchtanbau ein wichtiges Kriterium. Besonderes Augenmerk soll daher auf die Wassernutzungseffizienz der geprüften Kulturen gelegt werden, um einerseits die Ertragssicherheit im Zweitfruchtanbau zu verbessern und andererseits den Wasserhaushalt möglichst wenig zu beeinträchtigen. Dafür sind Kulturarten und Sortentypen gefragt, die mit der Ressource Wasser möglichst effizient umgehen. Der innovative Ansatz über die Analysen der ¹³C-Isotopen-Diskriminierung ermöglicht schnelle und verlässliche Aussagen zur Wassernutzungseffizienz.

Stickstoff ist der Nährstoff mit der höchsten Wirkung auf das Pflanzenwachstum. Dieser Effekt ist einerseits von Vorteil, da er zu höherem Biomassewachstum und höherer Ertragsleistung führt. Andererseits verzögert sich aber auch die Abreife, da die Seneszenz später einsetzt. Damit stellt sich auch der gewünschte TS-Gehalt erst später ein. Schlussfolgernd ist es somit wichtig, den Einfluss von Stickstoff auf eine etwaige Abreifeverzögerung zu erforschen.

Aber nicht nur ein hoher Biomasseertrag und möglichst hohe Methanausbeuten spielen für die Nutzung einer Pflanzenart als Biogassubstrat eine bedeutende Rolle – auch weitere Aspekte sind relevant. So müssen für die optimale Funktion des Fermentationsprozesses in Biogasanlagen zahlreiche Parameter innerhalb bestimmter Grenzen liegen. Die Gehalte von Spurenelementen, die für die methanbildenden Bakterien und Archaeen essenziell sind, gehören zu diesen Parametern. Dabei werden die Elemente Eisen, Mangan, Cobalt, Nickel, Zink, Molybdän, Wolfram und Selen immer wieder genannt [9] [28] [35]. Bei alleinigem Input von Mais als Biogassubstrat kann nicht die ausreichende Menge essenzieller Spurenelemente für die methanbildenden Prozesse in Biogasanlagen gewährleistet werden. Dies liegt an der geringen Aufnahmekapazität von Mais an Elementen wie z. B. Cobalt und Nickel. Aber speziell diesen beiden Spurenelementen wird laut Pobeheim et al. (2011) und Sauer (2009) eine besondere Bedeutung für die Prozessstabilität zugeschrieben [15] [32] [33]. Andere mögliche Energiepflanzen, vor allem Amaranth, nehmen um eine Größenordnung mehr Spurenelemente auf [34]. Da Buchweizen und Quinoa ebenfalls zu den Pseudogetreiden gehören, ergibt sich die Fragestellung, ob diese auch hohe Gehalte vor allem an Cobalt und Nickel aufweisen und somit ein weiterer Vorteil der geprüften Kulturen gegeben ist. Aufgrund bisheriger Daten erscheint es möglich, durch Zumischung spurenelementakkumulierender Energiepflanzen zum Mais eine ausreichende Spurenelementversorgung von Biogasanlagen zu gewährleisten. Hiermit wird zusätzlich ein wichtiges Argument für die Aufrechterhaltung und Verbesserung der Biodiversität im Energiepflanzenbau eingebracht. Auf den Einsatz von potenziell risikobehafteten Spurenelementpräparaten, die langfristig den Boden kontaminieren, könnte dann in Zukunft verzichtet werden.

2 Stand des Wissens

Buchweizen und Quinoa gehören beide zur Gruppe der Pseudogetreide, denen auch die C4-Pflanze Amarant angehört. Diese Bezeichnung haben sie durch ihre sehr stärkereichen Körner und die ähnliche Verarbeitungsweise wie Getreide erhalten, sie gehören aber nicht zur Familie der Gräser. Buchweizen ist ein Knöterichgewächs (Polygonaceae) und Quinoa gehört zur Familie der Fuchsschwanzgewächse (Amaranthaceae).

Buchweizen

Der Echte Buchweizen (*Fagopyrum esculentum*) ist eine einjährige krautige Pflanze mit einer Wuchshöhe von bis zu einem Meter. Sein Ursprung liegt vermutlich in den Steppen der hochgelegenen Gebirgsländer Zentral- und Ostasiens [22]. Sein kurzer Entwicklungszyklus stellt eine Anpassung an die dort vorherrschenden kurzen und warmen Sommer dar. Nach Europa gelangte Buchweizen entlang der Seidenstraße bereits im Mittelalter und wurde insbesondere in Nord- und Ostdeutschland auf armen Sandböden, Moor- und Heideflächen sowie in Mittelgebirgen mit sauer verwitternden Gesteinen angebaut [22] [41]. Die größten Anbaugelände finden sich heute in Russland und China, gefolgt von der Ukraine und Kasachstan. Der aufrechte Stängel verzweigt sich kontinuierlich und ist zur Fruchtreife meistens rot verfärbt. Die Laubblätter haben eine herz- bis pfeilförmige Form. Typisch ist eine kurze, tütenartige Hülle, die an der Ansatzstelle des Blattstiels den Stängel umfasst. Die Stiele der traubenartigen Blütenstände entspringen direkt aus den Blattachsen. Die Blüten werden circa drei bis fünf Millimeter lang und setzen sich aus fünf weißen bis rosa-rötlichen Blütenhüllblättern zusammen. Aus den Blüten entwickelt sich ein dreikantiges Nüsschen, welches sich in der Abreife braun-grau verfärbt (Abbildung 1). Die Frucht besitzt eine derbe Fruchtschale, die vor der Nutzung als Nahrungsmittel entfernt werden muss. Darunter befindet sich weißes, stärkereiches Mehl. Die Wurzel ist pfahlförmig und entwickelt zahlreiche Feinwurzeln. Blütenbiologisch ist der Echte Buchweizen ein strenger Fremdbefruchter und somit zur Bestäubung und Kornentwicklung auf Insekten angewiesen [1]. Aber auch für die Insekten stellt Buchweizen eine wichtige Futterquelle dar [25]. Von den 170 unterschiedlichen Insektenarten, die an dieser Kultur beobachtet werden, sind etwa 100 Blütenbesucher, die sich von Pollen und Nektar des Buchweizens ernähren [25].

Relevant für die landwirtschaftliche Produktion sind der Gewöhnliche und der Tatarische Buchweizen (*Fagopyrum esculentum* bzw. *F. tataricum*), wobei Ersterer vor allem zur Körnerproduktion, Letzterer häufig zur Gründüngung dient. Im Wuchsverhalten ist der Tatarische Buchweizen im Allgemeinen kräftiger, bildet mehr Blattmasse [22] und entwickelt kleinere, grünliche Körner, die fest in der Schale verankert sind. Zudem weist er eine höhere Kältetoleranz im Vergleich zum Gewöhnlichen Buchweizen auf, weswegen in den höheren Lagen überwiegend Tatarischer Buchweizen zum Anbau kommt [7].

Beide Arten bevorzugen leichte Böden, gedeihen auch bei niedrigen pH-Werten und gelten als trockentolerant [29]. Aufgrund seiner besonders langen Wurzelhaare hat Buchweizen ein gutes Nährstoffaufnahmevermögen, sodass er auch auf nährstoffarmen Bö-

den gedeiht [22]. Für das gesamte Agrarökosystem von Bedeutung ist die positive Vorfruchtwirkung des Buchweizens. Diese basiert zum einen auf der guten Unkrautunterdrückung durch den schnellen Bestandsschluss sowie durch allelopathische Effekte [7] [19]. Zum anderen weist Buchweizen als Gründüngung eine hemmende Wirkung auf spezifische Krankheitserreger in der Folgefrucht auf [39].

Insbesondere der Gewöhnliche Buchweizen weist jedoch eine hohe Kälteempfindlichkeit auf, sodass bereits bei Temperaturen von 2 °C Schäden an den Pflanzen zu beobachten sind. Im Allgemeinen benötigt Buchweizen von der Saat bis zur Kornreife unter mitteleuropäischen Bedingungen 100 bis 140 Tage bzw. eine Temperatursumme von 1000 bis 1200 °C [18] [29]. Die gesamte Sprosstrockenmasse erzielt Erträge von über 80 dt/ha zum Zeitpunkt der Kornernte mit einer großen sortenspezifischen Varianz [26].



Abbildung 1: Blüten, Blütenbesucher und dreikantige Nüsschen bei Buchweizen-Blüten

Im Hinblick auf die Trockentoleranz belegen Untersuchungen von Lakhanov [27], dass Buchweizen bei Trockenstress über entsprechende Anpassungsmechanismen den Wasserverbrauch verringern und die Wassernutzungseffizienz erhöhen kann. In einer anderen Studie weisen weder der Korn- noch der Ganzpflanzenertrag signifikante Ertragseinbußen unter wasserlimitierenden Bedingungen auf [31]. Dieses Attribut ist vor allem hinsichtlich der Verwendung als Sommerung zur Biogasnutzung nach Ganzpflanzen-Getreide vorteilhaft.

Untersuchungen zu Buchweizen als Substrat zur Biogasnutzung sind nur teilweise vorhanden. In dreijährigen Parzellenversuchen zur Zweikulturnutzung des Technologie- und Förderzentrums wurde Buchweizen neben anderen Zweitfrüchten getestet [36]. Dabei zeigte die Kulturart im Vergleich zu Mais und Sorghum eine deutlich frühere Abreife und erreichte schon nach etwa 90 bis 100 Tagen Siloreife bei Trockenmasse-Erträgen von etwa 70 dt/ha. Ergebnisse zu Inhaltsstoffen, die eine Aussage zur Substratqualität erlauben, sind nicht verfügbar.

Quinoa

Quinoa (*Chenopodium quinoa*) ist ein einjähriges Gänsefußgewächs, schnell wachsend, krautig und mit ca. 1 bis 1,5 m Wuchshöhe. Der Ursprung der C3-Pflanze sind die Andenhochländer Südamerikas, wo sie auch heute noch überwiegend in Bolivien, Peru und Ecuador angebaut wird [4] [37].

Ihr aufrechter, dicklicher Stängel ist mit hell- bis dunkelgrünen Blättern besetzt, die auf der Oberseite eine mehlähnliche Schicht aufweisen können. Die Kulturpflanze lässt sich in fünf Typengruppen einteilen: Valley-, Altiplano-, Saltflat-, Sealevel- und Subtropical-Gruppe. Die Gruppeneinteilung wirkt sich auf Wuchshöhe, Rispenform, Verfärbung der Pflanze zur Ernte und benötigte Vegetationszeit aus. Während der Abreife verfärben sich die Stängel und Blätter sortenspezifisch von gelb bis rötlich. Die Blütenstände von Quinoa enthalten sowohl zwittrige als auch weibliche Blüten und sind somit selbstfertil. Im Vergleich zu Fremdbefruchtern sind die Blüten sehr klein und unscheinbar. Im Unterschied zu Buchweizen ist Quinoa kältetoleranter und zeigt erst bei Temperaturen unterhalb -4 °C Schäden [26]. Damit kommt bei dieser Kultur neben einer früheren Saat (ab Mitte April) auch eine späte Ernte nach den ersten Frühfrösten infrage.

Die stärkereichen Körner von Quinoa müssen vor dem Verzehr geschält oder gewaschen werden, da sich in der Außenhülle des Samens bitter schmeckende Saponine befinden. Allgemein umfasst Quinoa eine breite Typenvariation bezüglich der Wuchshöhe, der Färbung der Pflanze sowie der Blütenstände, der Fruchtstandformen (Rispe) und der Korngröße. Auffällig ist seine Fähigkeit, bei jüngeren Blättern auf der Unterseite einen Flaum aus Blasenhaaren zu bilden, die Calcium-Oxalatkristalle enthalten [4]. Diese wirken hygroskopisch und können die Transpiration begrenzen – sommertrockene Perioden können so überwunden werden. Neben der Trockenstresstoleranz besitzt Quinoa eine hohe Nährstoffeffizienz. Beides beruht vermutlich auf dem sehr tiefgründigen Wurzelsystem sowie der transpirationsmindernden Blattbehaarung [4].

In Deutschland wurde Quinoa bisher nur im Versuchsmaßstab angebaut. Dort zeigt diese Kultur jedoch mit durchschnittlich 34 dt/ha im Vergleich zu anderen Pseudocerealien relativ hohe Kornerträge [37]. Die Ertragsleistung der Ganzpflanze schwankt dabei zwischen 62 und 126 dt/ha bei einer mittleren Entwicklungszeit von der Saat bis zur Druschreife von knapp 140 Tagen [3].

Spezifische Untersuchungen zur Kulturart Quinoa als Substrat zur Biogasnutzung sind nur teilweise vorhanden. In dreijährigen Parzellenversuchen zur Zweikulturnutzung des Technologie- und Förderzentrums wurde Quinoa neben anderen Zweitfrüchten getestet [36], zeigte im Vergleich zu Mais und Sorghum eine deutlich frühere Abreife und erreichte schon nach etwa 100 Tagen Siloreife bei Trockenmasse-Erträgen von etwa 70 dt/ha. Spezielle Untersuchungen von Parametern zur Abschätzung des Biogaspotenzials sind nicht verfügbar.

Für die Fruchtfolgegestaltung stellt Quinoa eine gute Ergänzung dar, da sie mit keiner anderen gängigen Kulturpflanze verwandt ist und für einen Großteil der verbreiteten Schaderreger nicht als Wirtspflanze dient. Damit lassen sich Probleme zu enger Frucht-

folgen abmildern. Zudem bereichern die farbenfrohen Fruchtstände das Landschaftsbild und können damit zu einer vielfältigen Agrarlandschaft beitragen.

3 Zielsetzung

Vor dem zuvor beschriebenen Hintergrund wurden in den Jahren 2011 bis 2014 die Kulturen Buchweizen und Quinoa sowie zum Vergleich die Referenzen Einjähriges Weidelgras und Sommerroggen auf ihre Eignung als späte Zweitfrüchte für die Biogasnutzung geprüft. Dazu wurde an zwei Standorten eine Sortenauswahl der Kulturen jeweils zu zwei Saatterminen nach der Ernte von Ganzpflanzengetreide angebaut. Zusätzlich wurden in Gewächshausversuchen die Wassernutzungseffizienz sowie der Einfluss einer gestaffelten Stickstoffdüngung auf das Ertragspotenzial und die Abreife ausgewählter Buchweizen- und Quinoasorten geprüft.

Das Gesamtziel des Projekts ist es, belastbare Daten zum Zweitfruchtanbau von Buchweizen und Quinoa, die bisher nur gering in der Biogasproduktion Verwendung finden, zu erarbeiten. Auf Basis der Ergebnisse sollen standortspezifische Empfehlungen für die Praxis abgeleitet, Landwirte entsprechend beraten und damit der Anbau von Buchweizen und Quinoa gefördert werden. Durch fundierte Beratungsmaßnahmen soll die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Landwirtschaft im Bereich der Biogasproduktion verbessert und damit die zukünftige Energiebereitstellung aus dieser regenerativen Quelle nachhaltig sichergestellt werden.

Folglich leistet das Forschungsprojekt einen Beitrag zu einer nachhaltigen Energiebereitstellung, indem

- ökologisch nachhaltige Anbausysteme durch die Erhöhung der Biodiversität im Energiepflanzenanbau entwickelt werden,
- durch die Nutzung von Kulturarten, die mit den verbreiteten Ackerkulturen nicht verwandt sind, die Selbstregulation von Agrarökosystemen gestärkt werden soll,
- durch ein spätes und langanhaltendes Blütenangebot in der Agrarlandschaft der Erhalt von Blütenbesuchern gefördert und die Interessen von Imkern unterstützt werden,
- durch den erfolgreichen Anbau später Zweitfrüchte der Erntezeitpunkt der Vorkultur auf einen Termin außerhalb der Brut- und Setzzeiten von Wildtieren verschoben werden kann,
- eine ökonomisch nachhaltige Substratproduktion durch eine Erhöhung der Flächenproduktivität, eine Entzerrung von Arbeitsspitzen sowie eine effiziente Ausnutzung des Maschinenparks gefördert wird,
- die Biogasproduktion sozial nachhaltig gestaltet wird. Das bedeutet, dass der Multifunktionalität der Agrarlandschaft (Erholungsfunktion, Artenschutz) Rechnung getragen und gleichzeitig das Einkommen im ländlichen Raum gefördert wird.

Im Detail wurden folgende Schwerpunkte bearbeitet:

- Ermittlung der Ertragsleistung verschiedener Buchweizen- und Quinoasorten als Ganzpflanzensilage bei unterschiedlichen Saatzeitpunkten in Feldversuchen,
- Vergleich der Ertragsleistung dieser neuen Kulturen mit Einjährigem Weidelgras und Sommerroggen als Alternativkulturen für das Fruchtfolgenfenster als späte Zweitfrucht,
- Ermittlung der Substratqualität sowie der Methanausbeute,
- Untersuchung der Einflussfaktoren Trockenstress und Stickstoffversorgung auf das Abreifeverhalten der geprüften Arten und Sorten in Gewächshausversuchen,
- Vergleich der Wassernutzungseffizienz der verschiedenen Sorten und Auswahl der für die angestrebte Fruchtfolgestellung am besten adaptierten Sorten mittels der ¹³C-Isotopen-Analyse,
- Fundierte Beratung für die landwirtschaftliche Praxis und damit Förderung des Anbaus dieser ökologisch wertvollen Kulturen (Bienenweide, Erweiterung des Artenspektrums).

4 Material und Methoden

4.1 Versuchsstandorte und klimatische Bedingungen

Der Versuch wurde an den Standorten Straubing (Gäuboden) und Aholting (Donauaue) zu jeweils zwei Saatterminen (früh und spät) über die Jahre 2011 bis 2013 angelegt. Die beiden Saattermine werden zur Simulierung von verschiedenen Vorfrüchten mit verschiedenen Ernteterminen gewählt.

Der Standort Straubing zeichnet sich durch gute Böden mit einer guten Wasserspeicherkapazität und hoher Ackerzahl aus. Aholting hingegen als leichterer Standort bietet mittlere Böden mit geringer Wasserspeicherkapazität. Hierdurch soll der Einfluss von Sommertrockenheit und damit verbundenem Wasserstress auf das Pflanzenwachstum der zu prüfenden Sorten untersucht werden. In Tabelle 1 sind grundlegende Parameter zu den Standorten aufgeführt.

Tabelle 1: Standortdaten der Versuchsstandorte im Versuchsjahr 2012

| Standort | Ackerzahl | Temperatur in ° C | Niederschlag in mm | Bodentyp | Bodenart | Vorfrucht |
|-----------|-----------|----------------------|-----------------------|--------------------|----------|--------------------------------|
| Straubing | 73–76 | 9,0* | 716* | Parabraun- erde | uL | Winter- weizen ¹ |
| Aholting | 45 | 9,0* | 723* | Braunerde | sL | Winter- roggen ¹ |

*langjähriges Temperatur- und Niederschlagsmittel von 2001 bis 2012, ¹Ernte als Ganzpflanze zur GPS-Nutzung

Zur besseren Beurteilung der Standortunterschiede hinsichtlich der klimatischen Bedingungen während der einzelnen Vegetationszeiten der drei Versuchsjahre sind in Tabelle 2 beide Standorte monatsweise beschrieben. Hinsichtlich der Temperatur unterscheiden sich beide Standorte über die drei Versuchsjahre nur marginal. Bei der Wasserversorgung konnte vor allem im Jahr 2011 ein um ca. 70 mm höheres Niederschlagsniveau am Standort Aholting festgestellt werden. Dies spiegelt sich auch in der Wasserbilanz wider. Vor allem das Jahr 2013 war geprägt durch Witterungsextreme. Innerhalb der Anbauzeit Juni bis Oktober ist an beiden Standorten deutlich die geringe Wasserversorgung besonders im Monat Juli erkennbar, die sich bis in den August hineinzog. Dies spiegelt sich ebenso in der negativen Wasserbilanz wider.

Tabelle 2: Ausgewählte Klimadaten im Anbauzeitraum 2011, 2012 und 2013 getrennt nach Standort

| | Standort | | | | | |
|--------------------------|------------------|------|--------------------|-------|--------------------|--------|
| | Straubing | | Aholting | | Aholting | |
| 2011 | | | | | | |
| Monat | Temperatur in °C | | Niederschlag in mm | | Wasserbilanz in mm | |
| Juni | 17,1 | 17,4 | 98,3 | 112,7 | -4,6 | 10,1 |
| Juli | 16,4 | 16,4 | 113,3 | 141,2 | 14,1 | 43,7 |
| August | 18,7 | 18,8 | 73,2 | 96,1 | -22,6 | 1,9 |
| September | 15,3 | 15,2 | 49,7 | 59,1 | -8,3 | 1,3 |
| Oktober | 8,5 | 8,4 | 48,8 | 46,2 | 19,4 | 15,4 |
| Mittelwert/ Summe | 15,2 | 15,2 | 383,3 | 455,3 | -2,0 | 72,4 |
| 2012 | | | | | | |
| Monat | Temperatur in °C | | Niederschlag in mm | | Wasserbilanz in mm | |
| Juni | 17,3 | 17,4 | 87,1 | 121,2 | -21,7 | 15,6 |
| Juli | 18,3 | 18,6 | 85,7 | 85,4 | -21,6 | -21,6 |
| August | 18,7 | 18,9 | 156,9 | 135,2 | 55,4 | 36,7 |
| September | 13,8 | 13,8 | 42,0 | 32,8 | -11,6 | -22,9 |
| Oktober | 7,9 | 7,8 | 30,7 | 33,1 | 5,6 | 8,3 |
| Mittelwert/ Summe | 15,2 | 15,3 | 402,4 | 407,7 | 6,1 | 16,1 |
| 2013 | | | | | | |
| Monat | Temperatur in °C | | Niederschlag in mm | | Wasserbilanz in mm | |
| Juni | 16,2 | 16,4 | 114,7 | 140,3 | 27,6 | 37,7 |
| Juli | 20,4 | 20,8 | 7,0 | 12,6 | -125,1 | -126,5 |
| August | 18,6 | 18,5 | 71,1 | 72,5 | -27,5 | -26,0 |
| September | 13,4 | 13,4 | 53,0 | 71,3 | 21,9 | 20,0 |
| Oktober | 9,4 | 9,4 | 54,6 | 52,7 | 29,6 | 24,5 |
| Mittelwert/ Summe | 15,6 | 15,7 | 300,4 | 349,4 | -73,5 | -70,3 |
| langjähri- ges Mittel | 14,9 | 14,9 | 381,1 | 324,7 | - | - |

Im Vergleich zum langjährigen Mittel (Tabelle 3) zeigte sich im Jahr 2011 im Monat Juli eine Temperaturabsenkung um knapp 10 %. Im Gegensatz dazu lagen die Temperaturen im Oktober um 10 % höher. Ansonsten waren die Temperaturen im Mittel nur margi-

nal verschieden zum langjährigen Mittel, was auch die absoluten Werte mit 0,32 °C und 1,7 °C anzeigen. Bei dem Niederschlag hingegen zeigte sich im Mittel vor allem am Standort Aholting im Monat Juli ein Plus von 87 %, welches sich in der Aufsummierung der Monate auf ein Niederschlagsplus von 130,6 mm absolut steigerte. Für das Jahr 2012 konnte nur ein marginaler Unterschied zum langjährigen Mittel für die Temperatur festgestellt werden. Der Niederschlag hingegen war, über die Summe der Vegetationszeit, im Vergleich zum langjährigen Mittel am Standort Aholting um 83 mm im absoluten Vergleich höher. Im Jahr 2013 zeigten vor allem die Monate Juli (14,8 %) und Oktober (11,9 °C) höhere Temperaturen. Der Unterschied bezüglich der Niederschläge war aber weitaus prägnanter. Besonders im Monat Juli zeigte sich an beiden Standorten ein Niederschlagsdefizit. Die Niederschläge lagen um ca. 85 bis 92 % deutlich unterhalb des langjährigen Mittels. In Summierung der absoluten Monatswerte war vor allem am Standort Straubing die Wasserversorgung um -80,7 mm reduziert.

Tabelle 3: *Relative Abweichung des Temperaturmittels und der Niederschlagssumme zum langjährigen Mittel (1961 bis 1990) für die Monate Juni bis Oktober sowie absolut als Mittelwert bzw. Summe getrennt nach Standort, Jahr und Monat*

| Standort | Temperatur in °C | | Niederschlag in mm | |
|----------------------|--|----------|--------------------|----------|
| | Abweichung zum langjährigen Mittel, relativ in % | | | |
| | Straubing | Ahofling | Straubing | Ahofling |
| 2011 | | | | |
| Juni | 3,6 | 4,8 | 7,8 | 47,1 |
| Juli | -9,4 | -9,9 | 32,8 | 87,0 |
| Aug | 6,9 | 7,4 | -15,2 | 21,0 |
| Sep | 10,1 | 10,1 | -22,7 | 16,1 |
| Okt | 1,2 | 0,0 | -9,6 | 9,2 |
| Mittel/Summe absolut | 0,32 | 1,7 | 0,44 | 130,6 |
| 2012 | | | | |
| Juni | 4,8 | 4,8 | -4,5 | 58,2 |
| Juli | 1,1 | 2,2 | 0,5 | 13,1 |
| Aug | 6,9 | 8,0 | 81,8 | 70,3 |
| Sep | -0,7 | 0,0 | -34,7 | -35,6 |
| Okt | -6,0 | -7,1 | -43,1 | -21,7 |
| Mittel/Summe absolut | 0,32 | 2,0 | 4,26 | 83,0 |
| 2013 | | | | |
| Juni | -1,8 | -1,2 | 25,8 | 83,2 |
| Juli | 12,7 | 14,8 | -91,8 | -84,8 |
| Aug | 6,3 | 5,7 | -17,6 | -8,7 |
| Sep | -3,6 | -2,9 | -17,6 | 40,1 |
| Okt | 11,9 | 11,9 | 1,1 | 24,6 |
| Mittel/Summe absolut | 0,72 | 4,1 | -80,7 | 23,6 |

4.2 Versuchsdurchführung und Versuchsanlage

Die Aussaat von acht Buchweizen- und neun Quinoasorten, sowie als Referenzkulturen jeweils eine Sorte Einjähriges Weidelgras und Sommerroggen, erfolgt per Drillsaat nach

Vorfrucht Getreide, welches als Ganzpflanzen geerntet wird. Die Referenzkulturen werden als Vergleichskulturen angebaut, um Buchweizen und Quinoa mit bereits etablierten Kulturen für die Biogasnutzung vergleichen zu können. In Abhängigkeit vom Jahr und Standort variieren die Saattermine für die frühe Saat vom 07.06. bis 05.07., wohingegen die späte Saat vom 28.06. bis 24.07. durchgeführt wird. In Tabelle 4 sind die Saat- und Erntetermine für die einzelnen Versuchsjahre aufgeführt.

Tabelle 4: Vegetationsperioden für die Jahre 2011 bis 2013 getrennt nach Standort

| | Aussaat | Ernte | Vegetationsdauer | Wärmesumme |
|----------------|---------|--------------------|------------------|---------------|
| Versuchsjahr | | | in d | in °C |
| 2011 | | | | |
| Straubing früh | 15.06. | 23.09. | 100 | 1720 |
| spät | 12.07. | 21.10. | 101 | 1557 |
| Aholting früh | 15.06. | – | – | – |
| spät | 16.07. | 18.10. | 94 | 1470 |
| 2012 | | | | |
| Straubing früh | 05.07. | 11.10. | 98 | 1598 |
| spät | 24.07. | 23.10. | 91 | 1369 |
| Aholting früh | 07.06. | 17.09. | 102 | 1864 |
| spät | 28.06. | 08.10. | 102 | 1734 |
| 2013 | | | | |
| Straubing früh | 18.06. | 30.09. | 103 | 1831 |
| spät | 11.07. | 10.10./ *22.10. | 92/ 104 | 1504/ 1611 |
| Aholting früh | 17.06. | 24.09. | 99 | 1796 |
| spät | 09.07. | 14.10. | 97 | 1576 |

*Aufgrund eines Defektes am Grünguternter konnten die Parzellen der Quinoasorten erst am 22.10. geerntet werden.

Nach der Beerntung der Vorfrucht erfolgt die Grundbodenbearbeitung mittels Grubber, um keine unnötige Verdunstung der Bodenoberfläche zu begünstigen. Das Saatbett wird im Anschluss durch eine Kombination aus Kreiselegge und Packerwalze bereitet. An beiden Standorten erfolgt die Saat von Buchweizen und Quinoa mit einem Reihenabstand von 14 cm und einer Saatstärke von 200 keimfähigen Körnern/m². Die Referenz-

kulturen werden mit 350 keimfähigen Körnern/m² (Sommerroggen) und 1000 keimfähigen Körnern/m² (Weidelgras) ausgesät. Um auf einen erhöhten Unkrautdruck am Standort Aholting reagieren zu können und nicht wie im Jahr 2011 die Parzellen verwerfen zu müssen (siehe Zwischenbericht 1), wurden die Quinoavarianten um die Untervariante „weiterer Reihenabstand, 30 cm“ zusätzlich zum normalen Reihenabstand erweitert. Damit bestand die Möglichkeit einer mechanischen Unkrautbekämpfung. Exemplarisch ist der Versuchsplan für den Standort Aholting für das Jahr 2012 in Abbildung 2 aufgeführt. Als weitere unkrautunterdrückende Maßnahme wurden zusätzlich drei der neun Quinoasorten mit doppelter Saatstärke (nur in 2012) ausgesät. Damit soll geprüft werden, ob die erhöhte Pflanzenzahl eine verbesserte Konkurrenzkraft gegenüber den Unkräutern bewirkt. Informationen zu den angebauten Sorten sind in Tabelle 5 verfügbar.

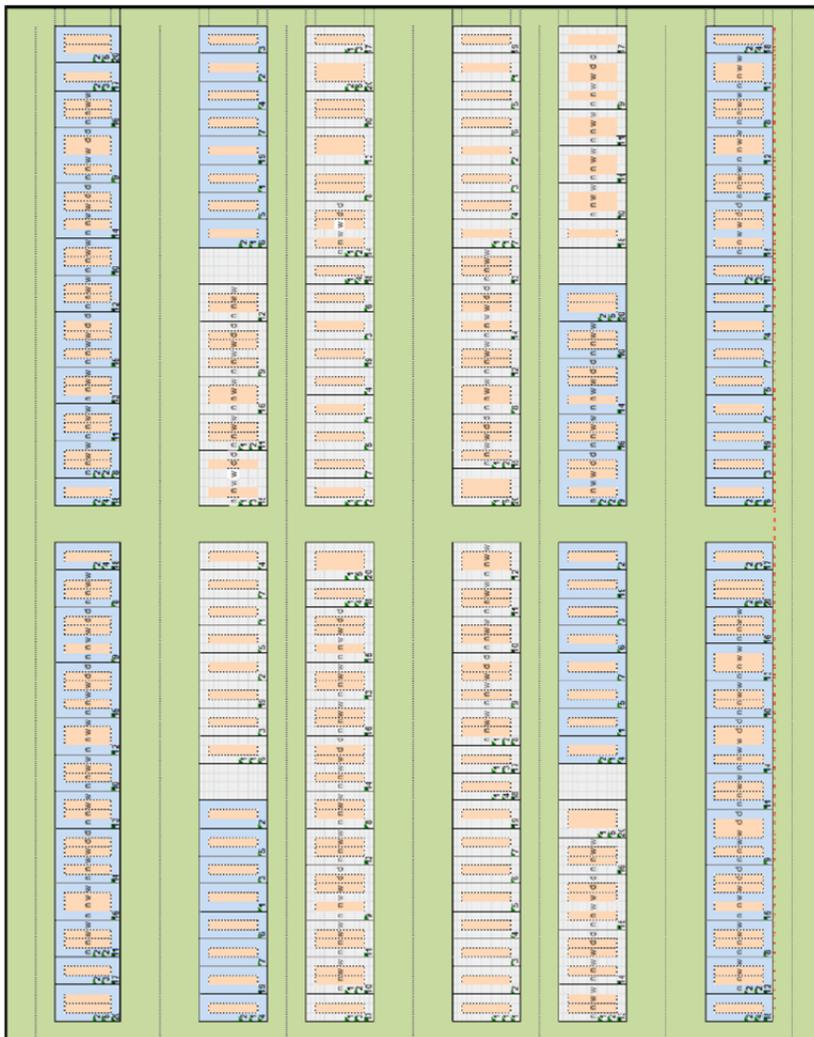


Abbildung 2: Versuchsanlage am Standort Aholting 2012 (weiße Felder: Saattermin 1; blaue Felder: Saattermin 2)

Tabelle 5: Beschreibung des verwendeten Saatmaterials

| Art | Sorte | TKG in g | Keimfähig- keit in % | Mittlere Wuchs- höhe in cm | Stabw. ¹ | Rispenfärbung/ Stängelfarbe |
|-----------------------------|---------------------|-------------|----------------------------|----------------------------------|---------------------|--------------------------------|
| <i>Fagopyrum tataricum</i> | Lifago | 14,0 | 91 | 102 | 9,9 | grünlich |
| <i>Fagopyrum esculentum</i> | Spacinska | 27,0 | 93 | 100 | 9,0 | rötlich |
| | Zita | 32,8 | 96 | 101 | 7,5 | " |
| " | Panda | 28,5 | 94 | 99 | 8,7 | " |
| " | Kora | 25,5 | 87 | 100 | 8,2 | " |
| " | Tussi* | 29,0 | 85 | 96 | 7,6 | grünlich |
| " | Lileja | 27,7 | 87 | 101 | 7,6 | rötlich |
| " | Jana | 30,0 | 81 | 99 | 9,1 | " |
| " | Billy ² | 38,0 | 90 | 103 | 3,5 | " |
| " | Bamby ² | 18,0 | 88 | 95 | 4,9 | " (rosa Blüten) |
| " | Oberon ² | 42,0 | 60 | 94 | 6,4 | rötlich |
| <i>Chenopodium quinoa</i> | Zeno | 5,1 | 72 | 80 | 12,1 | violett-braun |
| | Puno | 2,8 | 75 | 102 | 12,9 | rot-braun |
| " | Titicaca | 3,0 | 88 | 96 | 12,6 | gelb braun |
| " | Atlas | 3,2 | 75 | 97 | 13,5 | grün |
| " | Carmen | 3,2 | 70 | 84 | 16,6 | violett-gelb |
| " | Pasto | 2,2 | 78 | 67 | 8,8 | grün (dunkel) |
| " | Faro | 2,5 | 88 | 127 | 13,0 | grün (hell) |
| " | 407 | 2,6 | 89 | 117 | 17,0 | rot-lila |
| " | Tango | 2,8 | 88 | 100 | 14,9 | gelb-grün |
| <i>Lolium multiflorum</i> | Hannah | 2,7 | 85 | 81 | 6,2 | grün |
| | Angus ² | 4,5 | 82 | 73 | 5,3 | grün |
| <i>Secale cereale</i> | Ovid | 39,0 | 85 | 110 | 8,4 | grün |

¹Standardabweichung, ²Anbau nur in 2013, *Sorte Tussi ist eine Kreuzung zwischen gewöhnlichem Buchweizen (nicht selbstfertil) und wildem Buchweizen (selbstfertil)

Die Stickstoffdüngung erfolgt mittels Kalkammonsalpeter nach Analyse des Bodenstickstoffgehalts (N_{\min}) in den Tiefen 0–30, 31–60 und 61–90 cm. Unter Anrechnung des N_{\min} wird auf einen angestrebten Sollwert von 80 kg N/ha aufgedüngt. Der N_{\min} -Gehalt des Bodens schwankte jahresbedingt im Bereich von 20 bis 60 kg N/ha, sodass eine mineralische Düngung von mindestens 30 bis 60 kg N/ha erfolgte. Pflanzenschutzmittel jeglicher Art wurden nicht verwendet.

Nach erfolgreicher Saat werden, getrennt nach Arten und Sorten, der Feldaufgang, wochenweise das BBCH und kurz vor Ernte die Wuchshöhe bonitiert. Ebenso erfolgt eine Bonitur von Lager und Unkrautdruck.

Die Ernte wird mit einem Parzellen-Grünguternter mit automatischer Probenahme durchgeführt, nachdem Probenschnitte von Pflanzenmaterial der angebauten Sorten einen Trockensubstanzgehalt von mindestens 28 % erreicht haben.

4.3 Ernte und Probenaufbereitung

Direkt am Feld wird die Frischmasse aller Varianten und jeder Wiederholung über eine im Grünguternter integrierte Waage bestimmt. Für die weiteren Qualitätsuntersuchungen werden Frischmasseproben von ca. 2 kg in perforierte Crisp Bags abgepackt und der Trocknung zugeführt. Hierzu erfolgt eine Trocknung im Trockenschrank bei 60 °C bis zum Erreichen der Gewichtskonstanz. Zur Bestimmung des Trockensubstanz-Gehalts (TS-Gehalt) wird jeweils eine separate Probe bei 105 °C getrocknet, zurückgewogen und das Probenmaterial anschließend verworfen. Dieses Verfahren wird in den Richtlinien des Bundessortenamtes [6] als Methode 1: „Bestimmung des Trockensubstanzgehalts an separater Feldprobe“ für Mais beschrieben.

4.4 Durchgeführte Analysen

Die Ermittlung der wertgebenden Inhaltsstoffe wird in Anlehnung an die Futtermittelanalytik vorgenommen und gibt Aufschluss über die Zusammensetzung des Pflanzenmaterials und dessen Verdaulichkeit. Neben der Quantifizierung von Rohasche, Rohprotein, Rohfett, Rohfaser und N-freien Extraktstoffen nach dem Weender Verfahren [20] erfolgte eine Erweiterung der Analyse nach van Soest (NDF, ADF und ADL) [20]. Zusätzlich ausgewiesen werden die Gehalte an Stärke und ELOS (Enzymatisch Lösliche Organische Substanz). Die Analysen wurden vom Landeskontrollverband Brandenburg e.V. unter Verwendung der nachfolgenden Standardprozeduren durchgeführt. Die Mineralstoffanalysen wurden durch die Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft unter Leitung von Herrn Dr. Blum durchgeführt, die ¹³C-Isotopenanalyse durch den Lehrstuhl für Grünlandlehre der TUM mit Sitz in Freising unter Leitung von Dr. Schäufele. Die Messung der Methanausbeute erfolgte innerhalb der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft durch das Institut für Landtechnik und Tierhaltung unter Leitung von Herrn Dr. Weber. Eine Kooperation mit der Forschergruppe des Interdisziplinären Zentrums für Nachhaltige Entwicklung (IZNE) der Georg-August-Universität Göttingen unter der Leitung von Dr. Benedikt Sauer ermöglichte die Analyse von Spurenelementen. Abschließend sind in Tabelle 6 die Bezugsquellen des verwendeten Saatgutes aufgeführt.

Rohasche (XA): VDLUFA, MB Bd. 3, Kap. 8.1

Rohprotein (XP): über die Bestimmung des Stickstoffgehaltes (Dumas) nach VDLUFA MB. Bd. 3, Kap. 4.1.2; Multiplikation von Gesamt-N mit dem Faktor 6,25 ergibt den Rohproteingehalt der Ausgangssubstanz

Rohfett (XL): VDLUFA, MB Bd. 3, Kap. 5.1.1

Rohfaser (XF): VDLUFA, MB Bd. 3, Kap. 6.1.2

N-freie Extraktstoffe (NfE): rechnerische Ermittlung aus der Differenz zwischen organischer Trockenmasse und der Summe aus Rohfett-, Rohprotein- und Rohfasergehalt

NDF (van Soest): Neutral Detergent Fiber, VDLUFA, MB Bd. 3, Kap. 6.5.1, Fraktion enthält die Summe der Gerüstsubstanzen

ADF (van Soest): Acid Detergent Fiber, VDLUFA, MB Bd. 3, Kap. 6.5.2, Fraktion enthält Zellulose und Lignin; die Differenz zwischen ADF und ADL entspricht somit dem Gehalt an Zellulose

ADL (van Soest): Acid Detergent Lignin, VDLUFA, MB Bd. 3, Kap. 6.5.3, Differenz zwischen ADF und ADL entspricht dem Gehalt an Zellulose

Stärke: VDLUFA, MB Bd. 3, Kap. 7.2.1

ELOS: VDLUFA, MB Bd. 3, Kap. 6.6.1

Mineralstoffe: salpetersaurer Druckaufschluss der getrockneten und gemahlten Pflanzenprobe mit anschließender Messung der Elemente mittels ICP-OES

¹³C-Isotopen-Diskriminierung: Vermahlung der getrockneten Pflanzenprobe mittels Kugelmühle mit anschließendem Einwiegen von 0,7 mg in Zinnkapseln und Messung des Isotopes ¹³C über einen Isotope Ratio Mass Spectrometer (Delta plus, ThermoFinnigan), der gekoppelt ist an einen Elemental Analyser (NA 1108, Carlo Erba) und eine Pyrolyseeinheit (HT Sauerstoffanalysator, Hekatech). Dabei wird das ¹³C/¹²C-Verhältnis einer Substanz oder Pflanzenprobe mit dem Isotopenverhältnis (¹³C/¹²C) einer weltweit einheitlich definierten und festgelegten Referenz (Standard) verglichen. Das δ¹³C ist ein relativer Wert, der verwendet wird, um geringste Änderungen in der Isotopenzusammensetzung darzustellen [10]. δ¹³C-Werte werden in Promille (‰) angegeben [10].

Methanausbeute: Für die Bestimmung der Biogas- und Methanausbeute erfolgt eine Auswahl von je 15 Sorten Buchweizen und Quinoa. Das ausgewählte Spektrum soll eine Aussage zum Einfluss von Art, Sorte und Saatzeitpunkt erlauben. Ziel ist die generelle Einstufung der beiden Kulturarten hinsichtlich ihres Biogas- und Methanbildungspotentials. Die Auswahl der Proben erfolgt anhand der über drei Jahre gezeigten Ertragsleistung sowie der erzielten Trockensubstanzgehalte als Voraussetzung für eine möglichst verlustfreie Silierbarkeit. Die Untersuchung erfolgt in Anlehnung an die VDI Richtlinie 4630 zur Durchführung von Gärversuchen [17]. Das Substrat (getrocknetes, auf 1 cm gemahltes Pflanzenmaterial) wird in 2-l-Fermentern mit einem Standardinokulum angesetzt und ausgefault. Ebenso werden Fermenter nur mit Inokulum als Blindwert und

mit einer Referenzsubstanz (Zellulose zur Normierung des Umsatzes) sowie einem Kontrollsubstrat (Mais) angesetzt. Die in je drei Wiederholungen gebildete Gasmenge wird zu einer Mischprobe zur Untersuchung der Gaszusammensetzung vereint. Die Gasmenge wird stündlich mit Milligaszählern® (Ritter, Bochum, Deutschland) festgehalten. Pro 1,5 l gesammelte Gasmenge erfolgt automatisch eine Gasanalyse bezüglich der Gehalte an CO₂, CH₄ und O₂ über eine Anlage von AWITE (Langenbach, Deutschland). Die Gärversuche laufen standardgemäß unter mesophilen (38 °C) Bedingungen über 28 bis 35 Tage.

Ergänzend dazu wird eine rechnerische Kalkulation der Methanausbeuten und -erträge nach der Methode von Weißbach [38] vorgenommen. Auf Basis des Vergleichs der Daten der Batchanalysen und der rechnerisch ermittelten Werte soll eine erste Einschätzung vorgenommen werden, inwieweit sich das Biogaspotenzial von Buchweizen- und Quinoasorten auch anhand rechnerischer Modelle näherungsweise bestimmen lässt.

Die Methode von Weißbach basiert auf den Ergebnissen der Weender Futtermittelanalyse (Rohfaser, Rohasche) beziehungsweise der Einbeziehung der enzymatisch löslichen organischen Substanz (ELOS) zur Berechnung der fermentierbaren organischen Trockensubstanz (FoTS). Folgende Schätzgleichungen nach Weißbach wurden verwendet:

- $FoTS = 969 - (XA) + 0,26(XF) - 0,0030(XF)^2$
(Gras intensive Nutzung, 1. und 2. Schnitt)
- $FoTS = 1000 - (XA) - 0,62(EuIOS) - 0,00022(EuIOS)^2$
(Gras alle Intensitätsstufen und Aufwüchse)
- $FoTS = 983 - (XA) - 0,82(XF) - 0,00022(XF)^2$
(für Sommerroggen: Getreideganzpflanzensilage)

Spurenelementanalyse: Hierfür wurden verschiedene Buchweizen- und Quinoasorten sowie Standorte und Saattermine ausgewählt. Diese das eigentliche Projekt ergänzenden Analysen bieten die große Chance, einen möglichen weiteren Vorteil der Kulturen im Einsatz als Biogassubstrat aufzuzeigen. Die Analysen umfassen unter anderem folgende Parameter: Cobalt, Kupfer, Eisen, Mangan, Molybdän, Natrium, Nickel und Zink. Aufgrund der in Kapitel 1 beschriebenen Wichtigkeit der Elemente Cobalt und Nickel werden nur die Ergebnisse dafür präsentiert.

Der Probenumfang der verschiedenen Pflanzenproben setzte sich im Jahr 2012 wie folgt zusammen:

Buchweizen: jeweils Saattermin 1 & 2: Sorten Jana, Kora, Lifago, Lileja, Panda, Spacinska, Tussi, Zita

Quinoa: jeweils Saattermin 1 & 2: Sorten 407, Atlas, Carmen, Faro, Pasto, Puno, Tango, Titicaca, Zeno

Zusätzlich wurden insgesamt 37 Bodenproben genommen.

Der Probenumfang im Jahr 2013 setzte sich wie folgt zusammen:

Amarant: Aus einem Exaktversuch zur Kulturart Amarant mit zwei Saatterminen, der in *Berichte aus dem TFZ 39 (2015)*

direkter Nähe zum Versuchsfeld angelegt war, wurden 65 bzw. 10 Proben genommen.

Sorghum: Aus Exaktversuchen in unmittelbarer Nähe:

4 Sorten zu je einem Saattermin
(EUG 121 F, Farmsorgho, Freya, GK Emese)

Mais: Aus Exaktversuchen in unmittelbarer Nähe:

6 Sorten zu je einem Saattermin
(AgroGas, Cannavaro, Fernandez, Palmer, PR 38 H 20, Ronaldinio)

Buchweizen: 5 Sorten zu je zwei Saatterminen
(Billy, Kora, Lileya, Oberon, Spacinska)

Quinoa: 4 Sorten zu je zwei Saatterminen
(407, Faro, Pasto, Tango)

Als Probenmaterial werden jeweils drei bis vier Pflanzen aus Einzelparzellen beerntet. Die Einzelpflanzen werden dabei mithilfe eines sauberen, handelsüblichen Zackenmessers in einer Wuchshöhe von 10 cm abgetrennt und parzellenweise in Plastiksäcken zusammengefasst. Bei der Entnahme wird darauf geachtet, dass die Proben nicht den Boden berühren, um den Anteil der anhaftenden Erdpartikel möglichst gering zu halten.

Als Ausgangsbasis für die Ermittlung von ergänzenden Kenn- bzw. Korrekturwerten werden in regelmäßiger Verteilung über den Standort auch Bodenproben gezogen. Die Proben werden mit dem Spaten entnommen und repräsentieren somit den obersten Bodenhorizont (Tiefe: ca. 20 cm), der durch Umlagerungen homogenisiert wurde. Die lufttrockenen, gesiebten Bodenproben werden anschließend hinsichtlich pH-Wert und Bodenart analysiert und deren Korngrößenverteilung mithilfe eines Laser-Diffraction-Size-Analyzers (Typ: LS 13 320, Hersteller: Fa. Beckmann Coulter) bestimmt.

Im Folgenden werden sowohl das Pflanzenmaterial als auch die Feinböden bei 105 °C im Trockenschrank bis zur Gewichtskonstanz getrocknet und mit der Achatkugelmühle (Fritsch PULVERISETTE Typ 05.102) analysenfein gemahlen. Im Zuge der Probenvorbereitung für die Bestimmung der Elementkonzentrationen werden die pulverisierten Boden- und Pflanzenproben zusammen mit Blind- und Referenzproben im seriellen Säuretotalaufschlussverfahren in Anlehnung an Sauer und Ruppert [35] unter Einsatz eines hochreinen Gemisches aus 65%iger Salpetersäure (HNO₃), 40%iger Flusssäure (HF) und 70%iger Perchlorsäure (HClO₄) vollständig in Lösung gebracht. Die Multielementanalysen erfolgen über die Methoden der Inductively Coupled Plasma – Optical Emission Spectrometry (ICP-OES) am Gerät Optima 3300 DV (Perkin Elmer) sowie der Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometry (ICP-MS) am Gerät ELAN DRC II (Perkin Elmer).

Um eine verfälschte Darstellung der Elementkonzentrationen in den Pflanzen durch anhaftendes Bodenmaterial an den Pflanzenoberflächen zu vermindern, werden die Elementgehalte der Pflanzenproben über ein mathematisches Korrekturverfahren mit der Titankonzentration der Pflanze und des Bodens verrechnet. Da dieses bodenbürtige

Element unter den betrachteten Bedingungen nicht in die Pflanze verlagert wird, können so die absoluten Elementgehalten bereinigt und somit physiologische Gehalte ermittelt werden [35].

Saatmaterial: Das Saatgut von den Saatgutlieferanten bzw. Züchtern wurde weitestgehend kostenlos als Versuchssaatgut zur Verfügung gestellt. Ein besonders intensiver Austausch mit Bezug zur weiteren Züchtungsausrichtung von Buchweizen und Quinoa fand mit Herrn Prof. Dr. Zeller und Herrn Dr. Dobos statt. In Tabelle 6 sind die Bezugsquellen des Versuchssaatguts aufgeführt.

Tabelle 6: Bezugsquellen des Versuchssaatguts für Buchweizen und Quinoa

| Saatgutlieferant | Art | Sorte |
|--|------------|--------------------------------|
| DSV Saaten | Buchweizen | Lifago |
| Feldsaaten Freudenberger | " | Spacinska, Kora, Panda, Lileja |
| Prof. Dr. Friedrich Zeller | " | Tussi* |
| Bohumir Cagas | " | Zita |
| Szymon Suchecki | " | Kora, Panda |
| Saatbau Linz (Thomas Kerschbaummayr) | " | Billy |
| Saatzucht Gleisdorf | " | Bamby |
| Universität Hohenheim | Quinoa | Faro, 407, Tango |
| Dr. Georg Dobos | " | Zeno |
| Vandijke Semo (Henk van Dijke) | " | Carmen, Atlas, Pasto |
| University of Copenhagen (Sven Jacobsen) | " | Puno, Titicaca |

*Tussi ist eine Kreuzung zwischen einem gewöhnlichen Buchweizen (nicht selbstfertil) und einer wilden Buchweizenart, die selbstfertil ist.

4.5 Gewächshausversuche

4.5.1 Trockenstress

Neben einer schnellen Abreife ist eine hohe Trockentoleranz für einen erfolgreichen späten Zweitfruchtanbau ein wichtiges Kriterium. Besonderes Augenmerk soll daher auf die Wassernutzungseffizienz der geprüften Kulturen gelegt werden, um einerseits die Ertragssicherheit im Zweitfruchtanbau zu verbessern und andererseits den Bodenwasserhaushalt möglichst wenig zu beeinträchtigen. Dafür sind Kulturarten und Sortentypen gefragt, die mit der Ressource Wasser möglichst effizient umgehen. Der innovative An-

satz über die Analysen der ^{13}C -Isotopen-Diskriminierung ermöglicht schnelle und verlässliche Aussagen zur Wassernutzungseffizienz und damit eine Einordnung der einzelnen Sorten.

Im Forschungsgewächshaus des TFZ werden Topfversuche zur Ermittlung der Trockenstresstoleranz von verschiedenen Buchweizen- und Quinoasorten durchgeführt. Im Feldversuch ist man ohne hohen versuchstechnischen Aufwand von den Witterungsbedingungen abhängig, sodass nicht mit Sicherheit Bedingungen mit Wassermangel auftreten. In sechs Wiederholungen werden die Buchweizensorten Lifago, Spacinska, Lileja und Kora sowie die Quinoasorten Zeno, Puno, Faro und 407 und zum Vergleich die Referenzen Einjähriges Weidelgras (Sorte Hannah) und Sommerroggen (Sorte Ovid) mit je vier Saugspannungsstufen (50, 200, 350, 500 hPa) bewässert. In einem Folgeversuch bei Buchweizen werden die Wasserstufen auf Basis der erhaltenen Ergebnisse abgeändert. Da die Stufen 200, 350 und 500 hPa keine signifikanten Unterschiede im TM-Ertrag aufwiesen (Abbildung 34), die Stufe 50 hPa gegenüber den anderen Stufen aber signifikant höhere TM-Erträge lieferte, wurde die Stufe 500 hPa durch die Zwischenstufe 125 hPa ersetzt. In Abbildung 3 ist der Versuchsaufbau exemplarisch für Quinoa dargestellt.



Abbildung 3: Topfversuch Quinoa zum Einfluss von Trockenstress auf die Ertragsleistung von vier Quinoasorten sowie der Referenzen Einjähriges Weidelgras und Sommerroggen

Für den Topfversuch werden Pflanztöpfe mit einem Volumen von 20 l mit einem Erde-Sand-Gemisch im Verhältnis 2 : 1 verwendet. Die Saattiefe sowohl bei den Quinoasorten als auch bei den Buchweizensorten beträgt 20 Körner pro Topf. Das Einjährige Wei-

delgras wird mit 100 Kö/Topf und der Winterroggen mit 35 Kö/Topf ausgesät. Im weiteren Verlauf wird die Pflanzenanzahl pro Topf auf zwölf für Buchweizen und Quinoa reduziert. Bis zum BBCH-Stadium Blüte (BBCH 60, Ausnahme Tatarischer Buchweizen Lifago: BBCH 33) erfolgt für alle Töpfe (Arten und Sorten) eine einheitliche Bewässerung auf 50 hPa. Nach ca. einem Monat, bei Erreichen des BBCH-Stadiums 60, werden die geplanten Wasserstufen eingestellt und bis zur Ernte eingehalten. Die Saugspannung wird mittels eines Tensiometers (Steck Tensiometer Premium, Firma bambach GbR) eingestellt und überwacht. Die Ernte erfolgt nach ca. drei Monaten, wenn die Pflanzen einen TS-Gehalt von 28 % erreicht haben. Dazu wird die oberirdische Biomasse abgeschnitten, topfweise verwogen und bei 105 °C getrocknet. Durch Rückwiegen der Proben können der TM-Ertrag sowie der TS-Gehalt ermittelt werden.

4.5.2 Stickstoffdüngung

Stickstoff ist der Nährstoff mit der höchsten Wirkung auf das Pflanzenwachstum. Dieser Effekt ist einerseits von Vorteil, da er zu höherem Biomassewachstum und höherer Ertragsleistung führt. Dahingegen verzögert sich bei vielen Kulturen aber auch die Abreife, da die Seneszenz später einsetzt. Damit stellt sich auch der gewünschte TS-Gehalt erst später ein. Um den Einfluss von Stickstoff auf das Abreifeverhalten sowie die Ertragsleistung bei Buchweizen und Quinoa zu testen, wird ein Gewächshausversuche mit einer gestaffelten Stickstoffdüngung durchgeführt. Die Stickstoffmengen sind 0, 40, 80, 120 kg N/ha, bei den Quinoasorten kommt zusätzlich die Stufe 160 kg N/ha zum Einsatz. Die Düngung der verwendeten Buchweizensorten (Spacinska, Kora, Lifago, Lileja) erfolgt ab BBCH 55 (Lifago bei BBCH 53) je nach Stickstoffvariante zu drei Terminen mit jeweils 40 kg N/ha wöchentlich. Die Quinoasorten (Faro, Puno, Zeno, Carmen, 407) wurden analog mit Stickstoff versorgt, wobei die vierte Stickstoffstufe zum Erreichen der Stufe 160 kg N/ha eine weitere Düngung mit 40 kg N/ha bedingte. Als Stickstoffdünger wird ein Universaldünger von der Firma Evertis (Produkt: Universol® Orange) eingesetzt. Die Ausrichtung der angewendeten Einsatzmengen richtet sich nach dem Gehalt an Stickstoff. Analog zum Gewächshausversuch zum Trockenstress werden die gleichen Töpfe sowie das gleiche Erde-Sand-Gemisch verwendet. Die Wasserversorgung erfolgt ebenso über eine automatische Bewässerung. Zur Sicherstellung einer ausreichenden Wasserversorgung wird die Saugspannung auf 50 hPa (gute Wasserversorgung) eingestellt und mittels eines Tensiometers überwacht. Nach ca. drei Monaten wird der Versuch topfweise beerntet. Dazu wird die oberirdische Biomasse abgeschnitten, verwogen und bei 105 °C getrocknet. Durch Rückwiegen der Proben können der TM-Ertrag sowie der TS-Gehalt ermittelt werden.

4.6 Statistische Auswertung

Der Feldversuch wurde in einer randomisierten Spalt-Anlage mit vier Wiederholungen angelegt, die Gewächshausversuche in einer randomisierten Block- bzw. Spaltanlage.

Für die statistische Datenanalyse der TM-Erträge und der TS-Gehalte (Feld- und Gewächshausversuche) sowie der ^{13}C -Isotopenanalysen wird die Software SAS Version 9.3 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) verwendet. Im Vorfeld werden die Daten auf Varianzhomogenität und Normalverteilung geprüft. Die Varianzanalysen werden mittels der Prozedur Mixed ausgeführt. Zusammenhänge zwischen Parametern (v. a. Methanausbeute und Inhaltsstoffen) werden mittels der Prozedur Korr geprüft. Signifikante Unterschiede beruhen auf einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 %. Für die grafische Darstellung wird das Programm OriginPro 9.0 (OriginLab, Northampton, MA, USA) verwendet.

5 Ergebnisse und Diskussion

5.1 Bestandsentwicklung innerhalb der Jahre 2011 bis 2013

Jahr 2011

Am Standort Straubing war das Auflaufverhalten der Buchweizensorten gut bis sehr gut. Dahingegen wurden bei Quinoa sortenbedingt Lücken im Bestand festgestellt, was auf teilweise schlechte Keimfähigkeit des Saatguts zurückzuführen ist. Da der Unkrautdruck am Versuchsstandort Straubing sehr gering ist, konnten die Lücken im Ertrag kompensiert werden und die Etablierung des Bestandes war erfolgreich. Der weitere Wachstumsverlauf zeigte keine Auffälligkeiten. Weder waren Krankheiten im nennenswerten Maß aufgetreten, noch kam es zu Problemen mit Unkräutern.

Die Buchweizensorten weisen, bis auf die Sorte Lifago (Tatarischer Buchweizen) und die auf Selbstfertilität gezüchtete Linie Tussi, eine gewisse Lagerneigung auf (siehe Anhang Abbildung 49). Die Sorte Lifago hat mehr Blattmasse und ihre Stängel sind nicht wie bei den anderen Sorten rötlich verfärbt, sondern grünlich-rot. Außerdem sind ihre Blütenstände leicht grünlich und deutlich kleiner.

Die Linie Tussi zeigt als einziger Gewöhnlicher Buchweizen grüne Stängel und ist in der Wuchshöhe um 4 bis 8 % kleiner. Ansonsten gibt es innerhalb der Buchweizensorten nur marginale Unterschiede im Erscheinungsbild. Wie für Buchweizen bekannt sind die Blühneigung und die Blühdauer sehr ausgeprägt, was vielfältige Blütenbesucher anzieht. Dahingegen bieten die Fruchtstände der Quinoasorten während der Abreife eine herrliche Farbenpracht von grün, gelb und orange bis rosa und rot (Abbildung 2). Die Rispen zeigen einen kompakten (Sorte Zeno) bis lockeren (Sorte Faro) Wuchs. Auch die Wuchshöhen sind teilweise sehr unterschiedlich: Zeno war mit 60 cm die kleinste und Faro mit 130 cm die größte Quinoasorte.

Am Standort Aholting zeigte sich in 2011 bei Quinoa zu beiden Saatterminen schon früh ein starker Unkrautdruck, welcher sich im weiteren Verlauf verstärkte. Da in Quinoa keine Herbizide zugelassen sind und die Reihenweite zu eng für den Einsatz einer Hacke war, wurden die Quinoaparzellen verworfen und gemulcht. Um diesem Problem im nächsten Versuchsjahr zu begegnen, wurde der Versuchsplan für das Jahr 2012 angepasst und um die Varianten „erweiterte Reihenweite“ und „doppelte Saatstärke“ ergänzt. Ferner sollte das im Boden vorhandene Unkrautpotenzial durch mehrmalige Bodenbearbeitung im Frühjahr kurz vor Saat zum Auflaufen gebracht werden, was zu einer Ausdünnung des Bodensamenvorrats beitragen soll.

In den Buchweizensorten und den Referenzkulturen wurde in 2011 nach erfolgreichem Auflaufen ein Pilzbefall festgestellt, der vor allem Buchweizen in seiner Entwicklung stark beeinträchtigte. Bei Buchweizen, in dem eher kaum Pilzkrankheiten vorkommen, scheinen ungünstige Witterungsbedingungen dafür gesorgt zu haben, dass sich der Pilzbefall so stark entwickeln konnte. Im Labor wurden zwei Pilze (*Ascochyta*

sp. und *Fusarium oxysporum*) identifiziert. Im weiteren Verlauf schien der Buchweizen den Befall kompensieren zu können, der starke Unkrautdurchwuchs verhinderte jedoch die Entwicklung guter Pflanzenbestände. So wurden für den frühen Saattermin auch die Buchweizensorten verworfen. Da die beiden Referenzkulturen zum frühen Saattermin ebenfalls einen Pilzbefall zeigten, wurden auch sie verworfen.

Der spätere Saattermin hingegen konnte den Buchweizen nicht in seiner Entwicklung beeinträchtigen, sodass im Oktober 2011 erfolgreich geerntet werden konnte. Anders war es bei den Kulturen Quinoa, Einjähriges Weidelgras und Sommerroggen, die alle gemulcht werden mussten, da sich ähnlich zum frühen Saattermin das Unkraut zu stark ausgebreitet hatte.

Jahr 2012

Nach erfolgreicher Aussaat liefen beide Kulturen nach ca. acht Tagen auf. Im weiteren Verlauf schlossen sich vor allem bei Buchweizen schnell die Reihen, sodass es zu keinem nennenswerten Unkrautdruck kam. Ebenso etablierten sich die Quinoabestände überwiegend gut, sodass auch hier kein ertragsmindernder Unkrautdruck auftrat (Abbildung 4).



Abbildung 4: Dichter Reihenschluss bei beiden Kulturen, links Quinoa, rechts Buchweizen

Am Standort Straubing zeigte sich nach ca. zwei Wochen für die Sorten des Saattermins 1 ein immer stärker werdender Einbruch der Bestände im Wuchsverhalten. Nach Eruierung der Gründe konnte ein Herbizidschaden ausgemacht werden. Ein in der Vorfrucht eingesetztes Herbizid (Mischung: Husar/Hoestar, beides Sulfonylharnstoffe) hatte scheinbar im Boden überdauert und sorgte für die massiven Ausfälle. Daher musste der Versuch am Standort Straubing umgebrochen und neu angelegt werden, was eine Verschiebung der Saattermine nach sich zog. Um den zeitlichen Abstand der beiden Saattermine beizubehalten, wurde der Saattermin 2 in Straubing dementsprechend angepasst und ebenfalls auf einen späteren Termin verschoben. Hierdurch

konnten jedoch zwei Fragestellungen indirekt beantwortet werden. Erstens scheinen Herbizide bei Buchweizen und Quinoa bestens zu wirken, sodass ein Durchwuchs in Nachfrüchten nicht zu erwarten ist. Zweitens konnte die Auswirkung eines sehr späten Saattermins auf Bestandsentwicklung, Abreife und Ertragsleistung untersucht werden.

Am Standort Aholting zeigte die Quinoasorte Pasto, zu Saattermin 2 gesät, einen lückenhaften Aufgang, konnte dies im Folgenden aber kompensieren. Zu Saattermin 1 zeigten die Quinoasorten Titicaca, Carmen, Pasto, Faro, 407 und Tango üppige und dichte Bestände. Die Variante Reihenweite 30 cm zeigte sortenunabhängig ebenfalls einen guten Aufgang mit dichten, üppigen und homogenen Beständen. Die Parzellen mit der Variante Reihenweite 30 cm schlossen im Schnitt zu BBCH 33 die Reihen. Die Parzellen mit der Variante normaler Reihenabstand von 14 cm schlossen teilweise schon eher die Reihen (BBCH 30). Ähnlich wie im Versuchsjahr 2011 fielen die Quinoasorten durch eine beeindruckende, farbenfrohe Abreife auf. Abbildung 5 zeigt die Sorte 407 im ertefähigen Zustand.



Abbildung 5: Abgeerntete Kern- und noch stehende Randparzellen am Standort Aholting, Quinoasorte 407

Im Gegensatz zu den Buchweizensorten konnte für die Quinoasorten mit Ausnahme des Saattermins 2 am Standort Straubing kein Lager beobachtet werden. Bei der späten Aussaat Ende Juli am Standort Straubing kam es teilweise zu lagernden Quinoabeständen sowie umgeknickten Rispen. Die schweren Rispen und die kühle Witterung könnten zum Umknicken und zum Lager geführt haben. Die höher gewachsenen Sorten waren mehrheitlich betroffen, während kurzwüchsige Sorten, wie z. B. Pasto, nicht lagerten.

Die Kulturen Einjähriges Weidelgras und Sommerroggen liefen ebenfalls sehr gut auf und setzten ihr Wachstum stetig fort. Dennoch kam es bei beiden Referenzen zu erhöhtem Unkrautdruck, vor allem aufgrund der geringeren Bestockung und der geringeren Blattmasse. Auf Herbizid- sowie Pflanzenschutzmaßnahmen wurde aufgrund der Vergleichbarkeit mit Quinoa und Buchweizen, die ebenfalls keinen Pflanzenschutz erhielten, verzichtet. Krankheiten wurden bei den Buchweizen- und Quinoasorten

nicht beobachtet. Der Sommerroggen hingegen zeigte im weiteren Verlauf vor allem in Aholfung einen Befall mit Braunrost, was zu einer Wachstumsverzögerung führte. Hinzu kam, dass der Sommerroggen der frühen Saat stark ins Lager ging und nicht beerntet werden konnte.

Um etwaige Unterschiede während der Pflanzenentwicklung zu erkennen, wurden die BBCH-Stadien der Kulturen während ihrer Vegetationszeit wöchentlich bonitiert. In Abbildung 6 ist der Wachstumsverlauf der vier Kulturarten für den Standort Aholfung zum Saattermin 1 dargestellt. Es handelt sich um Durchschnittswerte der Sorten. Innerhalb des Sortenspektrums bei Buchweizen gab es, bis auf die tatarische Buchweizensorte Lifago, die sich etwas langsamer entwickelte, keine Unterschiede. Im Quinoasortiment waren die Sorten Faro und Atlas im Wachstumsverlauf etwas langsamer als die übrigen Sorten.

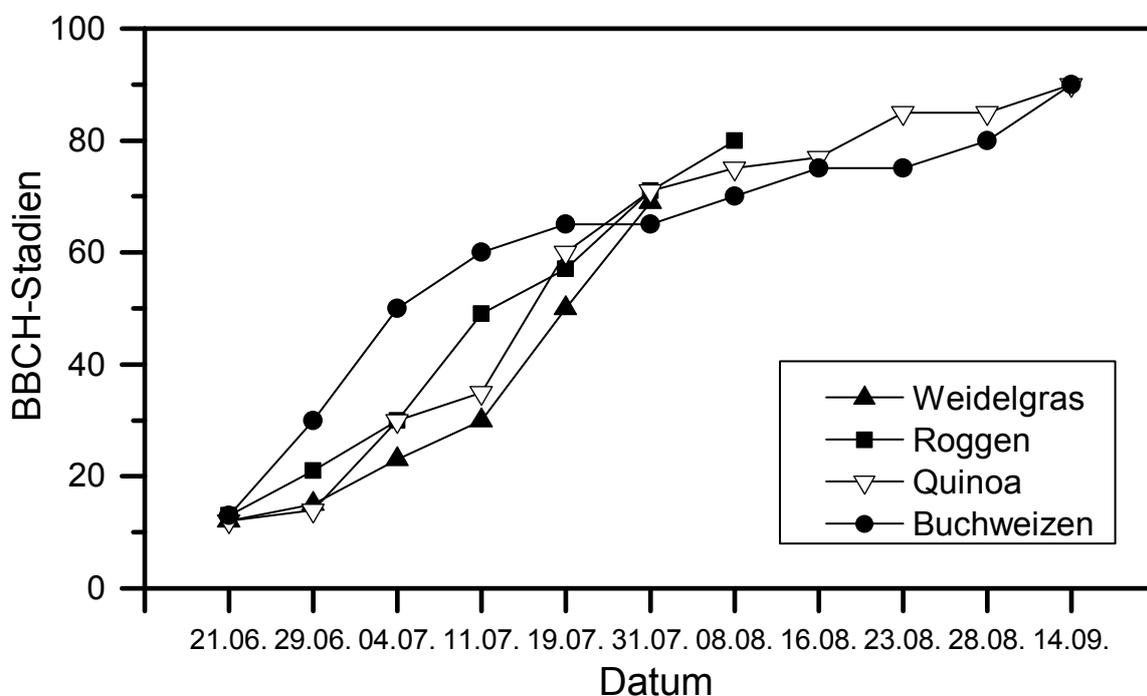


Abbildung 6: Entwicklung der Wachstumsstadien der Kulturarten am Standort Aholfung zum Saattermin 1 in 2012

Die anfängliche zögerliche Entwicklung bei Quinoa ist anhand des längeren Verharrens im BBCH-Stadium 10 gut erkennbar. Erst nach ca. zwei Wochen erreichte Quinoa BBCH 30. Buchweizen hingegen bildete schnell Blätter, wechselte zügig in das BBCH-Stadium 30 (nur ca. eine Woche Wachstumsdauer) und machte somit rasch den Bestand zu. Auch bei Weidelgras ist die anfänglich langsame Entwicklung gut zu erkennen, was sich negativ auf das Potenzial, Unkraut zu unterdrücken, auswirkte. Die Entwicklung des Einjährigen Weidelgrases ist nur bis zum ersten Schnitt dargestellt. Im weiteren Verlauf ist, bis zu BBCH 60–75, eine recht gleichmäßige Ent-

wicklung der Kulturen zu erkennen. Ab BBCH 70 entwickeln sich die Quinoasorten schneller als die Buchweizensorten. Die lange Blühdauer und die heterogene Abreife lassen Buchweizen langsamer reifen, was sich in geringeren TS-Gehalten im Vergleich zu Quinoa widerspiegelt. Gerade bei Quinoa zeigt sich die schnelle Abreife in den höheren TS-Gehalten. Bei Roggen ist vor allem die schnelle Abreife erkennbar. Ungünstige Wachstumsbedingungen (u. a. Trockenheit) haben hier scheinbar eine Art Notreife hervorgerufen.

Um den direkten Einfluss des Saattermins auf die Pflanzenentwicklung aufzuzeigen, ist in Abbildung 7 die Entwicklung der BBCH-Stadien für Ahol fing und den Saattermin 2 dargestellt. Es zeigt sich ebenso wie für den Saattermin 1 die anfänglich schnellere Entwicklung von Buchweizen bis zur Blüte. Speziell die Buchweizensorten verharren dann wesentlich länger im Stadium der Blüte als die Quinoasorten, was mit einer ungleichmäßigen Abreife einhergeht. Durch den inhomogenen Bestand lagen bei Buchweizen teilweise bis zu drei BBCH-Stadien gleichzeitig vor. Ab BBCH 60 ist die schnellere Abreife von Quinoa sichtbar.

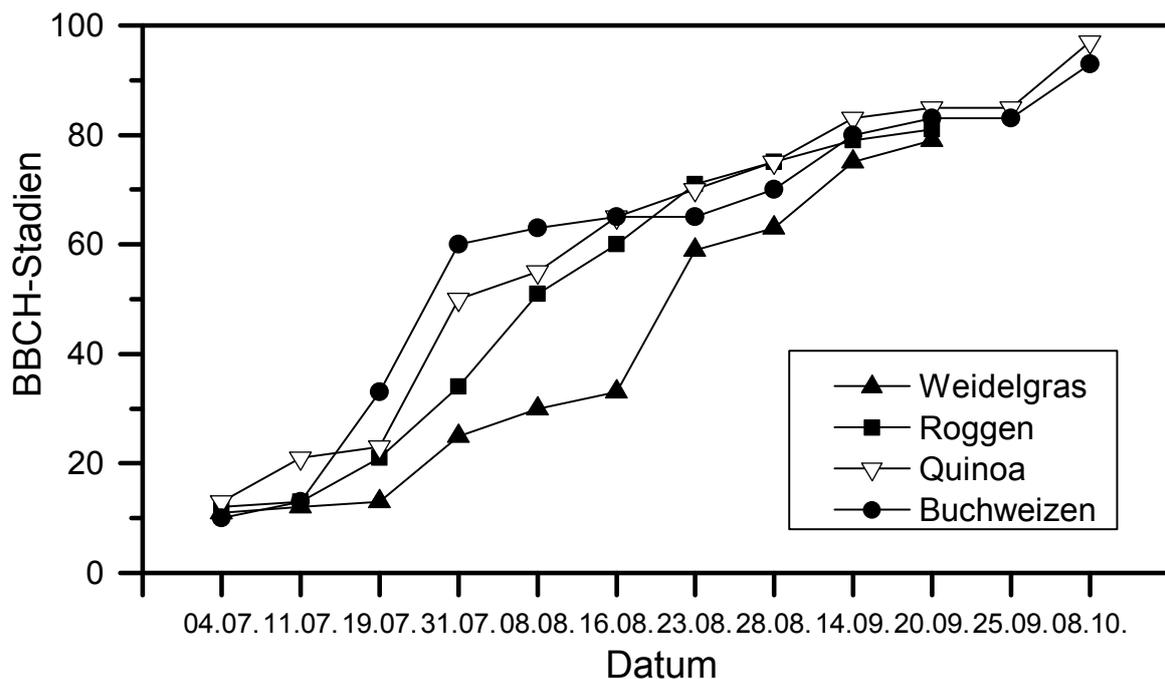


Abbildung 7: Entwicklung der Wachstumsstadien der Kulturarten am Standort Ahol fing zum Saattermin 2 in 2012

Jahr 2013

Im Jahr 2013 konnten beide Saattermine an beiden Standorten erfolgreich wie geplant durchgeführt werden. Während der Aussaat kam es zu keinen Auffälligkeiten. Die Saaten der Kulturarten des Saattermins 1 liefen nach ca. acht Tagen gleichmäßig auf und entwickelten sich gut. Mit zunehmender Trockenheit im Juli blieben die Sorten

aller Arten jedoch stehen. Besonders das Einjährige Weidelgras hatte mit der anhaltenden Trockenheit stark zu kämpfen und konnte das verpasste Wachstum nicht mehr kompensieren. Ebenso zeigte der Sommerroggen Auswirkungen der Trockenheit. Im Vergleich von Buchweizen und Quinoa zeigten vor allem die Buchweizensorten sukzessive eine Stresswirkung. Auffallend waren zuerst die schlaffen, hängenden Blätter, die sich im weiteren Verlauf einrollten (Abbildung 49). In diesem Zustand verharrten die Pflanzen im Wachstumsstillstand. Einzig die nächtliche Abkühlung und der Morgentau entspannten die Situation etwas. Die Quinoasorten hingegen zeigten kaum eine sichtbare Reaktion und bestätigten damit ihre Trockentoleranz. Mit zunehmendem Verlauf der Trockenphase wurde bei allen Kulturen ein vermindertes Längenwachstum beobachtet, das die Pflanzen vom ersten Saattermin auch nicht mehr kompensieren konnten. Dies spiegelte sich teilweise im TM-Ertrag wider. Jedoch beschleunigte der Trockenstress auch die Abreife, sodass ein Großteil der Sorten die Silierreife erreichte.

Die Pflanzen von Saattermin 2 fielen mit der Saat genau in die Trockenperiode, sodass der Aufgang teilweise sehr lückenhaft und verzögert war. Mitunter konnte noch vorhandenes Bodenwasser den Aufgang verbessern. Mit den wieder einsetzenden Niederschlägen kam es zu einer zweiten Auflaufwelle, die zur lückenlosen Etablierung der Parzellen führte. Da während der Trockenheit auch kein Unkraut wuchs, gab es keinen nennenswerten Unkrautdruck und die Reihen konnten sich schließen. Jedoch war der Wachstumsunterschied aufgrund der beiden Auflaufwellen während der gesamten Vegetationszeit gut erkennbar. Bis zur Kornfüllungsphase wurde dieser Unterschied im BBCH-Stadium vor allem bei den Quinoasorten auch nicht mehr kompensiert. Im Unterschied zu den Sorten von Saattermin 1 wirkte sich die Trockenphase nicht auf das weitere Wachstum aus.

Analog zum Versuchsjahr 2012 wurde das BBCH-Stadium bei allen vier Kulturarten wochenweise erfasst. Für das Versuchsjahr 2013 lag ein vergleichbarer Verlauf vor. Wie in den Jahren 2011 und 2012 beobachtet wechselte der Sommerroggen schnell von der vegetativen Phase in die generative Phase und konnte daher kaum bestocken (siehe Abbildung 46), was den sehr geringen TM-Ertrag erklärt. Zusätzlich wurden die Roggenpflanzen vor allem von Braunrost befallen, dies sorgte so für weitere Ertragsverluste. Das ebenso als Referenz angebaute Einjährige Weidelgras konnte nicht mit der Wuchsleistung von Buchweizen und Quinoa mithalten. Die Bestockungsleistung war gering und vor allem die Sommertrockenheit zeigte Wirkung auf die Ertragsleistung.

Zum Erntetermin hin wurde bei allen Buchweizensorten (Ausnahme: Oberon) Lagerbonitiert, wobei es bei den kürzeren Pflanzen aufgrund der mangelnden Wasserversorgung im Juli von Saattermin 1 nicht so ausgeprägt war wie bei den Pflanzen von Saattermin 2.

Im Jahr 2013 wurde das erste Mal innerhalb der dreijährigen Projektphase ein vermehrtes Vogelaufkommen in den Rispen der Quinoapflanzen am Standort Aholting

beobachtet. Auffällige Fraßspuren konnten jedoch nicht festgestellt werden. Daher wird angenommen, dass die Körner nicht gefressen wurden.

5.2 Bestandsdichte und Lagerbonitur

In Tabelle 7 ist getrennt nach Saattermin und Kulturart die Lagerbonitur aufgeführt. Ferner ist im Mittel über drei Jahre die Bestandsdichte festgehalten. Die höhere Anfälligkeit ist bei den Buchweizensorten klar erkennbar, wobei sich dies zur späteren Saat (Saattermin 2) nochmals verschlechterte. Die höhere Lagerneigung zu Saattermin 2 kann durch die geringere Ausreifung der Gesamtpflanze und den damit verbundenen geringeren Gehalt an Gerüstsubstanz erklärt werden. Dies zeigt sich auch am Parameter Rohfasergehalt bzw. ADL (Tabelle 10), der als Indikator für die Gerüstsubstanz angesehen werden kann und bei Saattermin 1 höher lag als bei Saattermin 2. Außerdem kann die eher zu Saattermin 2 vorherrschende nasskalte Witterung (geringere Temperaturen mit einem höheren Anteil an Luftfeuchte) das Lager verstärkt haben. Im Buchweizensortiment zeigten die Sorten Lifago, Tussi und Oberon die geringste Lagerneigung, die restlichen Sorten hingegen zeigten teilweise ausgeprägtes Lager. Im Vergleich der Kulturen zeigte Quinoa in Abhängigkeit vom Saattermin wesentlich weniger Lager. Vor allem die Sorten von Saattermin 1 waren sehr standfest. Auch hier wurde eine schlechtere Standfestigkeit zu Saattermin 2, wahrscheinlich aufgrund der schlechteren Witterungsbedingungen, festgestellt. Vor allem die feuchtegetränkten Rispen verschlechterten die Standfestigkeit.

Tabelle 7: Bestandsdichte und Lagerbonitur (getrennt nach Art, Sorte und Saattermin als Mittelwert der Standorte)

| Art | Sorte | Lagerbonitur | | Mittlere Bestandsdichte in Pflanzen/m ² | Standardabweichung | |
|-----------------------------|-----------|--------------|--------------|--|--------------------|----|
| | | Saattermin 1 | Saattermin 2 | | | |
| <i>Fagopyrum tataricum</i> | Lifago | 3 | 5 | 193 | 35 | |
| <i>Fagopyrum esculentum</i> | Spacinska | 4 | 7 | 193 | 40 | |
| | Zita | 5 | 7 | 208 | 54 | |
| | " | Panda | 5 | 7 | 221 | 92 |
| | " | Kora | 3 | 6 | 204 | 33 |
| | " | Tussi | 2 | 5 | 200 | 40 |
| | " | Lileja | 4 | 6 | 200 | 37 |
| | " | Jana | 5 | 8 | 206 | 10 |
| | " | Billy* | 3 | 5 | 164 | 38 |
| | " | Bamby* | 4 | 5 | 167 | 34 |
| <i>Chenopodium quinoa</i> | Oberon* | 2 | 3 | 199 | 59 | |
| | Zeno | 1 | 4 | 112 | 42 | |
| | Puno | 2 | 5 | 91 | 46 | |
| | " | Titicaca | 2 | 5 | 117 | 44 |
| | " | Atlas | 1 | 2 | 97 | 37 |
| | " | Carmen | 1 | 2 | 96 | 40 |
| | " | Pasto | 1 | 1 | 110 | 46 |
| | " | Faro | 1 | 4 | 123 | 56 |
| | " | 407 | 3 | 5 | 107 | 65 |
| <i>Lolium multiflorum</i> | Tango | 2 | 5 | 118 | 63 | |
| | Hannah | 1 | 1 | nicht erhoben | – | |
| <i>Secale cereale</i> | Angus* | 1 | 2 | nicht erhoben | – | |
| | Ovid | 2 | 4 | 262 | 33,6 | |

*wurden nur im Jahr 2013 angebaut

Bei Buchweizen erreichten alle Sorten bis auf Billy und Bamby eine Bestandsdichte von 200 Pflanzen/m², welche als Aussaatstärke (200 kf. Kö./m²) festgelegt wurde. Die Quinoasorten lagen dagegen nur bei ca. 50 % der Aussaatstärke. Die niedrige Tausendkornmasse (TKM) bei Quinoa birgt die Gefahr, dass sich ungenaue Saatablagentiefen sowie Verschlämmungen und Verkrustungen nach der Saat stärker auf die Vitalität des Keimlings auswirken. Insgesamt ist eine breite Varianz innerhalb der Be-

standsdichten beider Arten erkennbar. Jedoch konnte kein direkter Zusammenhang zwischen der Bestandsdichte und dem TM-Ertrag analysiert werden ($R^2 = 0,0011$). Somit ist anzunehmen, dass die Wuchslücken durch die bestehenden Pflanzen kompensiert wurden.

5.3 Trockenmasseertrag und Trockensubstanzgehalt

Die Ertragsparameter Trockenmasseertrag (TM-Ertrag) und Trockensubstanzgehalt (TS-Gehalt) sind neben den Inhaltsstoffen die zwei wichtigsten Kenngrößen zur Beurteilung von Biomasse zur Nutzung als Biogassubstrat. Die Varianzanalyse der Ergebnisse ist in Tabelle 8 dargestellt. Es zeigte sich ein signifikanter Einfluss aller Haupteffekte (Jahr, Ort, Saattermin, Art, Art*Sorte) sowie der höchsten Wechselwirkung (J*O*T*Art*S). Zur detaillierteren Darstellung sind im Anhang getrennt nach den Versuchsjahren 2011 bis 2013 in Tabelle 22 bis Tabelle 30 die TM-Erträge und TS-Gehalte dargestellt. Getrennt nach Standort und den Kulturarten Buchweizen und Quinoa sind die signifikanten Unterschiede mit Buchstaben gekennzeichnet.

Tabelle 8: Varianzanalyse der Versuchsfaktoren inkl. Wechselwirkungen getrennt nach Trockenmasseertrag und Trockensubstanzgehalt

| Effekt | Trockenmasseertrag | | Trockensubstanzgehalt | |
|----------------|--------------------|-----|-----------------------|------|
| | F-Wert | p | F-Wert | p |
| Jahr (J) | 16,30 | ** | 50,85 | ** |
| Standort (O) | 7,01 | * | 59,55 | ** |
| Saattermin (T) | 40,50 | *** | 11,52 | * |
| Art | 353,19 | *** | 137,09 | *** |
| Art*Sorte (S) | 48,16 | *** | 222,80 | *** |
| O*T | 8,66 | ** | 281,64 | *** |
| J*O | 28,76 | *** | 3,84 | n.s. |
| O*Art | 5,12 | ** | 47,99 | *** |
| J*O*T | 16,88 | *** | 3,69 | n.s. |
| J*O*Art | 7,21 | *** | 13,08 | *** |
| T*Art | 44,36 | *** | 4,01 | * |
| J*Art | 19,85 | *** | 44,17 | *** |
| J*T | 62,52 | *** | 17,22 | * |
| J*T*Art | 6,45 | *** | 3,38 | * |
| J*T*Art*S | 4,00 | *** | 10,23 | *** |
| O*T*Art | 23,25 | *** | 62,38 | *** |
| J*O*T*Art | 11,18 | *** | 5,26 | * |
| O*T*Art*S | 3,23 | *** | 3,59 | *** |
| J*O*T*Art*S | 2,82 | *** | 7,27 | *** |

Signifikanzniveau: *** < 0,001, ** < 0,01, * < 0,05, n. s.= nicht signifikant

5.3.1 Buchweizen

In Abbildung 8 bis Abbildung 11 sind die TM-Erträge und TS-Gehalte getrennt nach Standort und Saattermin dargestellt. Für den Saattermin 1 (Abbildung 8) ist am Standort Aholting 2011 aufgrund starken Unkrautauflommens keine Ertragsermittlung möglich gewesen.

Der TM-Ertrag am Standort Aholting (Saattermin 1) lag im Jahr 2012 bei durchschnittlich 61 dt/ha mit einer sortenbedingten Spanne von 42 bis 74 dt/ha (Abbildung 8). Die Sorte Tussi erreichte den höchsten Ertrag. Dagegen konnten die Sorten aus 2013 im Mittel nur 41 dt TM/ha erreichen. Der sortenbedingte Einfluss war dabei eher gering (Spanne: 36 bis 47 dt/ha). Generell ist das Ertragspotenzial bei Buchweizen für diese kurze Vegetationszeit relativ hoch. Das Jahr 2013 war geprägt von einer starken Tro-

ckenperiode im Juli, die sich auf die TM-Erträge mindernd auswirkte, womit auch der Unterschied der beiden Jahre im TM-Ertrag erklärbar ist.

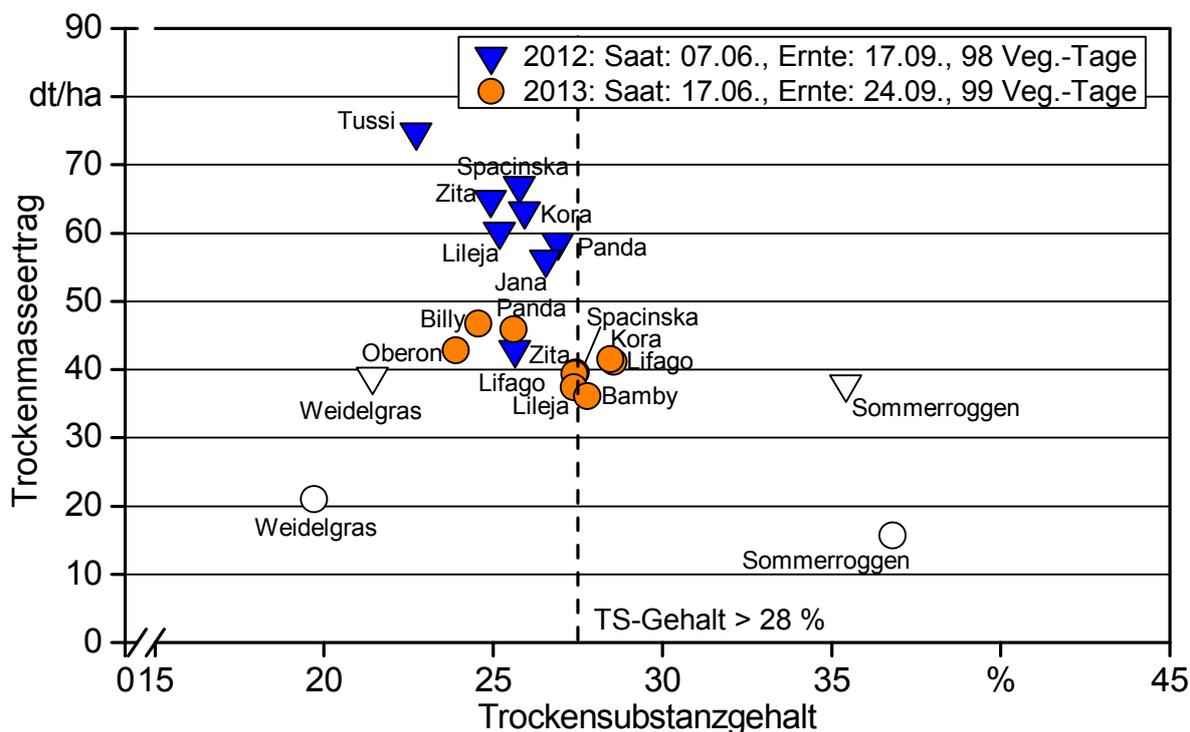


Abbildung 8: Trockenmasseertrag und Trockensubstanzgehalt für Saattermin 1 am Standort Aholting getrennt nach Jahr

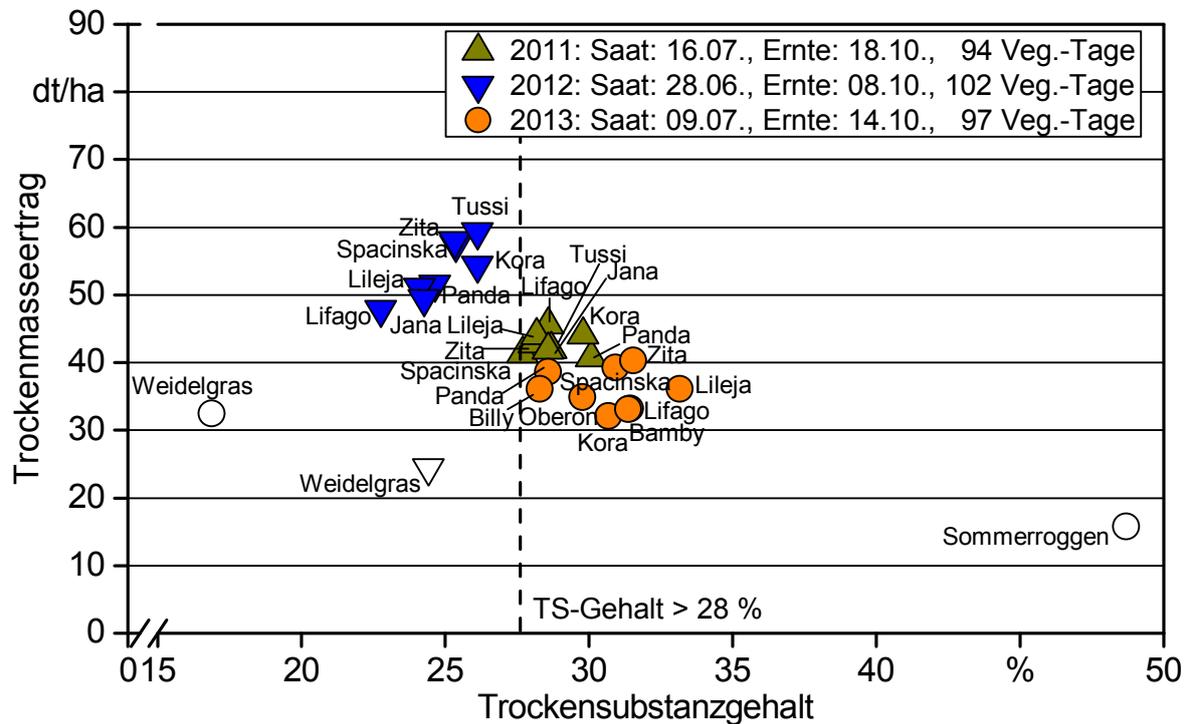
Je nach Jahreswitterung und vor allem je nach Witterungsbedingungen kurz vor der Ernte fielen die TS-Gehalte unterschiedlich aus. Der geringere TS-Gehalt vor allem der Sorten im Jahr 2012 zeigt, dass die Pflanzen noch im Wachstum waren und bei längerer Standdauer noch höhere TM-Erträge hätten liefern können. Im Vergleich erreichten die meisten Buchweizensorten 2013 einen TS-Gehalt von knapp 28 %. Die hohe Trockenheit im Jahr 2013 lässt vermuten, dass sie die Abreife beschleunigte.

Die Vergleichskulturen konnten in allen drei Jahren nicht mit dem Ertragsniveau von Buchweizen mithalten, allerdings erreichte der Sommerroggen bei dem hier gezeigten frühen Saattermin stets sicher die Silierreife.

Wird der Saattermin um ca. drei Wochen nach hinten verlagert (Saattermin 2, Abbildung 9), verringern sich die TM-Erträge. Es wurden je nach Jahr 43 dt/ha (2011), 54 dt/ha (2012) und 36 dt/ha (2013) Trockenmasse geerntet. Die Sorteneinflüsse waren eher gering.

Hinsichtlich der TS-Gehalte erreichten alle Sorten der Jahre 2011 und 2013 die Silierreife. Die Sorten aus dem Jahr 2012, die den höchsten TM-Ertrag erreichten, lagen etwas unterhalb der 28%-Marke. Es deutet sich an, dass die Abreife durch günstige, wüchsige Witterungsbedingungen wie in 2012 verlangsamt wird. Analog zu Saattermin 2 lagen die Referenzkulturen auf einem niedrigen Ertragsniveau. Die Roggensor-

te Ovid erlangte erneut die Silierreife, zu erklären durch die dünnen und rostbefallenen Bestände einhergehend mit einer beschleunigten Abreife.



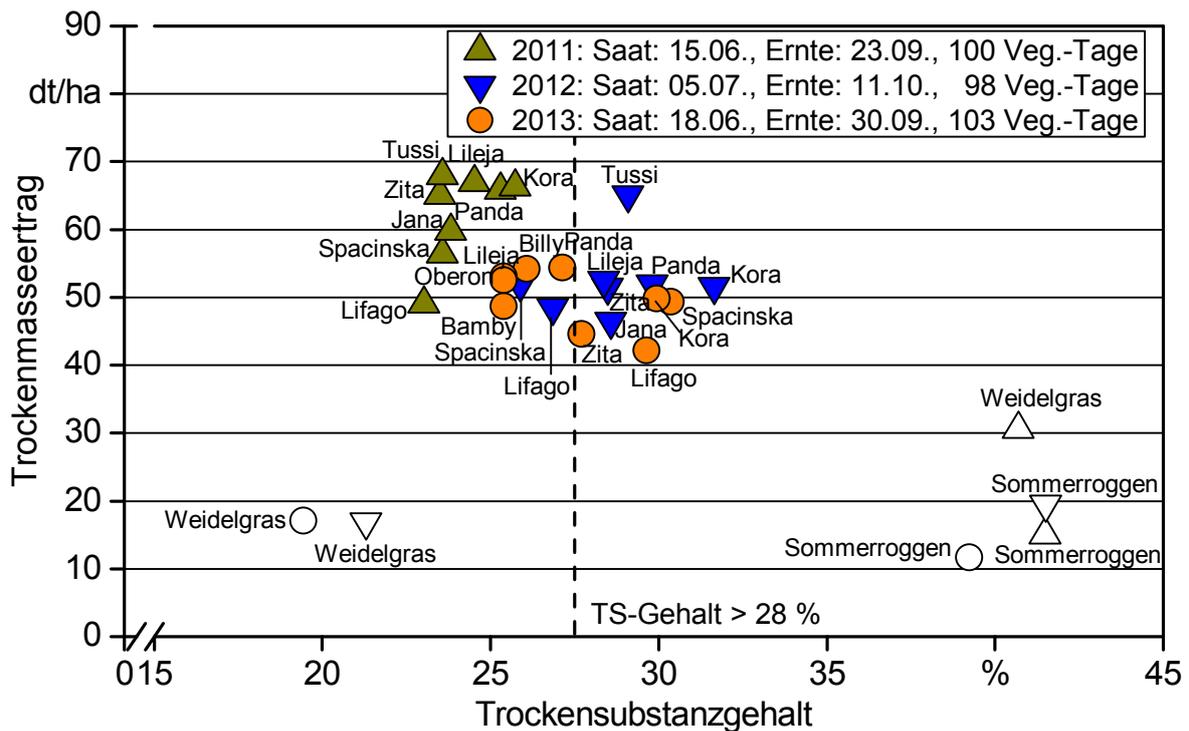


Abbildung 10: Trockenmasseertrag und Trockensubstanzgehalt für Saattermin 1 am Standort Straubing getrennt nach Jahr

Zum Saattermin 2 wurde auch eine spätere Saat mit Anfang bis Ende Juli im Versuch getestet (Abbildung 11). Hierbei war ein Abfall im TM-Ertrag bei allen Kulturen erkennbar. Die TM-Erträge bewegten sich nur noch auf einem Level von ca. 35 dt/ha bei Buchweizen, wobei wiederum die Sorte Tussi den höchsten Ertrag erzielte. Ebenfalls war der TS-Gehalt zur Ernte von der Anbauzeit beeinflusst. Einzig sechs Sorten im Jahr 2013 sowie eine Sorte im Jahr 2011 erreichten die Silierreife von 28 % TS. Somit ist für Buchweizen eine Aussaat zur Biomassennutzung Mitte Juli in günstigen Jahren möglich, ein noch späterer Saattermin wie in 2012 verhindert deutlich eine ausreichende Abreife.

Der im Allgemeinen homogene TM-Ertrag innerhalb der Buchweizensorten ist teilweise mit der Wuchshöhe zu begründen, da diese für das Buchweizensortiment nur marginal schwankt. Wie schon in Unterkapitel 5.2 beschrieben zeigte sich keine breite Varianz innerhalb der Bestandsdichten, was ebenfalls die stabilen TM-Erträge erklärt.

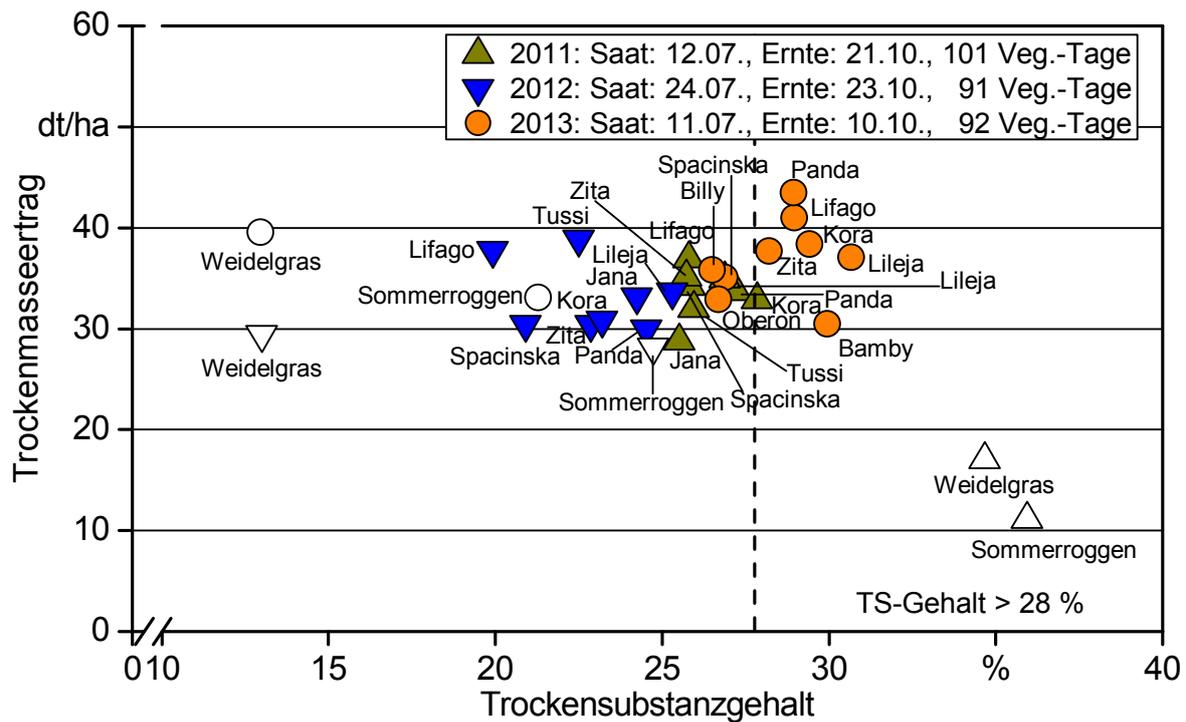


Abbildung 11: Trockenmasseertrag und Trockensubstanzgehalt für Saattermin 2 am Standort Straubing getrennt nach Jahr

Generell befanden sich die TM-Erträge von Buchweizen über die Versuchsjahre in einem Bereich von 30 bis 75 dt/ha abhängig vom Standort und dem Anbauzeitraum. Versuche von Sticksel et al. (2010) [36], die Buchweizen und Quinoa als Zweitfrucht nach Getreide GPS mit Saattermin Anfang Juni getestet haben, kamen auf TM-Erträge von bis zu 70 dt/ha bei einem TS-Gehalt von 27,4 bzw. 27,9 %. In Abhängigkeit des Saattermins können diese Ergebnisse durch das hier durchgeführte Projekt bestätigt werden. Hinsichtlich einer Sortenempfehlung auf Basis des TM-Ertrags und des TS-Gehalts zeigt sich das getestete Material als recht homogen. Einzig die tatarische Buchweizensorte Lifago ist aufgrund allgemein etwas geringerer TS-Gehalte und TM-Erträge eher als Gründung anzuraten. Ansonsten können die Sorten Kora, Panda, Spacinska, Zita und Billy angeraten werden. Die vielfach ertragsstärkste Sorte Tussi ist zwar empfehlenswert, bisher aber nur als Zuchtlinie verfügbar, d. h., für den Praxisanbau ist zurzeit kein Saatgut verfügbar.

5.3.2 Quinoa

In Abbildung 12 bis Abbildung 15 sind die TM-Erträge und der TS-Gehalt getrennt nach den Standorten und Saatterminen für Quinoa dargestellt. Die Quinoapartellen mussten im Jahr 2011 am Standort Aholting wegen zu hohen Unkrautdrucks aufgegeben werden.

Im Gegensatz zum Buchweizensortiment ist ein Sorteneffekt deutlich erkennbar (Abbildung 12). Sowohl der TM-Ertrag als auch der TS-Gehalt ist von der Sorte ab-

hängig. Der TM-Ertrag am Standort Aholfing (Saattermin 1) lag im Jahr 2012 bei durchschnittlich 55 dt/ha mit einer sortenbedingten Spanne von 42 bis 71 dt/ha (Abbildung 23). Im Jahr 2013 hingegen lag der TM-Ertrag bei 43 dt/ha (Spanne: 33 bis 56 dt/ha). Der geringere TM-Ertrag im Jahr 2013 kann durch die starke Trockenheit im Juli erklärt werden, die das Wachstum der Pflanzen behinderte. Dies konnte im Anschluss bei wieder einsetzenden Niederschlägen nicht mehr voll kompensiert werden. Die Sorte Faro erreichte in beiden Jahren den höchsten TM-Ertrag. Analog zum Buchweizensortiment ist das Ertragspotenzial von Quinoa für die kurze Vegetationszeit in Abhängigkeit von der Sorte generell hoch.

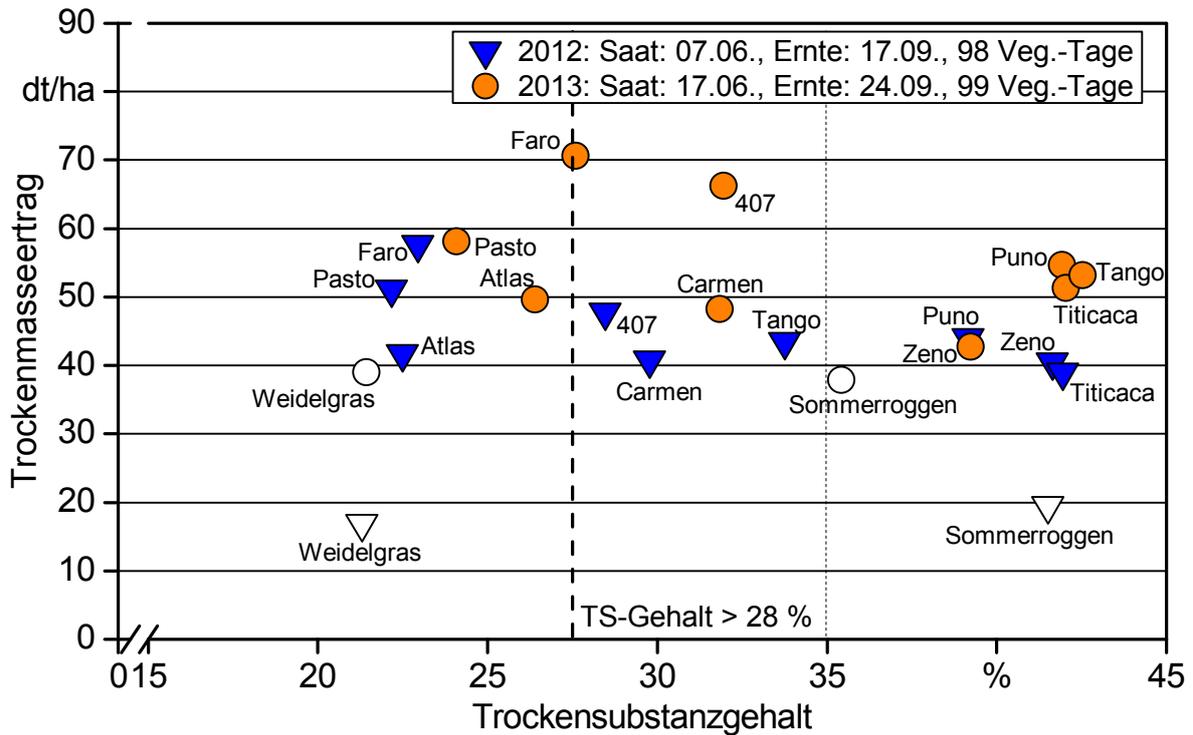


Abbildung 12: Trockenmasseertrag und Trockensubstanzgehalt für Saattermin 1 am Standort Aholfing getrennt nach Jahr

Der große Vorteil des Quinoasortiments liegt in der Heterogenität des TS-Gehalts der Sorten zur Ernte. In beiden Jahren konnte eine ähnliche Verteilung der Sorten hinsichtlich ihrer Abreifegeschwindigkeit festgestellt werden. Dabei überzeugten die Sorten Puno, Zeno, Titicaca und Tango mit hohen TS-Gehalten, die auf eine schnelle Entwicklung und zügige Abreife der Sorten hinweisen. Die Sorten 407, Carmen und Faro (im Jahr 2013) erreichten ebenfalls die Sillierreife. Dagegen blieben die Sorten Pasto, Atlas und Faro (in 2012) zu nass.

Wird der Saattermin um ca. drei Wochen nach hinten verlagert (Saattermin 2, Abbildung 13), verringern sich die TM-Erträge, wenngleich nicht so prägnant wie bei Buchweizen. Es wurden in beiden Jahren ähnliche TM-Erträge gemessen (2012: 45 dt/ha; 2013: 47 dt/ha). Dabei reichte die Spanne jahresunabhängig von 33 bis 59 dt TM/ha.

Somit ist wiederum ein deutlicher Einfluss der Sorte erkennbar. Analog zu Saattermin 1 lag Faro auf einem hohen Niveau, gefolgt von Tango im Jahr 2013. Dahingegen markierten die Sorten Zeno und Titicaca den unteren Bereich des Ertragsspektrums. Im Vergleich der Referenzen zum Quinoasortiment ist ersichtlich, dass auch hier die neu getestete Kulturart Quinoa Vorzüge aufweist.

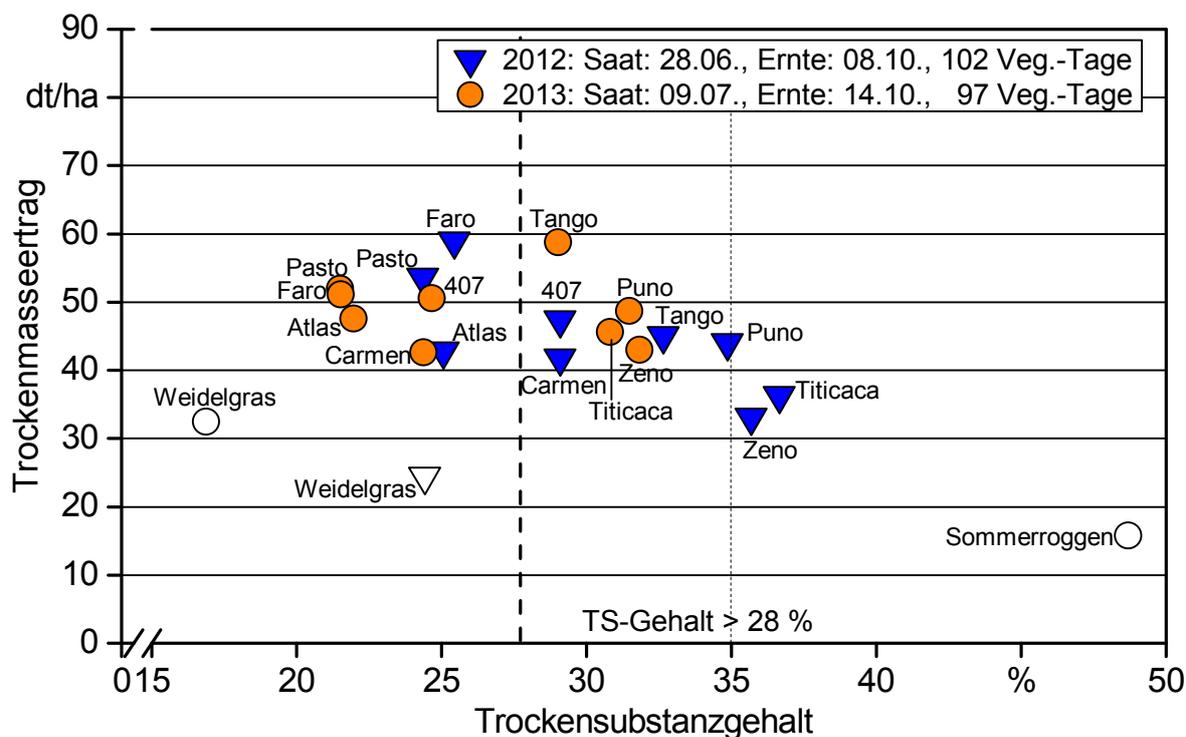


Abbildung 13: Trockenmasseertrag und Trockensubstanzgehalt für Saattermin 2 am Standort Aholting getrennt nach Jahr

Weiterhin zeigt sich die Vorzüglichkeit im Quinoasortiment bei der Schnelligkeit bis zum Erreichen der Silierfähigkeit bei 28 % TS. Selbst bei einer Aussaat Ende Juni bzw. Anfang Juli konnten bei 45 bzw. 67 % der Sorten TS-Gehalte von über 28 % erreicht werden. Stets konnten dieselben Sorten überzeugen. Je nach Jahr lagen die Sorten Puno, 407, Tango, Zeno, Titicaca und Carmen im optimalen Bereich. Dagegen blieben die Sorten Pasto, Atlas und Faro und teilweise Carmen und 407 zu nass.

Am Standort Straubing (Abbildung 14 und Abbildung 15) zeigt sich ein ähnliches Bild wie in Aholting. Die TM-Erträge von Saattermin 1 bei Quinoa über die drei Versuchsjahre (Abbildung 14) ergaben einen Mittelwert von 48 dt/ha. Das Jahr 2012 war mit 50 dt/ha am ertragsstärksten, gefolgt von 2013 mit 47 dt/ha und 2011 mit 46 dt/ha. Das Ertragspotenzial von Quinoa als Zweitfrucht ist sortenbedingt ähnlich dem von Buchweizen recht stabil über die Jahre, in Abhängigkeit von Sorte und Jahr wurde eine Spanne im TM-Ertrag von 36 bis 70 dt/ha ermittelt. Die Sorte Faro erreichte im Jahr 2011 mit 63 dt/ha und 66 dt/ha im Jahr 2012 den höchsten TM-Ertrag. Für das Jahr 2013 erzielte die Sorte Pasto mit knapp 70 dt/ha den insgesamt höchsten Ertrag.

Die Sorten Zeno und Titicaca lagen eher im unteren Drittel. Beide Referenzkulturen konnten in keinem der drei Jahre mithalten.

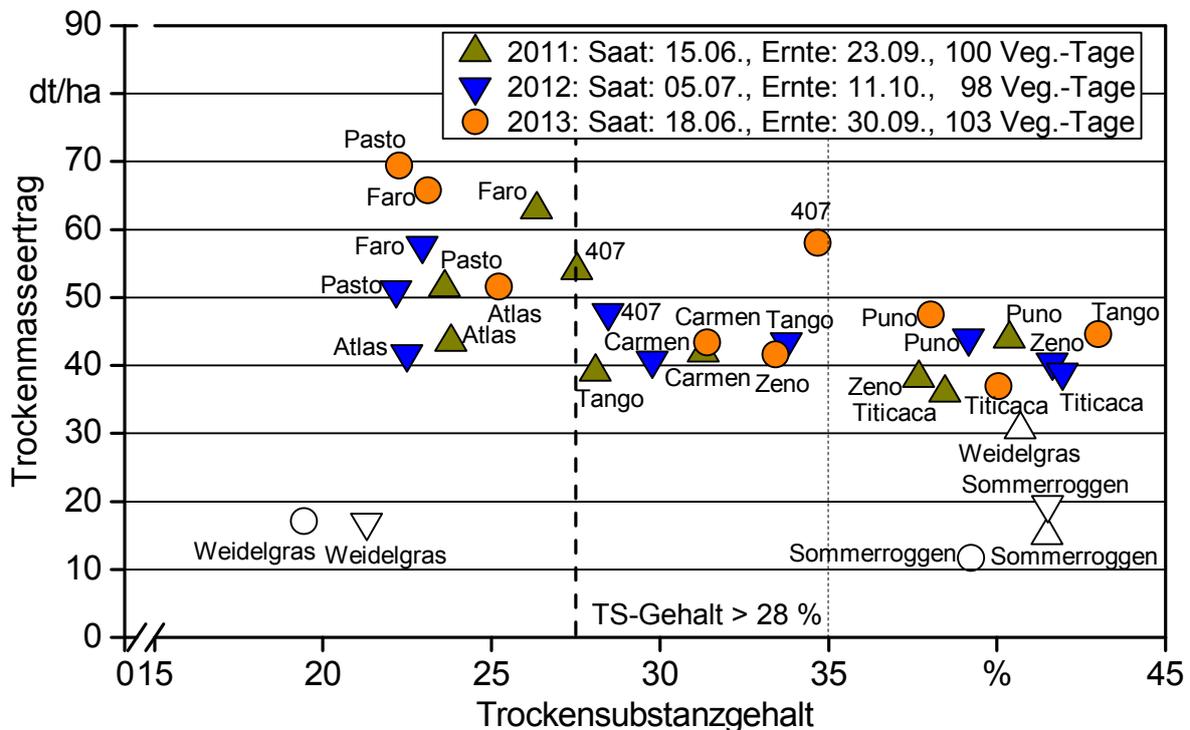


Abbildung 14: Trockenmasseertrag und Trockensubstanzgehalt für Saattermin 1 am Standort Straubing getrennt nach Jahr

Der TS-Gehalt bei den Quinoasorten lag in einem weiten Bereich von 23 bis 42 %. Diese breite Streuung ist sortenbedingt und weist auf deutliche Abreifeunterschiede im getesteten Material hin. Demgegenüber scheinen Witterungsbedingungen auf die Abreifefähigkeit keinen Einfluss zu haben, was ähnliche TS-Gehalte der Sorten in beiden Jahren andeuten. Generell erreichte der Großteil der Sorten die 28%-TS-Marke. Einige Sorten, wie z. B. Puno, Zeno und Titicaca, überschritten sogar 35 % TS und scheinen in einem noch kürzeren Vegetationszeitfenster anbauwürdig zu sein. Mit diesen Sorten hätte der Landwirt einen größeren Spielraum bei der Auswahl nachfolgender Kulturen, vor allem wenn sich die Ernte der Vorfrucht witterungsbedingt verzögert.

Im Gegensatz zum Buchweizensortiment hatte eine spätere Saat (Saattermin 2, Abbildung 15) bei den Quinoasorten bis auf das Jahr 2011 einen geringeren Einfluss. Selbst bei einer Saat Ende Juli im Jahr 2012 konnten TM-Erträge von 48 dt/ha gemessen werden. Im Jahr 2013 lag der Ertrag ebenfalls bei 48 dt TM/ha, nur in 2011 erreichte das Sortenmittel nur 33 dt/ha. Den höchsten TM-Ertrag erzielte die Sorte Faro in den Jahren 2012 und 2013 mit ca. 61 dt/ha. Wiederum lagen die Sorten Titicaca, Zeno und Atlas im unteren Bereich. Die Referenzen konnten nur im Jahr 2013 und auch nur mit ertragsschwächsten Quinoasorten mithalten.

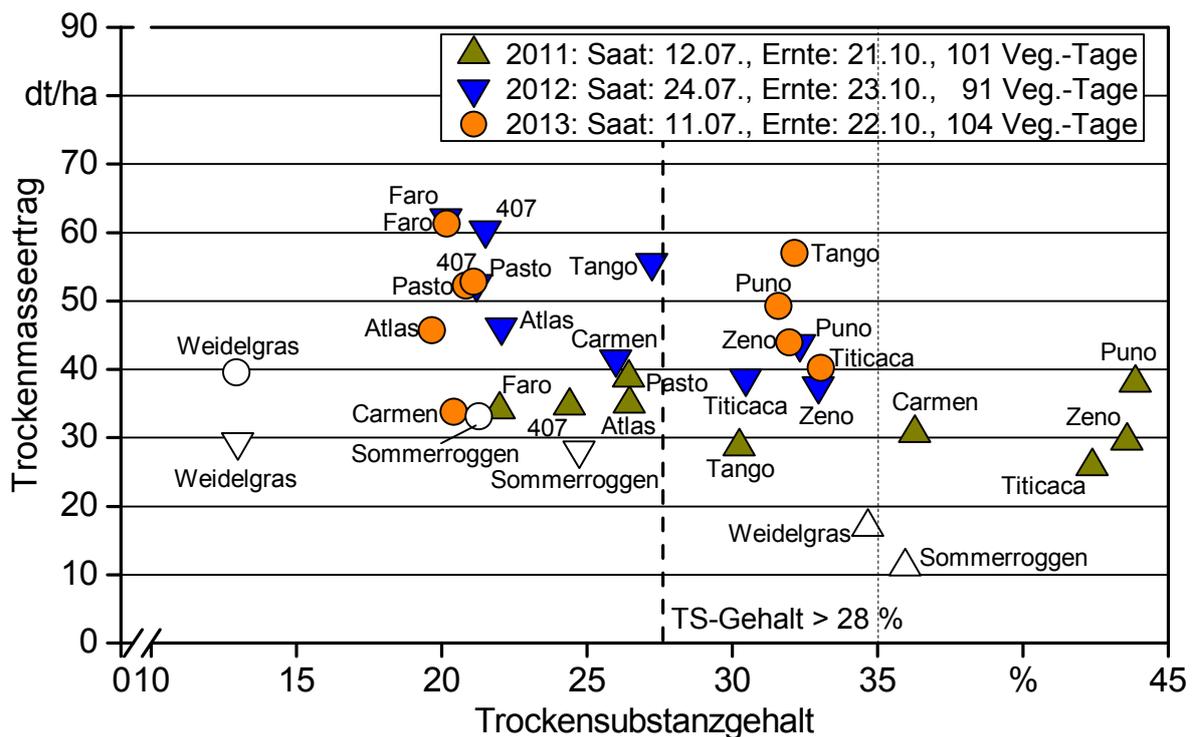


Abbildung 15: Trockenmasseertrag und Trockensubstanzgehalt für Saattermin 2 am Standort Straubing getrennt nach Jahr

Wie schon bei den vorherigen Abbildungen zeigt sich eine starke Auftrennung der Sorten nach den TS-Gehalten. In allen Jahren konnten mehrere Sorten die 28%-Marke übertreffen und waren somit sicher silierreif. Sogar bei einer sehr späten Saat am 24.07.2012 erreichten drei Sorten einen Gehalt von 30 % TS und mehr. In den Jahren 2011 und 2013 mit Saattermin Mitte Juli übertrafen 45 bzw. 57 % der Sorten die Grenze von 28 % TS.

Somit steht für Quinoa zur Biomassennutzung ein breiteres Aussaatfenster zur Verfügung und selbst Saaten nach Mitte Juli können gelingen. Beim Quinoasortiment deutet sich eine Einteilung der Sorten in spätreif (< 28 % TS), mittlereif (28 bis 35 % TS,) und frühereif (> 35 % TS) an, was eine standort- und vegetationszeitangepasste Auswahl der geeigneten Sorte zulässt.

Generell scheinen die TM-Erträge der Quinoasorten bis auf das Jahr 2011 am Standort Straubing (Saattermin 2) nur gering vom Saattermin beeinflusst zu sein. Quinoa scheint unabhängig von Standort und Saattermin je nach Sorte stabile Erträge zu leisten. Einzig Sorteneinflüsse sind klar zu erkennen und lassen sich mit einem Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,8^{***}$ mit der Wuchshöhe erklären. Dagegen korreliert die Abreife nicht mit der Wuchshöhe ($R^2 = 0,004$). Untersuchungen von Sticksel et al. (2010) [36], die Quinoa als Zweitfrucht nach Getreide GPS mit Saattermin Anfang Juni getestet haben, kamen auf TM-Erträge von bis zu 70 dt/ha bei einem TS-Gehalt von 27,9 %. Die TM-Erträge des hier vorgestellten Versuchs zeigen, dass bei einem frühe-

ren Saattermin auf beiden Standorten ebenfalls diese Mengen erreicht werden konnten.

Hinsichtlich einer Sortenempfehlung auf Basis des TM-Ertrags und des TS-Gehalts ist durch das breite Abreifespektrum eine Auswahl anhand der verfügbaren Vegetationszeit machbar. Sollte eine ausreichende Zeitspanne zum Anbau verfügbar sein, ist ein Anbau der Sorte Faro zu empfehlen, da diese die höchsten TM-Erträge erreicht, jedoch zu geringem TS-Gehalt neigt. Bei ausreichend früher Saat etwa Anfang Juni sollte auch diese Sorte einen TS-Gehalt von 28 % erzielen können. Bei kürzerer Vegetationszeit bieten sich die Sorten 407, Tango, Carmen an. Sollte durch Saat etwa Ende Juli oder frühe Flächenräumung für eine nachfolgende Winterung nur eine sehr kurze Zeit zum Anbau zur Verfügung stehen, sind die Sorten Zeno, Titicaca und Puno anzuraten.

5.3.3 Einfluss der Reihenweite und der Saatlänge auf den Trockenmasseertrag und den Trockensubstanzgehalt bei Quinoa

Bei Quinoa ist momentan kein Herbizid zugelassen, was eine Unkrautbekämpfung auf chemische Art verhindert. Es ist möglich, mechanisch mittels Striegel oder Hacke regulierend einzugreifen. Ferner besteht in der Erhöhung der Saatlänge eine Möglichkeit, die Konkurrenzkraft der Kulturpflanze gegenüber Unkräutern zu steigern. Daher sind der Einfluss des Reihenabstandes (in 2012 und 2013) und der Saatlänge (nur 2012) zusätzlich am Standort Aholting zu beiden Saatterminen geprüft wurden. Im Vergleich zur normalen Reihenweite (14 cm) wurde die Variante erweiterte Reihenweite (30 cm) getestet. Die Saatlänge wurde bei drei Sorten auf das Doppelte angehoben. Die Ergebnisse für den TM-Ertrag sind in Tabelle 9 getrennt nach Jahr und Saattermin als relative Abweichung vom Ertrag der normal geführten Varianten (= 100 %) dargestellt.

Tabelle 9: Einfluss der Reihenweite (in 2012 und 2013) und der Saatstärke (nur 2012) auf den Trockenmasseertrag von Quinoasorten relativ zur engen Reihenweite (100 %) und normaler Saatedichte (100 %) am Standort Aholting zu Saattermin 1 und 2

| Abweichung vom relativen TM-Ertrag in % | | | | | | |
|---|----------------------|------|--|----------------------|------|--|
| Sorte | Saattermin 1 | | | Saattermin 2 | | |
| | Reihenweite 30 cm | | Doppelte Saatstärke, Reihenweite 14 cm | Reihenweite 30 cm | | Doppelte Saatstärke, Reihenweite 14 cm |
| Jahr | 2012 | 2013 | 2012 | 2012 | 2013 | 2012 |
| Zeno | +6 | -29 | - | +3 | +1 | - |
| Puno | +2 | -23 | ±0 | +8 | +3 | +9 |
| Titicaca | -19 | -19 | - | -8 | +6 | - |
| Atlas | -2 | -15 | - | -2 | -9 | - |
| Carmen | +7 | -15 | - | +14 | -18 | - |
| Pasto | +5 | -21 | - | -12 | -5 | - |
| Faro | -2 | -5 | +6 | +7 | -4 | +4 |
| 407 | -23 | -16 | -13 | +7 | -4 | +6 |
| Tango | -12 | -25 | - | +5 | -2 | - |

Innerhalb des zu Saattermin 1 gesäten Sortenspektrums 2012 zeigten nur drei der neun Sorten bei weiter Reihe um etwa 20 % verringerte TM-Erträge. Alle anderen Sorten erreichten bei einem Reihenabstand von 30 cm gleiche oder sogar höhere Ertragsmengen. Dies konnte ebenfalls für die Sorten bei Saattermin 2 festgestellt werden, allerdings sind die individuellen Sortenreaktionen teilweise abweichend. Nur zwei Sorten brachten bei weiter Reihe ca. 8 und 12 % weniger TM-Ertrag. Sechs Sorten erreichten einen Mehrertrag von bis zu 14 %. Im Gegensatz dazu minderte im Jahr 2013 eine größere Reihenweite den TM-Ertrag bei Saattermin 1 bei jeder Sorte. Bei Saattermin 2 lagen bei den meisten Sorten ebenfalls die TM-Erträge niedriger.

Im Vergleich der Saatstärken erwies sich die doppelte Saatstärke, mit Ausnahme für Sorte 407 bei Saattermin 1, als ertragsförderlich. Dies könnte eine Möglichkeit sein, mit dichteren Beständen das Unkrautauflkommen einzugrenzen, wobei allerdings die erhöhten Saatgutkosten in der wirtschaftlichen Betrachtung berücksichtigt werden müssten.

5.4 Substratqualität

Bei der Beurteilung von Biogassubstraten aus pflanzlicher Erzeugung ist neben dem TM-Ertrag und dem TS-Gehalt die Substratqualität ein wichtiger Eckpfeiler. Für die Vergärbarkeit und folglich die Methanbildung sind die Inhaltsstoffe entscheidende Einflussgrößen. Tabelle 10 zeigt die Inhaltsstoffe nach der erweiterten Weender Analyse als Mittelwerte für Buchweizen und Quinoa sowie die Referenzkulturen Einjähriges Weidelgras und Sommerroggen getrennt nach Standort und Saattermin.

Unabhängig vom Standort und Saattermin zeichnet sich Quinoa im Vergleich zu Buchweizen allgemein durch höhere Gehalte von Rohasche, Rohprotein und Rohfett aus. Vor allem der Parameter ELOS, der für die Menge an enzymatisch vergärbaren Inhaltsstoffen steht, ist bei Quinoa mit Ausnahme von Saattermin 1 am Standort Aholting allgemein höher als bei Buchweizen und deutet somit auf eine bessere Methanausbeute hin. Bei Stärke zeigt sich ein differenzierteres Bild. Am Standort Aholting liegt zu Saattermin 1 Buchweizen höher, wohingegen bei Saattermin 2 das Quinoamittel höher ist. Am Standort Straubing ist dies genau anders herum. Bei beiden Referenzen ist der geringe Stärkegehalt sehr auffällig.

Die Fraktion der NfE zeigt vor allem beim Buchweizenmittel höhere Gehalte. Die Werte der Parameter Rohfaser, ADF und ADL, die für eine geringere Vergärbarkeit sprechen, waren bei den Quinoasorten durchgängig geringer als bei den Buchweizensorten. Zusammenfassend kann aus den Analysen eine bessere Methanausbeute für die Quinoasorten angenommen werden. Im Anhang sind in Tabelle 31 bis Tabelle 35 die Daten getrennt nach Jahren für die einzelnen Sorten sowie die Referenzen hinterlegt.

Tabelle 10: Inhaltsstoffe von Buchweizen und Quinoa nach der erweiterten Weender Analyse als Mittelwert über die angebauten Sorten getrennt nach Standort und Saattermin

| Kulturart | XA ¹ | XP ² | XL ³ | XF ⁴ | NfE ⁵ | NDF ⁶ | ADF ⁷ | ADL ⁸ | ELOS ⁹ | Stärke |
|----------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|--------|
| in g/kg Trockenmasse | | | | | | | | | | |
| Standort Aholting, Saattermin 1 | | | | | | | | | | |
| Buchweizen | 104 | 91 | 15 | 300 | 490 | 468 | 375 | 119 | 455 | 147 |
| Quinoa | 133 | 98 | 30 | 290 | 449 | 500 | 333 | 75 | 444 | 127 |
| W.-Gras | 183 | 175 | 29 | 218 | 394 | 404 | 306 | 62 | 586 | 14 |
| S.-Roggen | 70 | 124 | 20 | 349 | 437 | 677 | 428 | 100 | 377 | 8 |
| Standort Aholting, Saattermin 2 | | | | | | | | | | |
| Buchweizen | 95 | 95 | 13 | 271 | 527 | 493 | 371 | 120 | 490 | 201 |
| Quinoa | 117 | 107 | 42 | 232 | 502 | 414 | 253 | 64 | 556 | 220 |
| W.-Gras | 111 | 168 | 31 | 245 | 445 | 440 | 305 | 75 | 633 | 0 |
| S.-Roggen | 64 | 133 | 24 | 356 | 424 | 695 | 445 | 109 | 376 | 4 |
| Standort Straubing, Saattermin 1 | | | | | | | | | | |
| Buchweizen | 94 | 92 | 11 | 308 | 494 | 493 | 388 | 115 | 458 | 142 |
| Quinoa | 138 | 120 | 33 | 261 | 447 | 453 | 314 | 65 | 496 | 151 |
| W.-Gras | 108 | 160 | 26 | 287 | 418 | 519 | 365 | 70 | 565 | 6 |
| S.-Roggen | 79 | 128 | 21 | 336 | 437 | 619 | 415 | 89 | 424 | 12 |
| Standort Straubing, Saattermin 2 | | | | | | | | | | |
| Buchweizen | 91 | 90 | 15 | 273 | 531 | 471 | 351 | 114 | 501 | 224 |
| Quinoa | 126 | 112 | 42 | 225 | 495 | 399 | 246 | 65 | 564 | 217 |
| W.-Gras | 127 | 148 | 28 | 269 | 428 | 484 | 331 | 71 | 571 | 1 |
| S.-Roggen | 115 | 125 | 21 | 333 | 406 | 613 | 414 | 95 | 384 | 17 |

¹Rohasche, ²Rohprotein, ³Rohfett, ⁴Rohfaser, ⁵stickstofffreie Extraktstoffe, ⁶Neutral Detergent Fiber (Neutral-Detergenz-Faser), ⁷Acid Detergent Fiber (Säure-Detergenz-Faser), ⁸Acid Detergent Lignin (Säure-Detergenz-Lignin), ⁹enzymlösliche organische Substanz

In Abbildung 16 ist die Verteilung relevanter Inhaltsstoffe gemittelt für Buchweizen und Quinoasorten nach den Saatterminen getrennt aufgeführt. Im Vergleich dazu ist eine Maisreferenz angegeben. Vor allem im Vergleich zu Mais ist der bei Buchweizen und Quinoa geringere Gehalt an NfE auffällig. Ferner zeigt sich bei Mais ein geringerer

Anteil an Rohfaser und ADL, das den Ligningehalt widerspiegelt. Somit lässt sich vermuten, dass beide Kulturen – Buchweizen und Quinoa – ein geringeres Vergärungspotenzial als Mais besitzen.

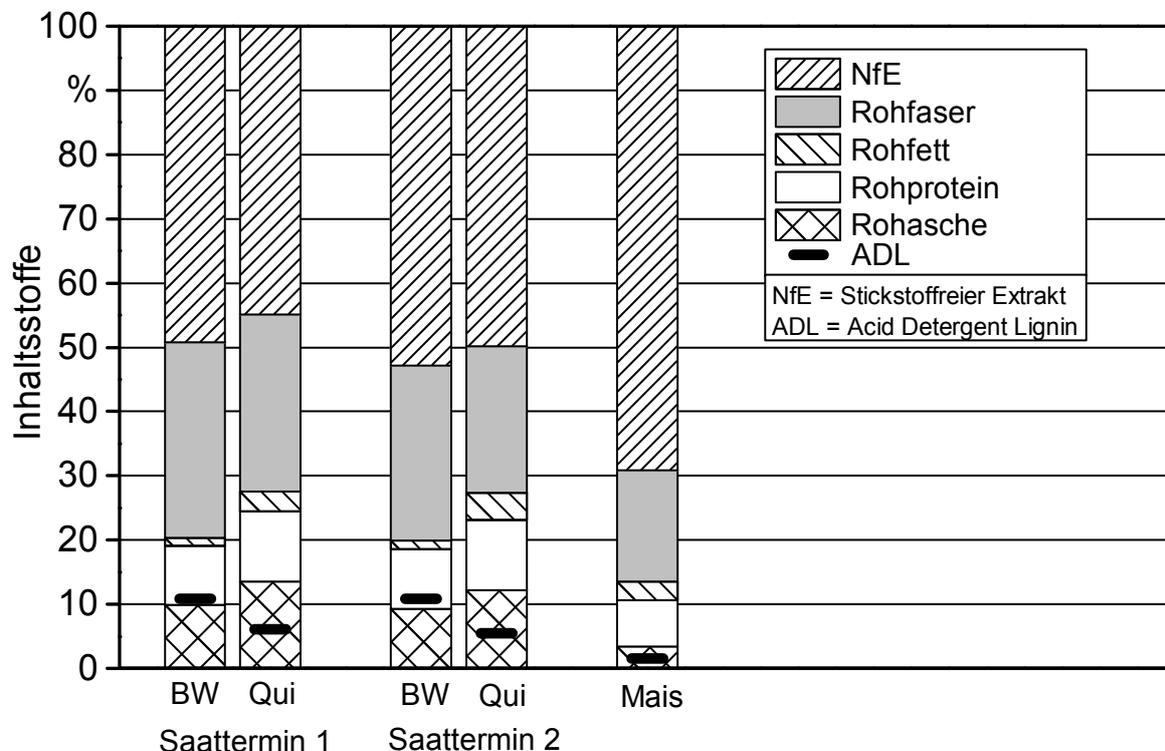


Abbildung 16: Verteilung ausgewählter Parameter der Weender Analyse getrennt nach Saattermin und Kulturart (BW: Buchweizen, $n = 16$; Qui: Quinoa, $n = 18$) im Vergleich zur Referenz Mais, $n = 12$)

Vergleicht man Buchweizen mit Quinoa, dann sind, wie schon bei der Beschreibung der Tabellenwerte erwähnt, die Gehalte an Rohfaser und ADL bei Buchweizen höher. Dahingegen besitzt Buchweizen höhere Gehalte an NfE. Das Quinoasortiment zeigt höhere Gehalte an Rohfett, Rohprotein und Rohasche. Besonders aufgrund des ADL- und Rohfasergehalts kann bei Quinoa von einer höheren Gasausbeute als bei Buchweizen ausgegangen werden. Im Vergleich der Saattermine innerhalb der Art zeigen sich ebenfalls Unterschiede. Die NfE steigt, während bei Saattermin 2 die Rohfaser abnimmt. Die Gehalte an Rohasche, Rohprotein und ADL scheinen stabil zu sein. Im Mittel der Quinoasorten nimmt der Anteil an Rohfett zu späterer Saat zu. Die geringeren Anteile an Rohfaser bei späterer Aussaat können durch eine verminderte Lignifizierung der Pflanzen aufgrund der geringeren Wärmesumme und der geringeren Abreifegrade erklärt werden. Somit wird auch für dieses Biomassematerial eine höhere Gasausbeute erwartet.

5.5 Biogas- und Methanausbeute

Die Biogas- und Methanausbeute ist neben dem TM-Ertrag und dem TS-Gehalt ein zentraler Bestandteil bei der Bewertung von Energiepflanzen auf ihre Eignung als Biogassubstrat. Er wird unter anderem von der Zusammensetzung der Inhaltsstoffe beeinflusst und ist wertvoll bei der Beschreibung von Artunterschieden.

Auf Basis von Batchanalysen getrockneten und gemahlten Pflanzenmaterials wurde die Biogas- und Methanausbeute bestimmt. Zusätzlich wurden die theoretischen Methanausbeuten durch Berechnung über ELOS bzw. EuLOS nach Weißbach et al. (2008) [38] bestimmt. Sollte sich eine Korrelation der beiden Methanbestimmungsmethoden (Batchversuch vs. rechnerische Bestimmung) nachweisen lassen, hätte dies den Vorteil, aufwendige und teure Batchanalysen in Zukunft für diese Kulturen einsparen zu können. Außerdem sind Batchanalysen nur bei einem gleichzeitigen Ansatz aller Proben vergleichbar. Daher wäre eine rechnerische Bestimmung mittels der Inhaltsstoffe eine wertvolle Basis, um Methanausbeuten von Proben aus verschiedenen Jahren oder Standorten, die zu umfangreich für einen gleichzeitigen Ansatz im Batchversuch sind, zu vergleichen. Zur rechnerischen Bestimmung der Methanausbeute wurde für die Kulturen Buchweizen, Quinoa und Einjähriges Weidelgras die Schätzgleichungen von Weißbach et al. (2008) [38] für „Gras, intensive Nutzung, 1. und 2. Schnitt“ und „Gras, alle Intensitätsstufen und Aufwüchse“ herangezogen. Für Sommerroggen wurde die Gleichung für Getreideganzpflanzensilage verwendet.

Nach der statistischen Auswertung konnte jedoch kein Zusammenhang der beiden Methoden erkannt werden. Die Methanausbeuten berechnet nach ELOS und EuLOS sowie aus dem Batchversuch der Pflanzenproben zeigten nur eine geringe Korrelation von $R^2 = 0,19$. Somit kann, basierend auf den Daten dieses Projekts, noch nicht durch ein rechnerisches Model auf Batchversuche verzichtet werden.

In einem weiteren Auswertungsschritt wurde versucht, einen Zusammenhang der im Batchversuch gemessenen Methanausbeuten mit den einzelnen Inhaltsstoffen (u. a.: Rohfaser, ADF, NDF, ADL, ELOS) nachzuweisen. Der höchste Zusammenhang lag bei der Korrelation der Methanausbeute mit der Rohfaser ($R^2 = 0,52$) vor, alle anderen Inhaltsstoffe zeigten keinen Zusammenhang. Somit besteht kein ausreichend abgesicherter Zusammenhang der Inhaltsstoffe mit den Methanausbeuten und man kann nicht auf Batchversuche verzichten.

Zusätzlich zu den Batchanalysen durch das ILT in Freising konnte im Jahr 2012 die Methanausbeute einsilierten Probenmaterials von je drei Sorten Buchweizen und Quinoa des Saattermins 2 durch das ATB Potsdam untersucht werden. Im Vergleich mit den Ergebnissen des ILT lagen die Werte auf einem ähnlichen Niveau, weshalb auf eine Angabe der Ergebnisse des ATB Potsdam verzichtet wird.

Die Methanausbeuten der analysierten Pflanzenproben sind getrennt nach den Arten in Abbildung 17 und Abbildung 18 aufgeführt, innerhalb der Art wird nach Jahr, Saatzeitpunkt und Sorte unterschieden. Die gestrichelte Linie gibt den Bereich der Methanausbeute von Silomais nach KTBL [23] [24] an.

Innerhalb der im Batchversuch getesteten Buchweizensorten zeigte sich nur ein geringer Einfluss des Jahres, wobei die Sorten des Jahres 2013 tendenziell höhere Methanausbeuten erreichten. Im Mittel über alle Proben hinweg wird eine Methanausbeute von 268 NI/kg oTM erreicht. Eine spätere Saat steigert innerhalb der Jahre 2011 und 2012 leicht die Methanausbeute, wie schon im Unterkapitel 5.4 aufgrund der geringeren Rohfasergehalte vermutet. Gegenüber Mais zeigt Buchweizen eine um 18 % verminderte Methanausbeute. Bezieht man die Verteilung der Inhaltsstoffe aus Abbildung 16 ein (Mais: NfE höher, ADL geringer), ist dies verständlich. Die geringe Methanausbeute der Sorte Spacinska im Jahr 2011 ist gut durch die Inhaltsstoffe erklärbar. Die Sorte hat zu diesem Saattermin einen erhöhten Gehalt an Rohfaser und einen geringeren Anteil an NfE. Dagegen weisen die beiden Sorten mit den höchsten Methanausbeuten (Tussi, Billy) den geringsten Gehalt an ADL und eine höhere Fraktion von NfE auf.

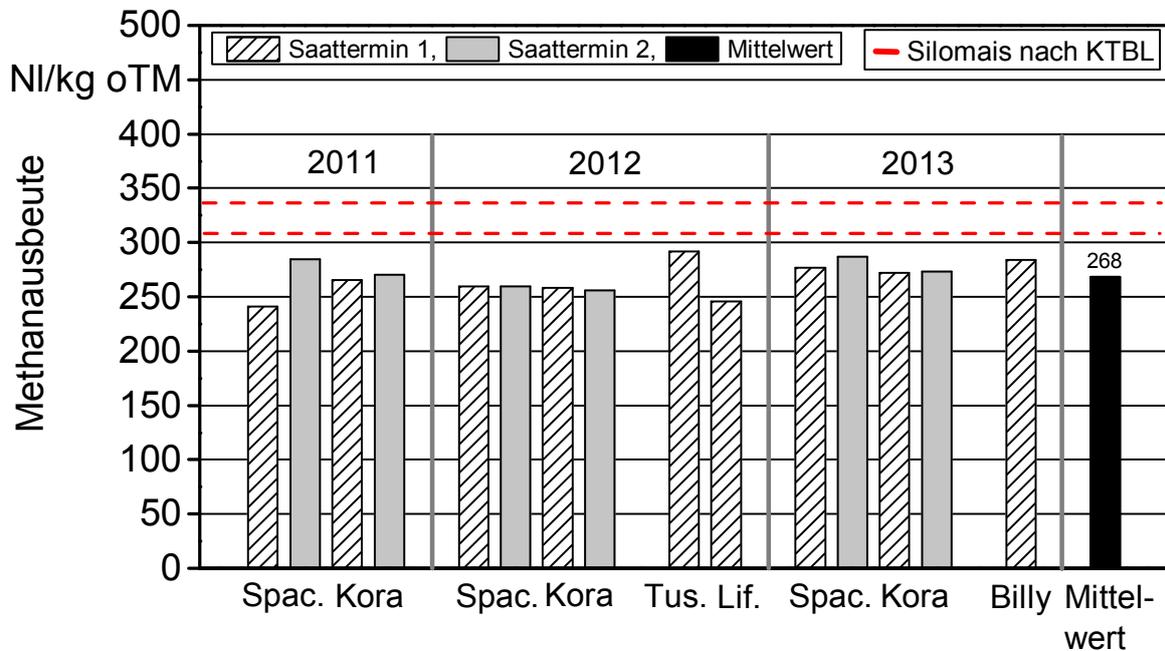


Abbildung 17: Methanausbeute von Buchweizen (Spac. = Spacinska, Tus. = Tussi, Lif. = Lifago) getrennt nach Jahr, Sorte und Saattermin vom Standort Straubing im Vergleich zu Mais (nach KTBL [23] [24])

Das Quinoaspektrum (Abbildung 18) zeigt gegenüber dem Buchweizensortiment eine weitaus höhere Methanausbeute, die auch teilweise mit Mais mithalten kann. Im Mittel über alle Proben hinweg liefert Quinoa eine Methanausbeute von 311 NI/kg oTM. Im Jahr 2011 zeigen sich nur geringe Unterschiede zwischen den Sorten. Einzig der Saattermin 2 bei der Sorte Tango erreicht eine bessere Ausbeute. Dahingegen waren die Sortenunterschiede in den Jahren 2012 und 2013 deutlicher. Vor allem für 2012, in dem mehr Einzelsorten von Saattermin 1 verglichen werden konnten, ergibt sich eine Spanne von 292 bis 335 NI/kg oTM zwischen den Sorten. Die Sorte 407 fiel in

der Methanausbeute von Saattermin 2 gegenüber dem Saattermin 1 deutlich ab. Die Ursachen hierfür sind nicht erklärbar, da alle wertgebenden Inhaltsstoffe zu Saattermin 2 erhöht sind, dementsprechend die schlecht vergärbaren Stoffe gemindert. Dies lässt sogar eine höhere Methanausbeute erwarten. Somit kann nicht ausgeschlossen werden, dass es zu Fehlern bei der Probenaufbereitung gekommen ist. Im Gegensatz dazu sind alle Proben von Saattermin 2 in ihrer Ausbeute besser. Für das Jahr 2013 kann die Sorte 407 zu Saattermin 2 die höchste Methanausbeute mit 336 NI/kg oTM verzeichnen. Letztlich erreichen im Jahr 2012 drei von fünf Sorten und im Jahr 2013 beide Sorten Methanausbeuten auf dem Niveau von Mais.

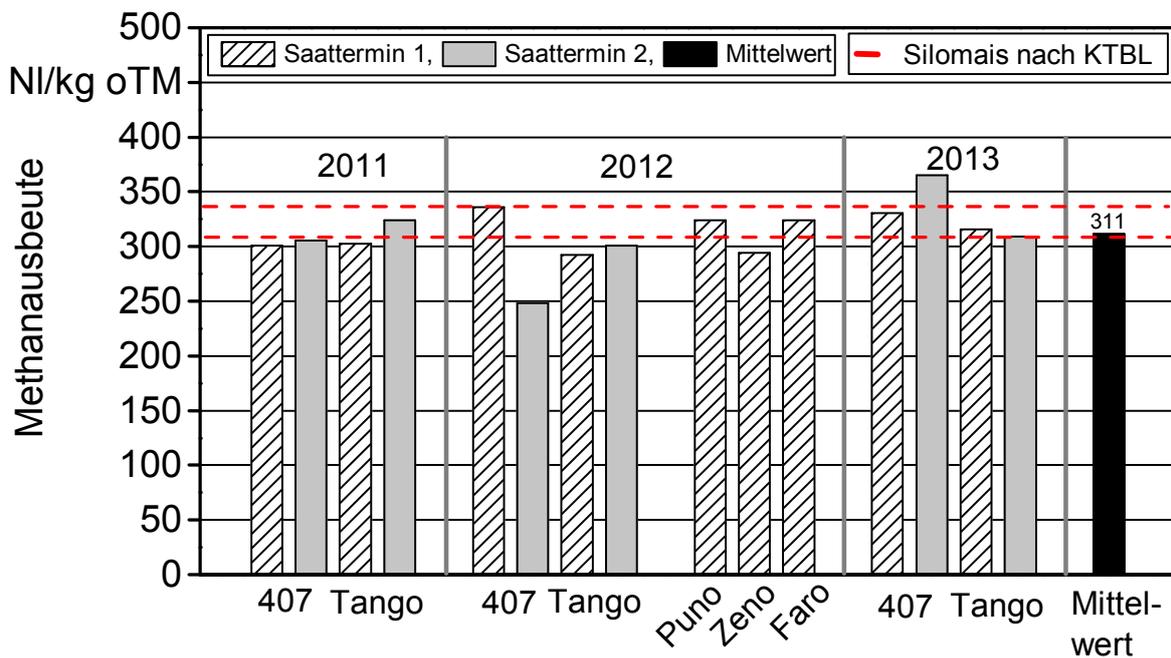


Abbildung 18: Methanausbeute von Quinoa getrennt nach Jahr, Sorte und Saattermin vom Standort Straubing im Vergleich zu Mais (nach KTBL [23] [24])

Zur detaillierteren Beschreibung der Sortenunterschiede sind in Abbildung 19 bis Abbildung 22 für Buchweizen und Quinoa die Zeitverläufe der Methanproduktion aufgeführt. Anhand der Zeitkurven ist es möglich, etwaige Sortenunterschiede bei der Methanproduktion, beispielsweise bezüglich der Schnelligkeit des Abbaus, abzubilden. Um vor allem den Startprozess der Methanbildung genauer zu analysieren, ist jeweils der Zeitverlauf der Methanproduktion in einer zweiten Abbildung auf die ersten zehn Tage begrenzt dargestellt.

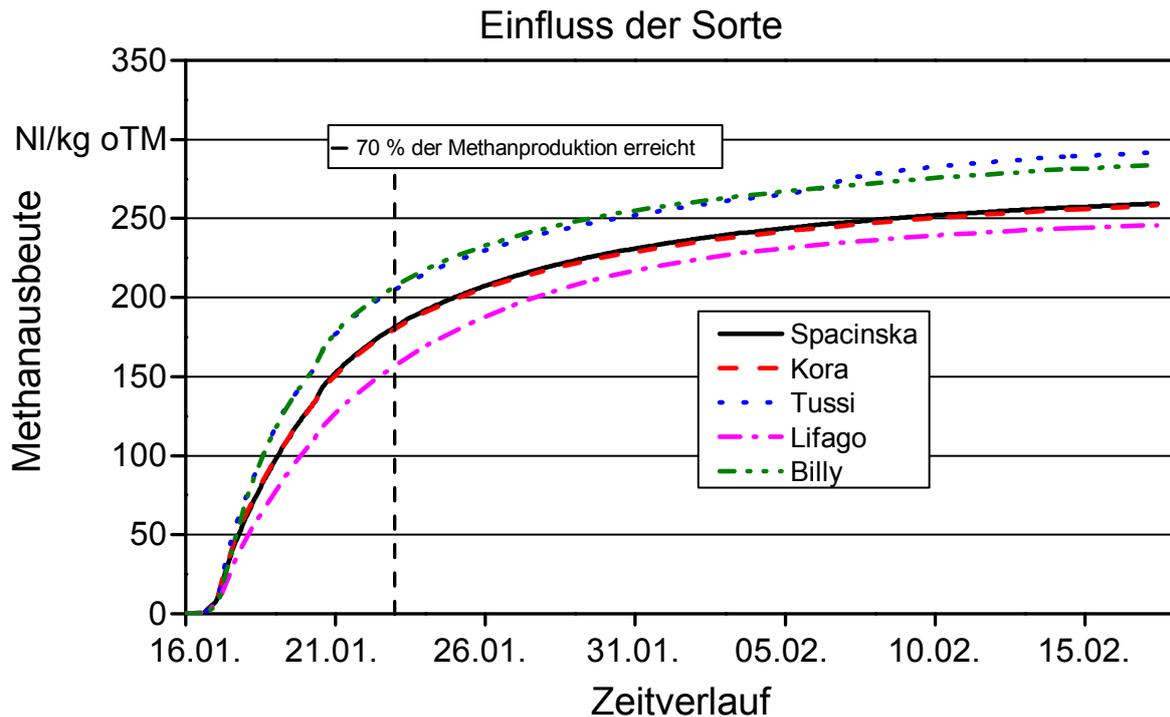


Abbildung 19: Einfluss der Sorte auf den Zeitverlauf (32 Tage) der Methanproduktion bei Buchweizen

Bis etwa fünf Tage nach Start der Batchanalyse steigt die Methanproduktion bei allen Buchweizensorten steil an (Abbildung 19). Nach ca. zehn Tagen flacht der Anstieg ab und die täglichen Methanzuwächse sind nur noch gering. Die Sortenauftrennung beginnt schon relativ früh. Nach ca. ein bis zwei Tagen ist ab einer Methanproduktion von knapp 50 NI/kg oTM deutlich die Aufspaltung der Sorten ersichtlich. Nach ca. zehn Tagen beginnt die Methanproduktion deutlich nachzulassen und steigt nur noch gering. Die gestrichelte Linie zeigt den Zeitpunkt an, an dem die mittlere Methanausbeute der Sorten zu 70 % erreicht wird. Nach ca. zehn Tagen sind der Biomasseabbau und damit die Methanproduktion bereits zu über 80 % abgeschlossen.

Die Sorten selbst zeigen einen einheitlichen Gärverlauf. Dabei ist die Schnelligkeit der Umsetzung von der Gesamtausbeute abhängig, aber nicht von der Sorte. Die Sorten Spacinska und Kora zeigen einen simultanen Verlauf mit ähnlichem Endwert. Ebenso ist es für die Sorten Tussi und Billy. Interessanterweise steigt die Ausbeute bei der Sorte Tussi nach 21 Tagen noch einmal leicht an und liegt am Ende knapp oberhalb der Sorte Billy. Insgesamt sind die Sortenunterschiede aber durch die Summe der Methanproduktion am Ende definiert. Das heißt, die Höhe der Methanproduktion spiegelt auch die anfängliche Schnelligkeit der Umsetzung wider. Es gibt keine Sorte, die schnell startet und am Ende unterhalb einer Sorte liegt, die langsamer gestartet ist. Der Fermentationsprozess von Sorten mit gleichen Methan-Endsummen verläuft also simultan.

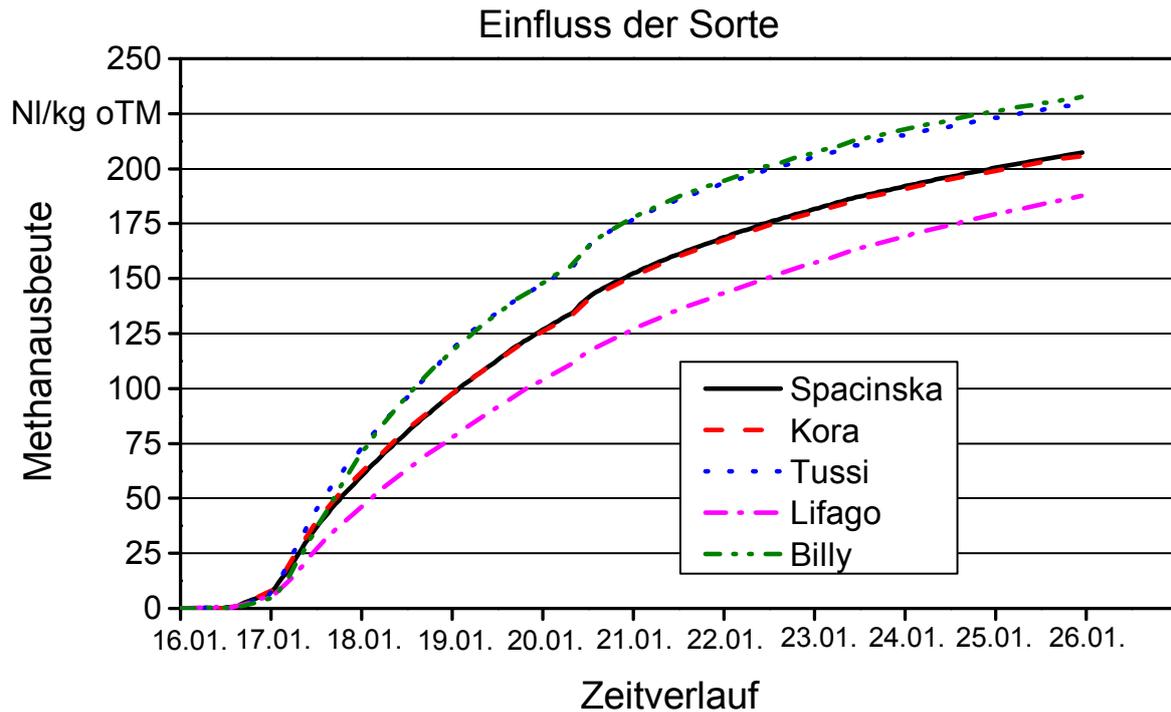


Abbildung 20: Einfluss der Sorte auf den Zeitverlauf (10 Tage) der Methanproduktion bei Buchweizen

In Abbildung 20 ist der Verlauf der Methanproduktion der ersten zehn Tage im Detail dargestellt. Bereits nach zwei Tagen sind deutliche Sortendifferenzen bzgl. der Methanproduktion zu sehen. Die Methanproduktion der Sorte Lifago mit der geringsten Ausbeute steigt eher flach an, wohingegen die Verläufe der Sorten Billy und Tussi mit der höchsten Ausbeute wesentlich steiler steigen. Sobald die Aufspaltung der Sorten stattgefunden hat, verlaufen die Kurven fast parallel. In Tabelle 11 ist sortengetrennt angegeben nach wie viel Tagen, ab Start des Fermentationsprozesses, 50 bzw. 70 % der gesamten Methanausbeute erreicht werden. Dabei zeigt sich ein analoges Bild zur vorherigen Abbildung.

Tabelle 11: Tage, nach denen 50 bzw. 70 % der gesamten Methanausbeute erreicht wurden, getrennt nach Buchweizensorten

| Sorte | Spacinska | Kora | Tussi | Lifago | Billy | Mittelwert |
|------------------|----------------------------------|------|-------|--------|-------|------------|
| Methanproduktion | Tage nach Start der Fermentation | | | | | |
| 50 % | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | 4 |
| 70 % | 7 | 7 | 6 | 8 | 6 | 7 |

Die größte Abweichung der Sorten innerhalb der Methanproduktion ergab sich im Bereich von 50 bis 60 % Methanproduktion mit einer Standardabweichung von knapp 20 %. Im Vergleich verschiedener Effekte (Jahr, Saattermin, Sorte) zeigte die Sorte

den höchsten Einfluss auf die Methanausbeute, gefolgt vom Jahreseffekt. Den geringsten Einfluss hatte der Saattermin. Im Anhang sind die Einflüsse von Jahr und Saattermin für Buchweizen hinterlegt (Abbildung 40 und Abbildung 41).

Im Gegensatz zum Buchweizensortiment differenzieren sich die Quinoasorten erst nach ca. fünf bis sechs Tagen auseinander (Abbildung 21). Alle Sorten bilden in dieser Zeit 180 NI/kg oTM Methan. Bei Buchweizen findet die Aufspaltung der Sorten bereits bei 25 NI/kg oTM statt. Ein Grund für den längeren simultanen Verlauf der Quinoasorten gegenüber Buchweizen kann in den generell höheren Ausbeuten der Quinoasorten vermutet werden. Ferner könnten geringere Sortenunterschiede dazu beigetragen haben. Ab 180 NI/kg oTM sind Sortenunterschiede klar ersichtlich. Die Methanproduktion der Sorten Tango und Zeno verringert sich zuerst. Im Anschluss flachen die Kurven der Sorten Puno und Faro ab. Den steilsten Anstieg und die höchste Methanproduktion erreicht die Sorte 407. Analog zur Methanproduktion der Buchweizensorten lassen sich die Sortenunterschiede bzgl. der Schnelligkeit der Umsetzung anhand des insgesamt produzierten Methans ableiten. Sortenunterschiede bezüglich einer anfänglich schnelleren Umsetzung sind nicht ersichtlich.

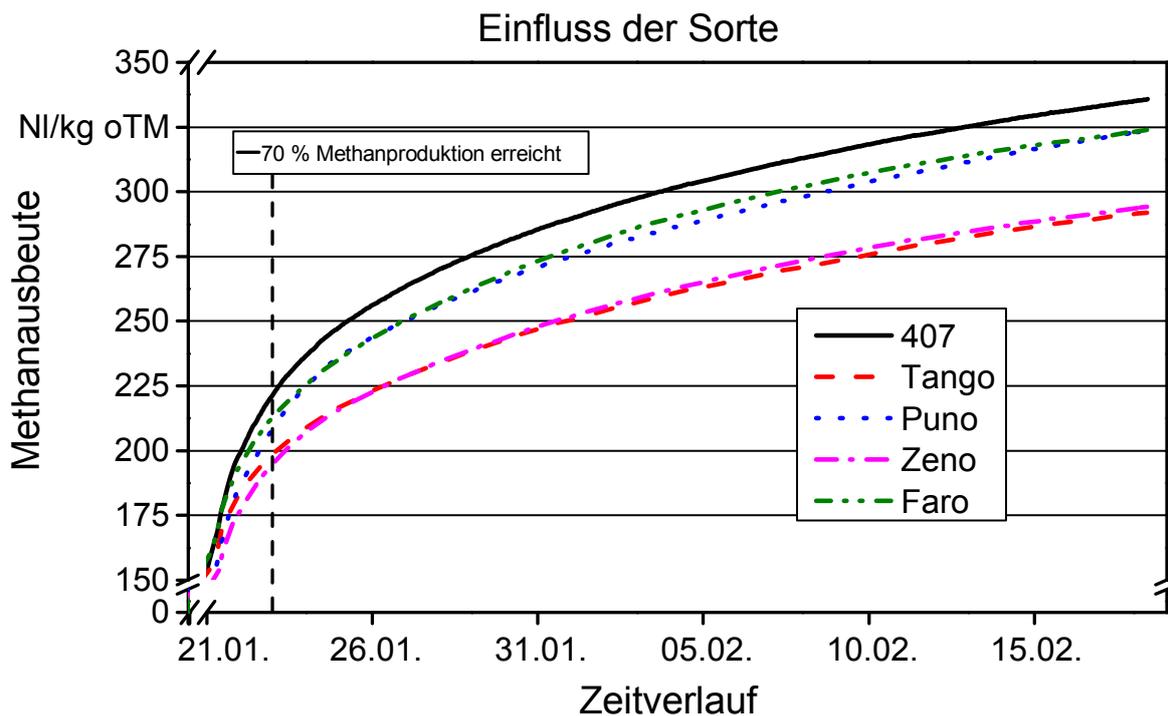


Abbildung 21: Einfluss der Sorte auf den Zeitverlauf (32 Tage) der Methanproduktion bei Quinoa

Um den Vergleich zu Buchweizen zu verdeutlichen, ist ebenfalls für Quinoa die Methanproduktion der ersten zehn Tage im Detail aufgeführt (Abbildung 22). Innerhalb der getesteten Sorten zeigte sich bei genauerer Analyse ein Einfluss der Sorte auf die Umsetzungsgeschwindigkeit. Die Sorte Puno produziert in den ersten Stunden das

meiste Methan. Ab einer Menge von ca. 20 NI/kg oTM verlaufen die Sorten simultan. Eine erste Aufspaltung findet im Bereich von 75 NI/kg oTM nach ca. 2,5 Tagen statt. Dabei verringern die Sorten Zeno und Puno ihre Umsetzungsgeschwindigkeit und verlaufen bis 125 NI/kg oTM gleich. Danach spalten sie sich wiederum auf. Zeno flacht ab und kommt zuerst an sein Maximum der Methanausbeute. Die Sorte Puno hingegen steigt etwas weiter an und erreicht am Ende eine höhere Ausbeute. Die Sorte Tango verläuft zuerst mit den Sorten 407 und Faro simultan, flacht aber dann deutlich ab und erreicht nach zehn Tagen denselben Wert wie die Sorte Zeno. Am Ende des Versuchs sind beide Sorten fast gleichauf. Die Sorte Faro verläuft zuerst identisch mit der Sorte 407. Nach knapp fünf Tagen verringert sich jedoch ihre tägliche Ausbeute und sie verläuft danach gleichauf mit der Sorte Puno. Die Sorte 407 zeigt den steilsten Kurvenverlauf einhergehend mit der höchsten Methanausbeute am Ende. Die Unterschiede der Sorten im Verlauf könnten durch die differenzierenden Kornmassen erklärt werden, die sich zwischen den Sorten unterscheiden. Zusätzlich sind die Wuchshöhen unterschiedlich, was einen Einfluss auf das Verhältnis zwischen Gesamtpflanze und Kornmasse hat. Kürzere Sorten (z. B. Zeno) haben somit im Verhältnis mehr Kornmasse. Die im Korn enthaltene Stärke ist leichter verdaulich und könnte vor allem am Anfang der Vergärung schnell in Methan umgesetzt worden sein, was die Unterschiede im Kurvenverlauf erklären könnte.

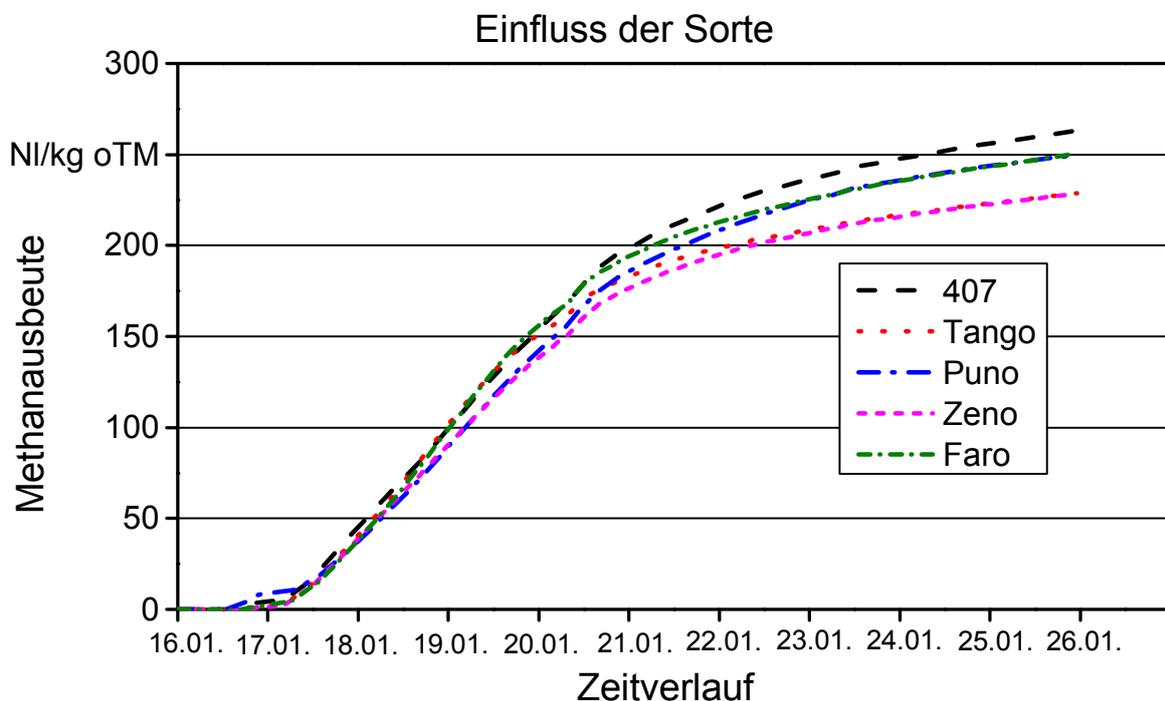


Abbildung 22: Einfluss der Sorte auf den Zeitverlauf (10 Tage) der Methanproduktion bei Quinoa

Im Gegensatz zu Buchweizen ist die Schnelligkeit der Methanproduktion bei Quinoa teilweise von der Sorte abhängig, wobei die Unterschiede nicht allzu groß sind. Nach

sieben Tagen verlaufen die Fermentationsprozesse der Sorten recht stabil und erreichen nach ca. vier Wochen ihr Maximum. In Tabelle 12 ist sortengetrennt angegeben, nach wie vielen Tagen ab Start des Fermentationsprozesses 50 bzw. 70 % der gesamten Methanausbeute erreicht wurden. Dabei zeigt sich, dass die 50%-Marke zuerst von der Sorte Tango erreicht wurde, im Gegensatz zum insgesamt produzierten Methanmaximum, dass Sorte 407 erzielt. Bei der 70%-Marke der Methanausbeute nivelliert sich dies wieder. Die größte Abweichung innerhalb der Sorten liegt im Bereich 40–50 % der Methanausbeute mit einer Standardabweichung von knapp 20 %.

Analog zu den Buchweizensorten zeigte sich im Vergleich der Effekte Jahr, Saattermin und Sorte, dass die Sorte den höchsten Einfluss auf die Methanausbeute hat, gefolgt vom Jahreseffekt und dem Saattermin mit dem geringsten Einfluss. Im Anhang sind die Darstellungen zum Einfluss des Jahres und Saattermins für Quinoa aufgeführt (Abbildung 42 und Abbildung 43).

Tabelle 12: Tage, nach denen 50 bzw. 70 % der gesamten Methanausbeute erreicht wurden, getrennt nach Quinoasorten

| Sorte | 407 | Tango | Puno | Zeno | Faro | Mittelwert |
|------------------|----------------------------------|-------|------|------|------|------------|
| Methanproduktion | Tage nach Start der Fermentation | | | | | |
| 50 % | 4 | 3 | 4 | 4 | 4 | 3 |
| 70 % | 6 | 6 | 7 | 6 | 7 | 6 |

Anhand der Methanausbeuten sind aus dem getesteten Buchweizensortenspektrum klar die Sorten Tussi und Billy zu empfehlen. Besonders die Sorte Tussi kann auch durch höhere TM-Erträge überzeugen. Da aber noch kein marktfähiges Saatgut zur Verfügung steht, kann sie in der Praxis derzeit noch nicht genutzt werden. Jedoch zeigt dies, dass eine Züchtung hin zu selbstfertilen Buchweizensorten ein Weg sein kann, um Ertragspotenziale zu steigern und ggf. die Biogasausbeute zu verbessern.

Hinsichtlich der Quinoasorten sind 407, Puno und Faro zu empfehlen. Die Sorten 407 und Puno haben den Vorteil, hohe TM-Erträge zu liefern bei sicher silierfähigen Beständen. Faro erreicht den höchsten Biomasseertrag, kann aber nur bedingt in der Abreife überzeugen.

Die vom ILT in Freising ermittelten Methangehalte betragen für Buchweizen durchschnittlich 52,2 % und für Quinoa 54 %. Im Anhang sind in Tabelle 40 die Einzelwerte der Methangehalte und zusätzlich die Werte für die Methanausbeuten aufgeführt.

5.6 Methanhektarertrag

Die Methanausbeuten geben Auskunft über die Vergärbarkeit von Biogassubstraten. Aber nur in Kombination mit dem TM-Ertrag ergibt sich mit dem Methanhektarertrag ein Parameter, der die Wirtschaftlichkeit einer Kultur als Biogassubstrat aufzeigt. Daher ist in Tabelle 13 der Methanhektarertrag als Mittelwert der Kulturart dargestellt.

Tabelle 13: Mittlere Methanhektarerträge von Buchweizen und Quinoa

| Kulturart | TM-Ertrag | TM-Ertrag Silage ¹ | Rohaschegehalt | oTM-Ertrag | Mittlere Methanausbeute | Methanhektarertrag | Spanne ² |
|------------------|-----------|-------------------------------|----------------|------------|-------------------------|---------------------|---------------------|
| Einheiten | dt/ha | dt/ha | % TM | dt/ha | Nl/kg oTM | Nm ³ /ha | Nm ³ /ha |
| Buchweizen | 60 | 54,0 | 10,0 | 48,6 | 268 | 1302 | 574–517 |
| Quinoa | 55 | 47,0 | 12,8 | 41,0 | 311 | 1275 | 599–613 |
| Einj. Weidelgras | 30 | 25,5 | 12,0 | 22,5 | *318 | 716 | 428–952 |
| Sommerroggen | 28 | 23,8 | 7,2 | 22,1 | *328 | 725 | 311–1035 |

¹Silageverluste 15 % angenommen, ²in Abhängigkeit von Standort und Saattermin, *nach KTBL [24]

Bei der Berechnung ist der Ausgangspunkt der TM-Ertrag, von dem 15 % Silageverluste abgezogen werden. Um die organische TM zu erhalten, wird davon der Rohaschegehalt abgezogen. Der nunmehr erhaltene oTM-Ertrag wird mit der Methanausbeute verrechnet. Im Maximum können bei beiden Arten sortenabhängig Methanhektarerträge von bis zu 1600 Nm³/ha erreicht werden (Tabelle 13). Die Spanne beträgt in Abhängigkeit von Jahr, Standort, Saattermin und Sorte für Buchweizen knapp 600 bis 1517 Nm³/ha und für Quinoa knapp 600 bis 1613 Nm³/ha. Gerade hier zeigt sich der deutliche Einfluss der TM-Erträge auf die Methanhektarerträge, wie er auch für andere Kulturen bekannt ist [1] [40]. Der mittlere Methanhektarertrag liegt bei Buchweizen und Quinoa auf einem ähnlichen Niveau von etwa 1300 Nm³/ha. Das zeigt, dass die höhere Methanausbeute bei Quinoa durch den höheren TM-Ertrag bei Buchweizen im Hinblick auf den Methanhektarertrag ausgeglichen wird. Die Referenzkulturen (Einjähriges Weidelgras und Sommerroggen) liegen im Methanhektarertrag deutlich unterhalb der Werte von Buchweizen und Quinoa. Beachtet man die geringen TM-Erträge der Referenzkulturen, ist dies nicht verwunderlich.

Letztlich können daher Sorten empfohlen werden, die sowohl hohe TM-Erträge als auch gute Methanausbeuten aufweisen. Hier bieten sich die Buchweizensorten Tussi und Billy an – Tussi mit der bereits beschriebenen Einschränkung fehlender Saatgut-

verfügbarkeit. Im Quinoasortiment sind die Sorten Puno, 407, Tango und Faro zu empfehlen. Die Sorte Zeno ist aufgrund geringerer TM-Erträge nur bedingt anzuraten. Sollte allerdings die verfügbare Vegetationszeit sehr kurz sein, wäre genau Zeno die Sorte der Wahl, da sie sehr schnell die Silierreife erreicht. Die Sorte Faro wiederum wäre bei einer länger zur Verfügung stehenden Vegetationszeit empfehlenswert.

5.7 Mineral- und Stickstoffgehalte

Um nach dem Anbau von Buchweizen und Quinoa bzw. innerhalb der Fruchtfolge dem Boden die entzogenen Nährstoffe zurückzuführen, sind Angaben zum Nährstoffentzug durch die Kulturen für die Bemessung der Düngergabe notwendig. Dazu wurden Pflanzenproben auf ihre Mineralstoff- sowie Stickstoffgehalte untersucht. In Tabelle 14 sind die Mineralstoffgehalte zu Phosphor, Kalium, Magnesium und Calcium sowie der Stickstoffgehalt als Mittelwert der Kulturart getrennt nach Standort und Saattermin dargestellt. Die Einzelwerte der Sorten, erweitert um die zusätzlich untersuchten Elemente Aluminium, Eisen, Kupfer, Mangan, Schwefel und Zink, sind im Anhang detailliert in Tabelle 36 bis Tabelle 39 aufgeführt.

Tabelle 14: Mineralstoffgehalte für Buchweizen und Quinoa als Mittelwert getrennt nach Standort und Saattermin

| Art | Stickstoff | Phosphor | Kalium | Magnesium | Calcium |
|----------------------------------|------------|----------|--------|-----------|---------|
| in g/kg Trockenmasse | | | | | |
| Standort Aholting, Saattermin 1 | | | | | |
| Buchweizen | 15,23 | 5,28 | 28,94 | 3,67 | 12,73 |
| Quinoa | 15,79 | 4,58 | 53,03 | 4,96 | 12,12 |
| W.-Gras | 28,03 | 5,63 | 40,09 | 3,48 | 11,81 |
| S.-Roggen | 18,92 | 3,65 | 24,95 | 1,17 | 5,41 |
| Standort Aholting, Saattermin 2 | | | | | |
| Buchweizen | 14,66 | 5,35 | 17,88 | 3,64 | 14,97 |
| Quinoa | 18,18 | 5,03 | 51,62 | 4,37 | 9,84 |
| W.-Gras | 26,85 | 4,94 | 39,19 | 2,34 | 7,72 |
| S.-Roggen | 21,23 | 4,05 | 18,70 | 1,37 | 6,13 |
| Standort Straubing, Saattermin 1 | | | | | |
| Buchweizen | 15,03 | 3,84 | 22,62 | 4,32 | 14,94 |
| Quinoa | 19,12 | 4,19 | 48,53 | 5,60 | 15,26 |
| W.-Gras | 25,62 | 4,44 | 32,98 | 2,27 | 8,28 |
| S.-Roggen | 20,42 | 3,11 | 20,94 | 1,85 | 6,52 |

| Standort Straubing, Saattermin 2 | | | | | |
|----------------------------------|-------|------|-------|------|-------|
| Buchweizen | 16,09 | 3,73 | 19,25 | 4,47 | 14,56 |
| Quinoa | 19,54 | 4,30 | 43,90 | 5,23 | 13,08 |
| W.-Gras | 23,64 | 4,47 | 33,77 | 2,13 | 7,77 |
| S.-Roggen | 19,94 | 3,31 | 22,71 | 1,89 | 5,62 |

Im Mittel entzieht Quinoa dem Boden 18 g Stickstoff pro kg Pflanzentrockenmasse, während Buchweizen 3 bis 4 g weniger Stickstoff pro kg benötigt. Das Weidelgras hat den höchsten Entzug mit 28 g N/kg TM. Einen deutlichen Unterschied zwischen den Arten zeigt der Gehalt an Kalium, der bei Quinoa knapp das Doppelte erreicht wie bei Buchweizensorten. Innerhalb der Mineralstoffe Phosphor, Magnesium und Calcium sind die Unterschiede eher gering.

Um eine Düngeempfehlung für die Praxis geben zu können, wurden die kulturbedingten Nährstoffentzüge im Weiteren auf die ermittelten TM-Erträge bezogen. In Tabelle 15 sind die Daten zum Nährstoffentzug pro Hektar ebenfalls als Kulturartenmittelwert getrennt nach Standort und Saattermin aufgezeigt. Auf die Angabe für die Referenzkulturen wurde aufgrund umfangreicher Datenwerte, die in der Literatur bereits erhältlich sind, verzichtet.

Der mittlere Stickstoffentzug liegt je nach Kulturart, Standort und Saattermin sowie Ertragsniveau bei 41 bis 82 kg/ha. Dabei scheinen die Quinoapflanzen tendenziell etwas weniger Stickstoff zu entziehen als der Buchweizen. Dies basiert wahrscheinlich auf den etwas geringeren TM-Erträgen der Quinoasorten. Aufgrund der geringeren TM-Erträge zu Saattermin 2 bei Buchweizen sind die entsprechenden Entzüge von Stickstoff geringer. Der TM-Ertrag bei den Quinoasorten ist hingegen nicht so stark vom Saattermin abhängig, was sich in den Stickstoffentzügen zeigt, die nur bedingt sinken. Auffällig war der hohe Kaliumentzug von Quinoa, der im Mittel bei 175 kg K/ha liegt, mit einem Maximum von 265 kg K/ha. Die Phosphorentzüge spiegeln Einflüsse der Art, des Saattermins und des Standorts wider, gleiches ist für Magnesium und Calcium ersichtlich. Generell lässt sich ein geringeres Level der Nährstoffentzüge zu Saattermin 2 erkennen, was durch die geringeren TM-Erträge erklärbar ist. Der Düngebedarf für Buchweizen liegt im Mittel für Stickstoff bei 70 kg N/ha Sollwert (mineralische Düngung mittels KAS; 26 % N: 269 kg/ha, Abzug von N_{\min} noch notwendig). Die Düngung von P_2O_5 beläuft sich auf 48 kg/ha und K_2O auf 124 kg/ha. Der Düngebedarf für Quinoa liegt im Mittel für Stickstoff bei 60 kg N/ha Sollwert (mineralische Düngung mittels KAS; 26 % N: 231 kg/ha, Abzug von N_{\min} noch notwendig). Die Düngung von P_2O_5 beläuft sich auf 34 kg/ha und von K_2O auf 165 kg/ha.

Tabelle 15: Pflanzenbedingter Nährstoffentzug getrennt nach Art, Standort und Saattermin auf Basis gemittelter TM-Erträge der Sorten jeder Art und Jahre

| Art | Stickstoff | Phosphor | Kalium | Magnesium | Calcium |
|----------------------------------|------------|----------|--------|-----------|---------|
| in kg/ha | | | | | |
| Standort Aholting, Saattermin 1 | | | | | |
| Buchweizen | 77 | 27 | 146 | 19 | 64 |
| Quinoa | 79 | 23 | 265 | 25 | 61 |
| Standort Aholting, Saattermin 2 | | | | | |
| Buchweizen | 64 | 23 | 78 | 16 | 66 |
| Quinoa | 59 | 16 | 167 | 14 | 32 |
| Standort Straubing, Saattermin 1 | | | | | |
| Buchweizen | 82 | 21 | 124 | 24 | 82 |
| Quinoa | 41 | 9 | 104 | 12 | 33 |
| Standort Straubing, Saattermin 2 | | | | | |
| Buchweizen | 55 | 13 | 66 | 15 | 50 |
| Quinoa | 55 | 12 | 124 | 15 | 37 |

5.8 ¹³C-Isotopenanalyse (Feldversuche)

Neben einer schnellen Abreife ist eine hohe Trockentoleranz der Sorte für einen erfolgreichen späten Zweitfruchtanbau ein wichtiges Kriterium. Besonderes Augenmerk soll daher auf die Wassernutzungseffizienz der geprüften Kulturen gelegt werden, um einerseits die Ertragssicherheit im Zweitfruchtanbau zu verbessern und andererseits den Wasserhaushalt des Bodens möglichst wenig zu beeinträchtigen. Dafür sind Kulturarten und Sortentypen gefragt, die mit der Ressource Wasser möglichst effizient umgehen. Der innovative Ansatz über die Analysen der ¹³C-Isotopen-Diskriminierung soll schnelle und verlässliche Aussagen zur Wassernutzungseffizienz und damit eine Einordnung der einzelnen Sorten ermöglichen. Der Kohlenstoff im Kohlendioxid (CO₂) der Luft besteht zu 98,9 % aus den Isotopen ¹²C und zu 1,1 % aus ¹³C [13]. Die Pflanze nimmt bei ausreichender CO₂-Zufuhr vorzugsweise ¹²C auf und diskriminiert ¹³C. Unter Trockenstress sind die Stomata zum Verdunstungsschutz geschlossen. Dies mündet durch eine geringere Transpiration in einer besseren Ausnutzung des vorhandenen Wassers und einer höheren Wassernutzungseffizienz [16]. Gleichzeitig ist die Pflanze bei geschlossenen Stomata darauf angewiesen, das aufgenommene CO₂ in den Stomata nahezu vollständig zu verwerten und dabei das enthaltene ¹³C in die Biosynthese zu integrieren und in die Biomasse einzubauen [16]. Dadurch ergibt sich ein direkter Zusammenhang zwischen der Wassernutzungseffizienz und dem Anteil

an $\delta^{13}\text{C}$ in der Pflanze [12] [16]. Das $\delta^{13}\text{C}$ ist ein relativer Wert, der verwendet wird, um geringste Änderungen in der Isotopenzusammensetzung darzustellen [10]. Dabei wird das $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ -Verhältnis einer Substanz oder Pflanzenprobe mit dem Isotopenverhältnis ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) einer weltweit einheitlich definierten und festgelegten Referenz (Standard) verglichen. Je positiver der $\delta^{13}\text{C}$ Wert ist, desto höher ist der Anteil an ^{13}C . $\delta^{13}\text{C}$ -Werte werden in Promille (‰) angegeben [10].

Nach statistischer Auswertung zeigt sich ein signifikanter Einfluss der Faktoren Sorte und Art. Folglich unterscheiden sich Buchweizen und Quinoa signifikant im $\delta^{13}\text{C}$ -Wert. Dabei scheint Quinoa eine bessere Strategie zu besitzen, einen Wassermangel auszugleichen (Abbildung 23). Im Mittel hat Quinoa mit $-27,91$ ‰ einen signifikant höheren $\delta^{13}\text{C}$ -Wert als Buchweizen ($-30,04$ ‰). Innerhalb der Buchweizensorten zeigt im Jahr 2011 die tatarische Sorte Lifago einen signifikant höheren $\delta^{13}\text{C}$ -Wert ($-27,73$ ‰). Innerhalb des gewöhnlichen Buchweizensortiments zeigt Tussi den höchsten $\delta^{13}\text{C}$ -Wert. Die Sorten Spacinska, Panda, Kora und Lileja sind gleichauf, während die Sorten Zita und Jana das geringste $\delta^{13}\text{C}$ aufweisen. Allgemein sind die Unterschiede bei Buchweizen, ausgenommen die Sorte Lifago, relativ marginal.

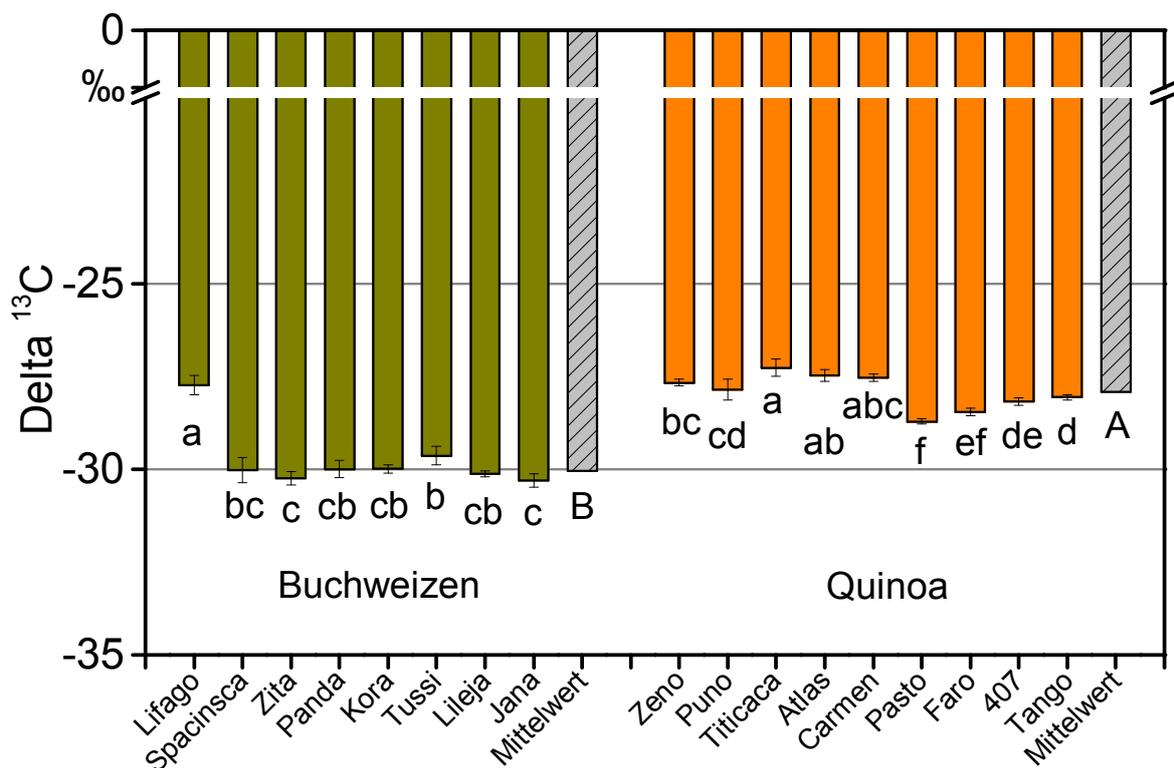


Abbildung 23: ^{13}C -Isotopenanalyse von Buchweizen- und Quinoasorten aus dem Versuchsjahr 2011, Fehlerbalken = Standardfehler, Säulen mit unterschiedlichen Kleinbuchstaben (innerhalb der Art) und Großbuchstaben (Artenvergleich) unterscheiden sich signifikant voneinander ($p < 0,05$, t-Test)

Im Quinoasortiment (Abbildung 23) hingegen zeigen sich deutlichere Differenzen. Vor allem die Sorte Titicaca überzeugt durch den signifikant höchsten $\delta^{13}\text{C}$ -Wert. Die Sorten Zeno und Carmen konnten ebenfalls mithalten. Die geringsten Werte weisen die Sorten Pasto und Faro auf. Die Sorten 407, Tango und Puno haben mittlere $\delta^{13}\text{C}$ -Werte.

Die statistische Auswertung der ^{13}C -Analysen für das Jahr 2012 belegt einen signifikanten Effekt der Art und der Sorte. Abbildung 24 zeigt für den Standort Straubing die Art- und Sortenunterschiede. Ähnlich wie im Jahr 2011 hat Quinoa gegenüber den anderen Arten die signifikant höchsten $\delta^{13}\text{C}$ -Werte. Buchweizen, Einjähriges Weidelgras und Sommerroggen liegen in etwa gleich auf. Innerhalb der Arten zeigt sich im Gegensatz zu 2011 bei Buchweizen ein größerer Sorteneffekt. Wiederum erreicht die Sorte Lifago den höchsten $\delta^{13}\text{C}$ -Wert, was darauf schließen lässt, dass diese Sorte eine bessere Wassernutzungseffizienz als die anderen Sorten besitzt. Dagegen zeigen die Sorten Kora und Lileja die geringsten Werte und lassen auf eine weniger ausgeprägte Wassernutzungseffizienz schließen. Im Vergleich zu Buchweizen gibt es bei den Quinoasorten zwar signifikante Unterschiede, diese sind aber nicht so ausgeprägt wie im Jahr 2011. Die Sorte Zeno erreicht die höchsten Werte an $\delta^{13}\text{C}$.

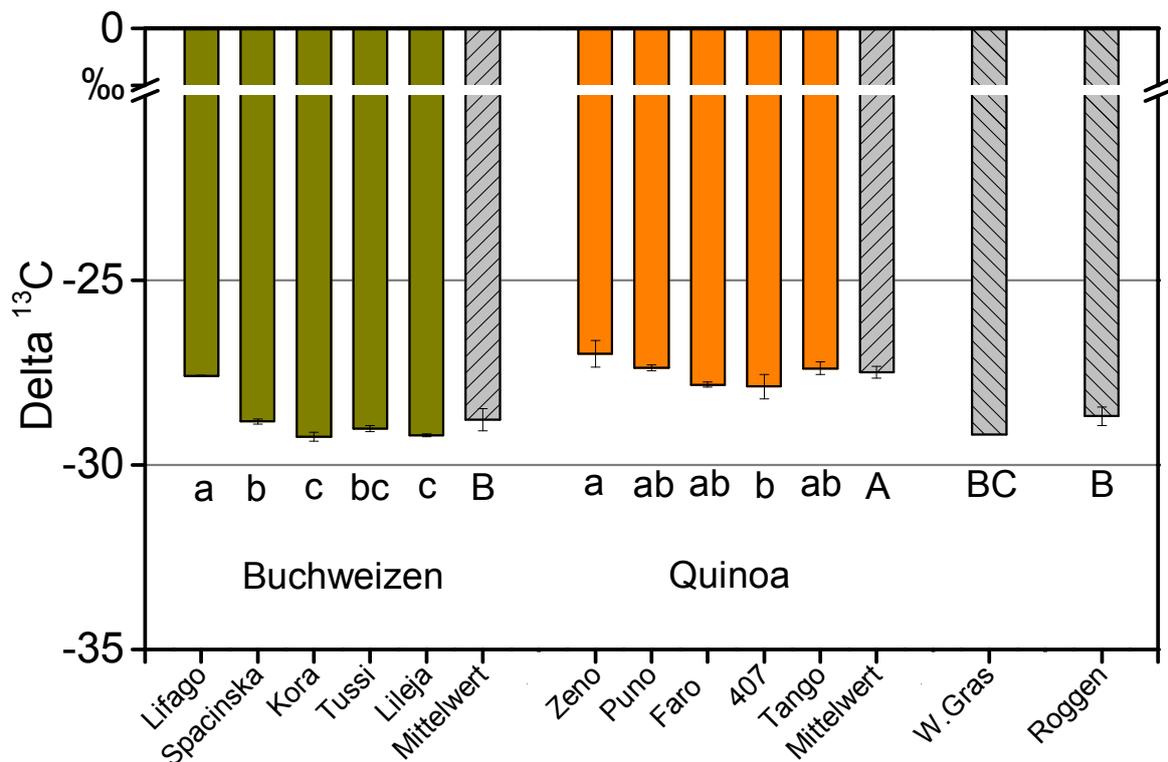


Abbildung 24: ^{13}C -Isotopenanalyse von Buchweizen- und Quinoasorten sowie der Referenzen aus dem Versuchsjahr 2012, Standort Straubing, Fehlerbalken = Standardfehler, Säulen mit unterschiedlichen Kleinbuchstaben (innerhalb der Art) und Großbuchstaben (Artenvergleich) unterscheiden sich signifikant voneinander ($p < 0,05$, t-Test)

Ein anderes Bild zeigt sich im Jahr 2013 (Abbildung 25). Im Artenvergleich weist Buchweizen gegenüber Quinoa diesmal die signifikant höchsten $\delta^{13}\text{C}$ -Werte auf. Die Sorte und die Wechselwirkung von Art und Sorte sind indes nicht signifikant. Dabei zeigen sich bei Quinoa tendenziell Sorteneinflüsse, die aber statistisch nicht abgesichert sind.

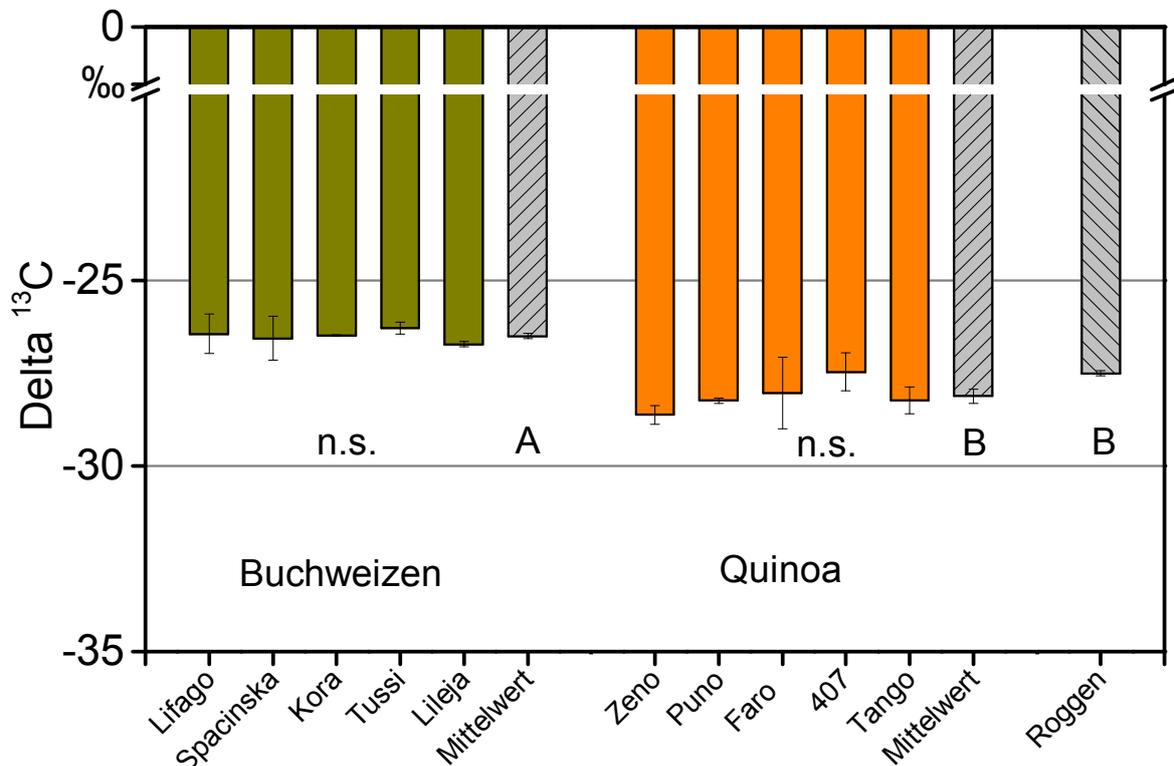


Abbildung 25: ^{13}C -Isotopenanalyse von Buchweizen- und Quinoasorten sowie der Referenzen aus dem Versuchsjahr 2013, Standort Straubing, Fehlerbalken = Standardfehler, Säulen mit unterschiedlichen Kleinbuchstaben (innerhalb der Art) und Großbuchstaben (Artenvergleich) unterscheiden sich signifikant voneinander ($p < 0,05$, t-Test)

Die gegenüber 2011 und 2012 generell höheren $\delta^{13}\text{C}$ -Werte verwundern. Das Jahr 2013 war geprägt durch einen extremen Niederschlagsmangel im Juli. Dies war vor allem bei den Buchweizensorten durch die eingerollten und schlaffen Blätter deutlich zu sehen (Abbildung 49). Vergleicht man die TM-Erträge von Buchweizen und Quinoa im Jahr 2013 zu Saattermin 2 (Abbildung 11 und Abbildung 15), dann zeigt sich ein Mehrertrag von knapp 10 dt/ha bei Quinoa. Somit kann angenommen werden, dass die Buchweizensorten durch den starken Wassermangel ihre Transpiration vermindert haben, indem sie die Stomata geschlossen haben, um einer Verdunstung vorzubeugen. Dadurch haben sie das vorhandene Wasser besser ausgenutzt. Gleichzeitig könnte dies dazu geführt haben, dass weniger CO_2 aufgenommen und im Schluss weniger Biomasse synthetisiert wurde. Bei geringerer Aufnahme von CO_2 durch Schließung der Stomata ist die Pflanze darauf angewiesen, auch das im aufgenom-

menen CO₂ der Luft enthaltene ¹³C in die Biosynthese zu integrieren und Biomasse aufzubauen. Somit sind die höheren Werte an δ¹³C erklärbar. Die Quinoasorten hingegen scheinen über andere Strategien zu verfügen, ihre Transpiration zu mindern, ohne die Stomata zu schließen. Laut Aufhammer (2000) [4] besitzt Quinoa an den Blättern einen Flaum aus sog. Blasenhaaren, die hygroskopisch wirkende Calcium-Oxalatkristalle enthalten, mittels derer die Transpiration begrenzt werden kann. Damit müsste Quinoa die Stomata bei Wassermangel nur bedingt schließen, wodurch mehr CO₂ aufgenommen und mehr Biomasse synthetisiert werden kann. Somit sind auch die relativ konstanten δ¹³C-Werte bei Quinoa über die Jahre 2011 bis 2013 erklärbar. Ein weiterer Grund für die konstanten δ¹³C-Werte sind die nur relativ gering schwankenden TM-Erträge der Quinoasorten über die Jahre.

Die δ¹³C-Werte des Standorts Aholting sind im Anhang in Tabelle 41 aufgeführt. Hier gibt es weder 2012 noch 2013 signifikante Sortenunterschiede. Analog zum Standort Straubing zeigen die Arten signifikante Differenzen. Im Jahr 2012 erreichen die Quinoasorten im Mittel höhere δ¹³C-Werte und deuten eine bessere Wassernutzungseffizienz an. Im Jahr 2013 dagegen ist derselbe Effekt wie am Standort Straubing zu sehen. Die δ¹³C-Werte bei Buchweizen sind höher als die der Quinoasorten. Auch hier zeigen sich die höheren TM-Erträge bei Quinoa im Bereich 40 bis 60 dt/ha im Vergleich zu Buchweizen (30 bis 40 dt/ha), was auf denselben Gründen, wie oben für den Standort Straubing im Jahr 2013 beschrieben, beruhen kann.

5.9 Spurenelementanalyse Cobalt und Nickel

Die Untersuchung der Buchweizen- und Quinoasorten sowie außerdem zum Vergleich in 2013 der Kulturen Amarant, Sorghum und Mais auf ihre Spurenelementgehalte wurde durch kooperierende Kollegen vom Interdisziplinären Zentrum für nachhaltige Entwicklung (IZNE) an der Universität Göttingen vorgenommen. Das ebenfalls von der FNR geförderte Projekt der Kollegen vom IZNE mit dem Titel „Möglichkeiten einer ausgeglichenen Spurenelementversorgung von Biogasanlagen durch Mischungen unterschiedlicher Energiepflanzen“ (Fördernummer 22041611) ist bereits beendet und der Schlussbericht der FNR übergeben (<http://www.fnr.de/projekte-foerderung/projekte/>). Dort wird die Thematik ausführlicher vorgestellt.

Tabelle 16 zeigt die Ergebnisse der Elementuntersuchung des Oberbodens getrennt nach beiden Standorten. Die Werte 2013 bilden den Median aus 16 gezogenen Bodenproben aus diversen Sortenversuchen am Standort Straubing. Im Jahr 2012 wurden am Standort Aholting innerhalb des Versuchsfeldes 37 Bodenproben gezogen.

Die für den Fermentationsprozess wichtigsten Elemente Cobalt und Nickel wiesen am Standort Straubing in 2013 doppelt bis knapp dreifach höhere Gehalte im Boden auf. Somit stehen diese höheren Mengen im Jahr 2013 auch den Pflanzen in Straubing zur Verfügung. Dies spiegelt sich in den analysierten Gehalten bei den Pflanzenpro-

ben sehr gut wider. Die Mittelwerte beider Elemente lagen 2013 in Straubing bei Buchweizen zweimal und bei Quinoa sogar viermal höher als in 2012 in Aholting. Dies zeigt deutlich, dass das Aufnahmepotenzial der Pflanzen entscheidend vom Gehalt der Elemente im Boden des Standortes abhängt.

Tabelle 16: Elementtotalgehalte in mg/kg des Oberbodens der Versuchsstandorte Aholting (2012; n = 37) und Straubing (2013; n = 16)

| Standort Aholting 2012 | | | Standort Straubing 2013 | | |
|------------------------|-------------|-------|-------------------------|-------------|-------|
| Element | Messmethode | mg/kg | Element | Messmethode | mg/kg |
| Cu | ICP-OES | 4,7 | Cu | ICP-OES | 10,7 |
| Ni | ICP-OES | 12,0 | Ni | ICP-OES | 27,6 |

In Abbildung 26 bis Abbildung 33 sind die physiologischen Gehalte, d. h. Elementgehalte von Cobalt und Nickel nach mathematischer Korrektur anhaftenden Materials, aufgeführt. Hierbei wird zuerst Cobalt und im Anschluss Nickel getrennt nach den Jahren 2013 und 2012 dargestellt, jeweils beginnend mit einem Vergleich der Kulturarten (Buchweizen, Quinoa, Amarant, Sorghum, Mais). Im Anschluss werden die Sortenunterschiede bei Buchweizen und Quinoa im Detail aufgeführt.

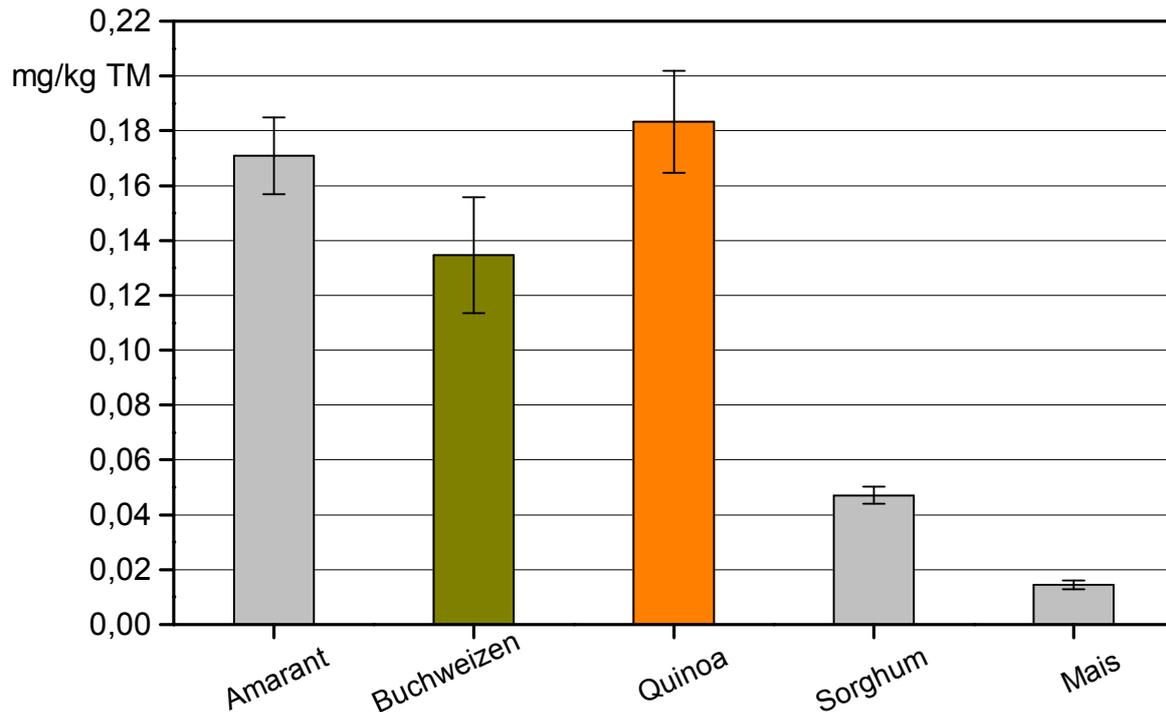


Abbildung 26: Cobaltgehalte in verschiedenen Substraten aus Feldversuchen am Standort Straubing in 2013: Amarant ($n = 75$), Buchweizen ($n = 5$), Quinoa ($n = 5$), Sorghum ($n = 4$), Mais ($n = 6$)

Cobalt ist für die meisten Pflanzen nicht essenziell und im Boden oft nur im Bereich von 5 bis 20 mg/kg TM (Aholting 2012: 4,7 mg/kg, Straubing 2013: 10,7 mg/kg) enthalten. Abbildung 26 zeigt, dass Mais in 2013 im Mittel nur 0,015 mg/kg TM Cobalt aufwies, ca. 12-mal weniger als das Mittel der getesteten Quinoasorten und 10-mal weniger als die Buchweizensorten. Solche niedrigen Cobaltgehalte bei Mais wurden von der Arbeitsgruppe Bioenergie des IZNE der Universität Göttingen bei zahlreichen Maisproben anderer Standorte bestätigt [35]. Die Cobaltgehalte von Buchweizen und Quinoa haben ein ähnlich hohes Niveau wie Amarant, der als reich an Cobalt gilt, wobei Quinoa mit im Durchschnitt ca. 0,18 mg/kg TM den höchsten Gehalt erzielte.

Im Folgenden soll beispielhaft für die Kulturarten Mais, Amarant, Buchweizen und Quinoa aufgezeigt werden, wie viel Cobalt von einem Hektar geernteter Pflanzenmasse einem Biogasfermenter zugeführt werden könnte (Tabelle 17). Dabei werden mittlere TM-Erträge für alle Kulturen verwendet (Mais: 17 t/ha, Amarant: 9,4 t/ha, Buchweizen: 6 t/ha, Quinoa: 5 t/ha).

Tabelle 17: Berechnung der Abfuhr von Cobalt pro Hektar getrennt nach Kulturart

| | Cobaltgehalt Pflanze | Cobaltgehalt Pflanze | TM-Ertrag | Cobaltabfuhr |
|-------------------------|----------------------|----------------------|-----------|--------------|
| | mg/kg TM | g/t TM | t/ha | g/ha |
| Mais ¹ | 0,015 | 0,015 | 17,0 | 0,25 |
| Amarant ¹ | 0,170 | 0,170 | 9,4 | 1,60 |
| Buchweizen ¹ | 0,140 | 0,140 | 6,0 | 0,84 |
| Buchweizen ² | 0,070 | 0,070 | 6,0 | 0,42 |
| Quinoa ¹ | 0,190 | 0,190 | 5,0 | 0,95 |
| Quinoa ² | 0,050 | 0,050 | 5,0 | 0,25 |

¹2013, ²2012

Mit einem Anbau von Buchweizen können jahresabhängig bis zu 0,84 g Cobalt pro Hektar dem Fermenter zugeführt werden, mit Quinoa wären dies sogar bis zu 0,95 g Cobalt pro Hektar. Hier ist klar der Einfluss des TM-Ertrags erkennbar. Amaranth liefert aufgrund des höheren TM-Ertrags bis zu 1,6 g Cobalt pro Hektar. Sehr interessant ist, dass, obwohl der TM-Ertrag von Mais um das Dreifache höher liegt als der von Buchweizen und Quinoa, die Cobaltmenge pro Hektar von Mais nur 0,25 g beträgt. Somit kann die Nutzung von Buchweizen und Quinoa als zusätzliches Biogassubstrat eine reichhaltige Quelle des essenziellen Elements Cobalt darstellen und die zu geringen Spurenelementgehalte von Mais ausgleichen oder zumindest den Einsatz von Spurenelementadditiven senken.

Zum Einfluss der Sorten und Saattermine bei Buchweizen und Quinoa sind in den nächsten beiden Abbildungen die Cobaltgehalte sortengetrennt für 2012 und 2013 aufgeführt. Dabei wird zum direkten Vergleich der Arten zuerst das Jahr 2013 beschrieben.

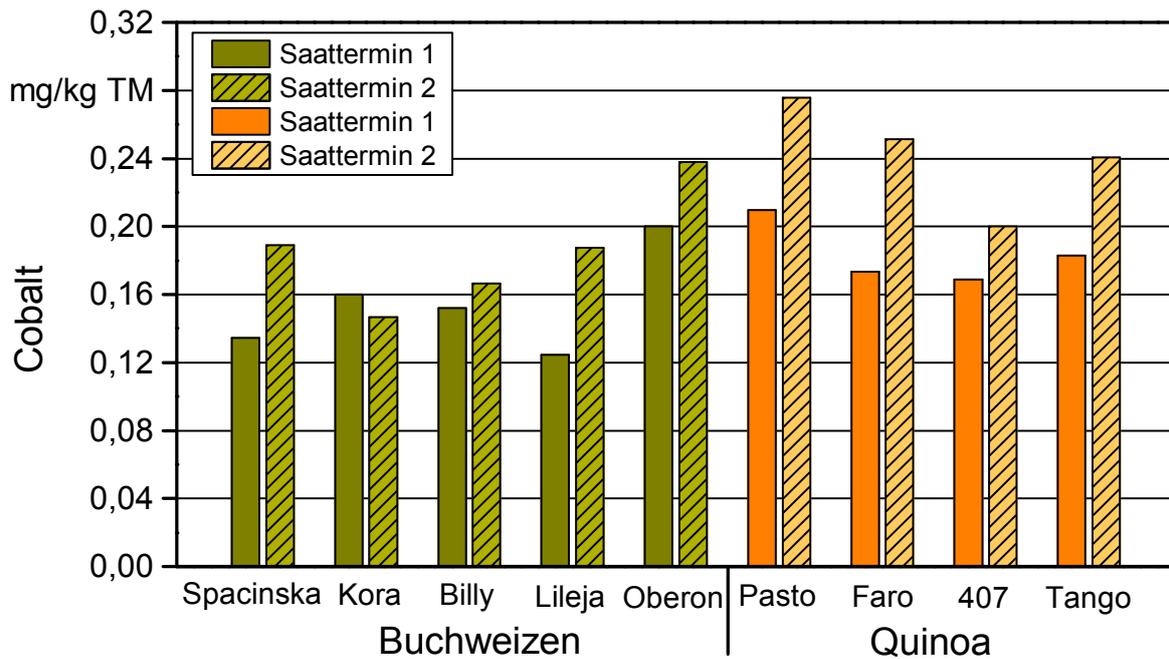


Abbildung 27: Cobaltgehalte in Buchweizen- und Quinoasorten am Standort Straubing getrennt nach Saattermin in 2013

Der Einfluss der Sorte und des Saattermins ist bei beiden Kulturarten klar ersichtlich (Abbildung 27). Bis auf Ausnahmen sind die Cobaltgehalte bei späterer Saat höher, ein Erklärungsansatz dafür liegt nicht vor. Im Buchweizensortiment erzielt die Sorte Oberon zu beiden Saatterminen die höchsten Gehalte von ca. 0,20 bzw. 0,24 g Co/kg TM. Innerhalb der Quinoasorten enthält die Sorte Pasto mit 0,1 bzw. 0,27 g Co/kg TM am meisten Cobalt. In Kombination mit dem TM-Ertrag ergibt sich der höchste Cobaltentzug bei der Sorte Oberon (0,79 g Co/ha) für Buchweizen und bei Quinoa für die Sorte Faro (1,5 g Co/ha).

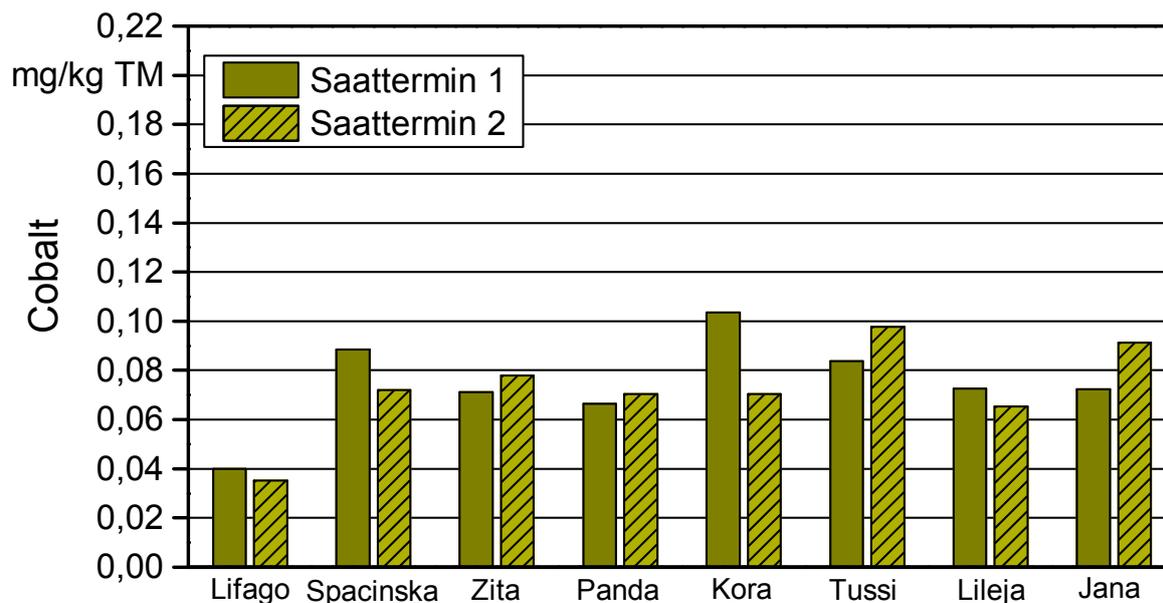


Abbildung 28: Cobaltgehalte in Buchweizensorten am Standort Aholfing getrennt nach Saattermin in 2012

Im Vergleich zum Standort Straubing (2013) sind die Cobaltgehalte am Standort Aholfing in 2012 nur halb so hoch. Dies liegt wahrscheinlich an dem um die Hälfte geringeren Cobaltgehalt im Boden. Die Buchweizensorte mit dem höchsten Cobaltgehalt ist Kora zu Saattermin 1 mit 0,11 mg/kg TM (Abbildung 28). Der Saattermin zeigt im Gegensatz zu 2013 keinen direkten Einfluss auf die Höhe der Cobaltgehalte der Pflanzen. Mit der Buchweizen-Ernte 2012 konnten ca. 0,6 g Co/ha vom Feld abgefahren werden.

Im Vergleich mit Quinoa (Abbildung 29) erreicht Buchweizen 2012 leicht höhere Cobaltgehalte. Innerhalb der Quinoasorten erreichen sieben von neun Sorten zu dem früheren Saattermin höhere Gehalte an Cobalt, wobei der Level um das Dreifache niedriger ist als in 2013 am Standort Straubing. Die Sorten Carmen, Pasto und Tango erreichen die höchsten Gehalte von durchschnittlich 0,06 mg Co/kg TM, damit werden 0,3 g Co/ha in den Fermenter eingebracht.

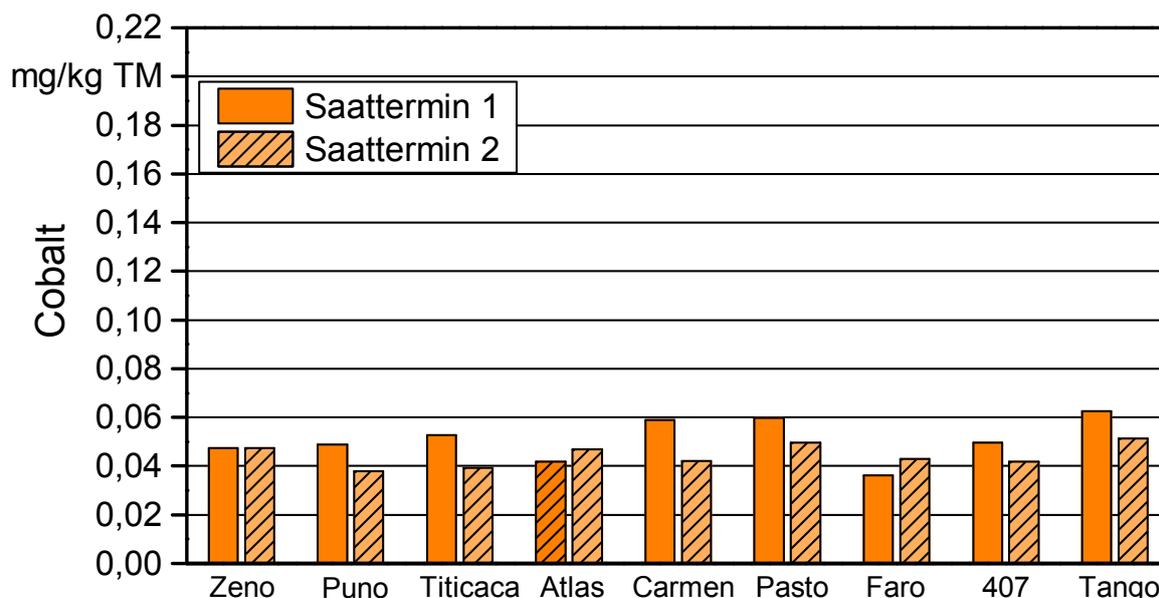


Abbildung 29: Cobaltgehalte in Quinoasorten am Standort Aholfing getrennt nach Saattermin in 2012

Die Ergebnisse zu den Analysen der Nickelgehalte sind in Abbildung 30 bis Abbildung 33 aufgeführt. Die Abfolge ist analog zu der von Cobalt. Die Nickelgehalte (Abbildung 30) von Quinoa und Mais unterscheiden sich um den Faktor 3,8 und von Mais zu Buchweizen um den Faktor 3. Damit liegt der Nickelgehalt bei Quinoa über dem von Amaranth. Sorghum zeigt ähnlich niedrige Nickelgehalte wie Mais (Abbildung 30). Die Nickelzufuhr in den Biogasfermenter kann somit über Buchweizen- und Quinoabiomasse im Vergleich zu Mais ebenfalls erhöht werden. Wird auf Grundlage der mittleren TM-Erträge analog zu Cobalt der Entzug pro Hektar berechnet, ergeben sich folgend in Tabelle 18 dargestellte Werte:

Tabelle 18: Berechnung der Abfuhr von Nickel pro Hektar, getrennt nach Kulturart

| | Nickelgehalt Pflanze | Nickelgehalt Pflanze | TM-Ertrag | Nickelabfuhr |
|-------------------------|----------------------|----------------------|-----------|--------------|
| | mg/kg TM | g/t TM | t/ha | g/ha |
| Mais ¹ | 0,28 | 0,28 | 17 | 4,8 |
| Amaranth ¹ | 0,53 | 0,53 | 9,4 | 5,0 |
| Buchweizen ¹ | 0,78 | 0,78 | 6 | 4,7 |
| Buchweizen ² | 0,35 | 0,35 | 6 | 2,1 |
| Quinoa ¹ | 0,92 | 0,92 | 5 | 4,6 |
| Quinoa ² | 0,26 | 0,26 | 5 | 1,3 |

¹2013, ²2012

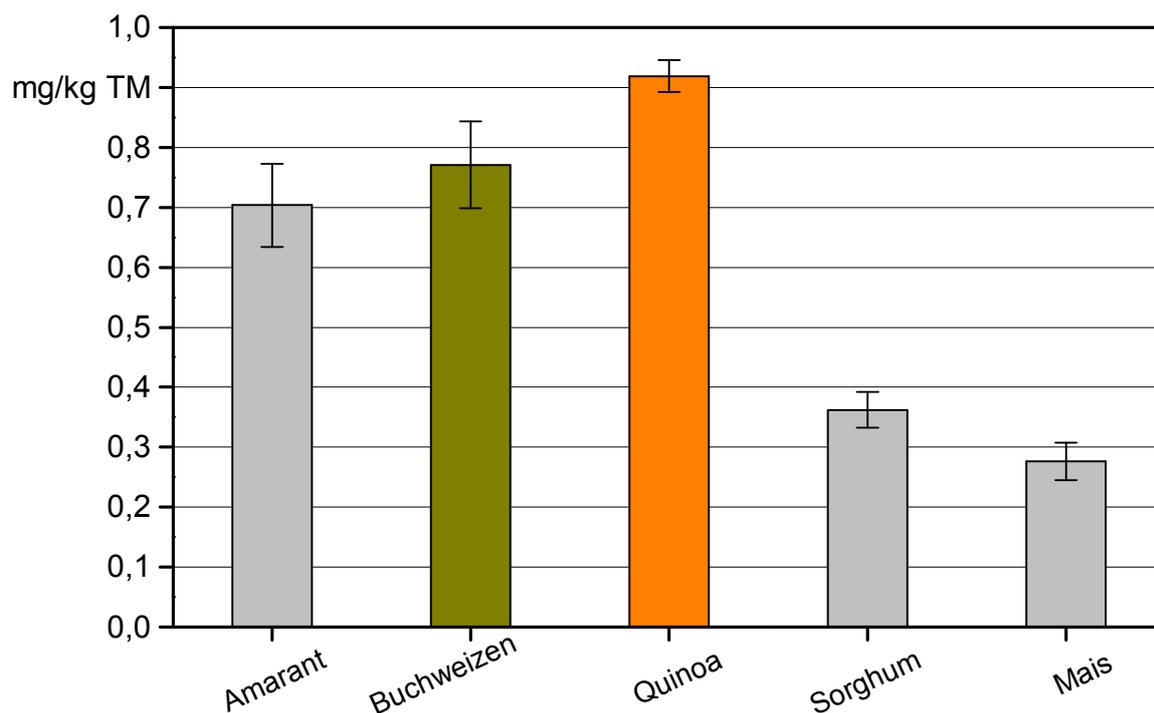


Abbildung 30: Nickelgehalte in verschiedenen Substraten aus Feldversuchen am Standort Straubing in 2013: Amarant ($n = 75$), Buchweizen ($n = 5$), Quinoa ($n = 5$), Sorghum ($n = 4$) und Mais ($n = 6$)

Mit den Ergebnissen für das Jahr 2013 lässt sich mit Buchweizen und Quinoa fast die gleiche Menge Nickel in den Fermenter zuführen wie mit Mais – trotz ca. 60 % weniger TM-Ertrag. Im Gegensatz dazu liegen die Nickelgehalte im Jahr 2012 bei Buchweizen nur bei der Hälfte und bei Quinoa sogar nur bei einem Drittel. Dies zeigt den Einfluss des Bodengehalts an Nickel für die Aufnahme der Pflanze, wie auch für Cobalt dargestellt. Gegenüber Mais liegt der Vorteil jedoch in der hohen Aufnahmekapazität von Buchweizen und Quinoa für solche Spurenelemente. Sollte der Boden reich an Cobalt und Nickel sein, nehmen diese beiden Kulturen die Spurenelemente auch auf. Mais hingegen enthält unabhängig vom Bodenvorrat immer relativ geringe Mengen.

Die Sortenunterschiede 2013 bei Buchweizen und Quinoa sind in Abbildung 31 aufgeführt. Der Einfluss des Saattermins ist bei beiden Kulturen unklar. Im Buchweizenspektrum erzielt die Sorte Oberon zu beiden Saatterminen hohe Nickelgehalte, wobei sie bei Saattermin 2 von Sorte Kora übertroffen wird. Die Sorte Kora könnte somit unter vergleichbaren Umständen beachtliche 4,7 g Ni/ha liefern. Für die Sorte Oberon mit höheren TM-Erträgen kann eine theoretische Zufuhr von im Schnitt 5,8 g Ni/ha berechnet werden. Im Quinoasortenspektrum erzielen die Sorte Pasto mit 0,95 mg/kg TM zu Saattermin 1 und die Sorte 407 1,05 mg/kg TM zu Saattermin 2 die höchsten Nickelgehalte. Damit könnten ungefähr 5 g Ni/ha abgefahren werden.

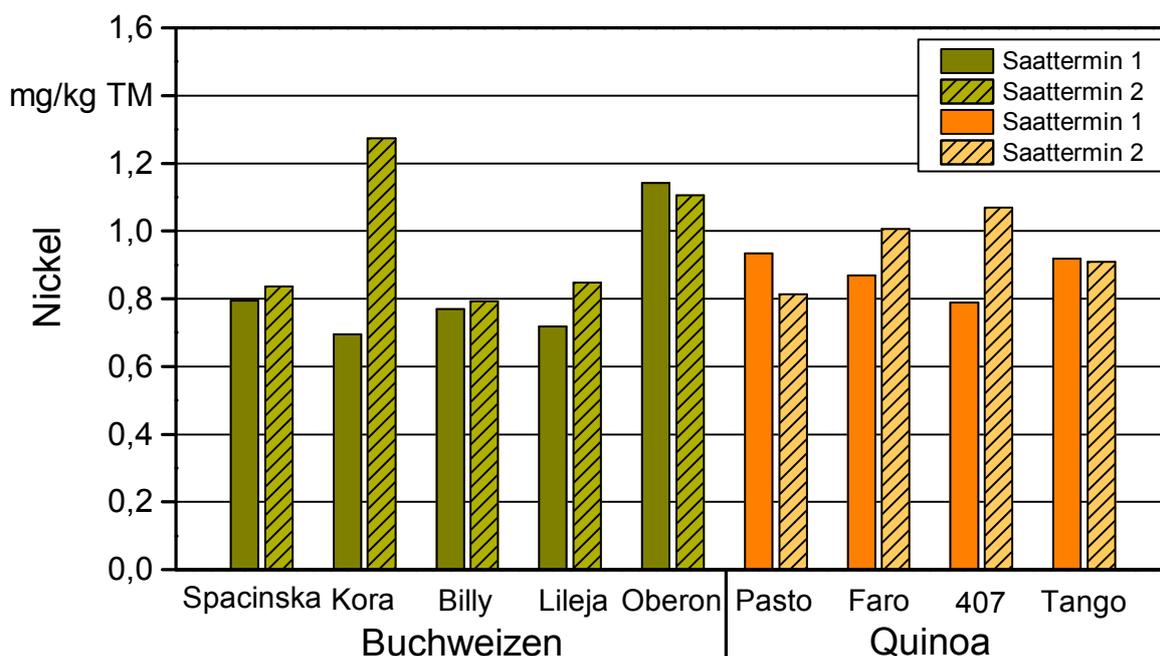


Abbildung 31: Nickelgehalte in Buchweizen- und Quinoasorten am Standort Straubing getrennt nach Saattermin in 2013

Die Sortenunterschiede bei Buchweizen (Abbildung 32) im Jahr 2012 sind bis auf den stark nach oben abweichenden Wert der Sorte Kora für den Saattermin 1 nicht deutlich voneinander verschieden. Werden die Sorten später gesät, markiert die Sorte Lifago das untere Level, die Sorten Tussi und Jana das Maximum. Bei Quinoa (Abbildung 33) zeigt sich für die Sorten Titicaca, Atlas, Pasto, Faro und 407 ein Einfluss des Saattermins. Diese Sorten haben bei späterer Saat alle höhere Nickelgehalte. Dabei erreicht die Sorte Faro mit 0,4 mg/kg TM den höchsten Wert. Damit könnten theoretisch pro Hektar 2,4 g Ni/ha in den Fermenter eingebracht werden.

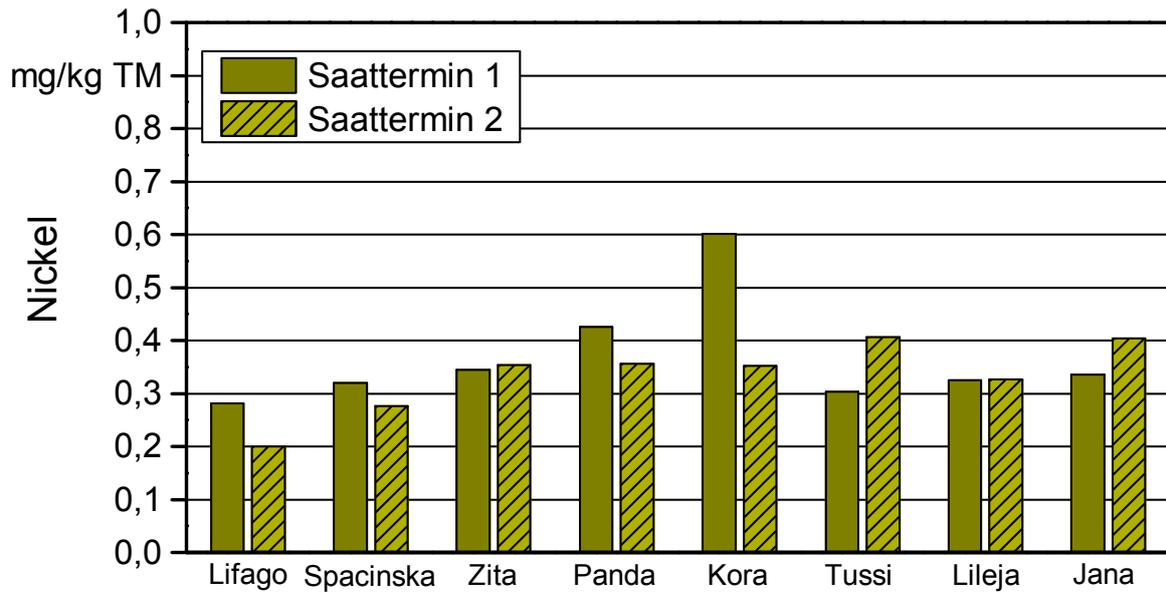


Abbildung 32: Nickelgehalte in Buchweizensorten am Standort Aholting getrennt nach Saattermin in 2012

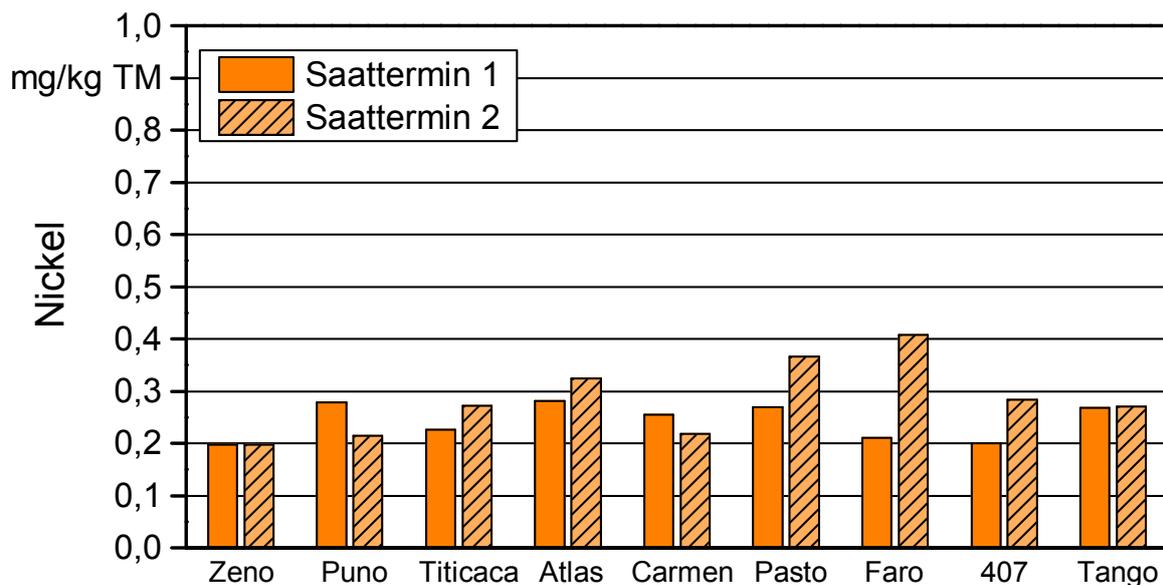


Abbildung 33: Nickelgehalte in Quinoasorten am Standort Aholting getrennt nach Saattermin in 2012

Bezüglich der optimalen Spurenelementkonzentrationen im Substrat existieren verschiedene Angaben, die mitunter sehr weite Bereiche umfassen – so auch im „Leitfaden Biogas“ der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR) [11]. Konkretere Angaben finden sich bei Sauer et al. (2009) [33], der die Schwellenkonzentrationen für die bedeutendsten Spurenelemente auf Basis praktischer Versuche in den Biogasanlagen der Bioenergiedörfer im Göttinger Land festlegte. Diese Schwellenkonzentrationen betragen für Cobalt $0,07 \text{ g/m}^3$ und für Nickel $0,33 \text{ g/m}^3$ Frischmasse.

Wenn nur Buchweizen oder Quinoa als einzige Substrate in den Fermenter eingebracht würden, könnten die Schwellenwerte mit den Gehalten des Versuchsjahres 2013 bei beiden Kulturen leicht erreicht werden. Buchweizen würde einen Gehalt von 0,11 g Cobalt pro Tonne Frischmasse (angenommener TS-Gehalt 30 %) und 0,59 g Nickel pro Tonne Frischmasse in den Fermenter einbringen. Quinoa liegt 2013 bei 0,14 g Cobalt und 0,69 g Nickel pro Tonne Frischmasse. Damit würden die geforderten Mindestwerte um etwa das Doppelte übertroffen werden.

Dagegen würden mit den Gehalten im Versuchsjahr 2012 für den spurenelementarmen Standort Aholting mit 0,05 g Cobalt/t FM und 0,26 g Nickel/t FM für Buchweizen sowie 0,04 g Cobalt/t FM und 0,20 g Nickel/t FM für Quinoa die Bakterien im Fermenter unterversorgt werden. Hiermit zeigt sich erneut, dass die Standortbedingungen, über den Gehalt an Spurenelementen im Boden, entscheidend zur Aufnahme von Spurenelementen der Pflanzen beider Kulturen beitragen.

Dennoch haben Buchweizen und Quinoa den Vorteil, dass sie, wenn hohe Cobalt- und Nickelgehalte im Boden vorhanden sind, diese im Gegensatz zu Mais auch in größerem Maße aufnehmen können. Dies ist auch bei den geringeren TM-Erträgen dieser Kulturen ein großer Vorteil und kann den Anbau attraktiver machen.

5.10 Gewächshausversuche

Im Feldversuch ist man ohne hohen versuchstechnischen Aufwand von den Witterungsbedingungen der Umwelt abhängig. So lässt sich die Einwirkung von Wassermangel auf die Wachstumsleistung von Kulturpflanzen nur bei einer längeren Trockenphase eruieren, die im Feld nicht sicher eintritt. Gewächshausversuche verschaffen die Möglichkeit, definierte Versuchsbedingungen zu schaffen und einzuhalten, außerdem werden Fremdeinwirkungen minimiert. So kann gezielt Wassermangel über einen gewünschten Zeitraum induziert oder eine gestaffelte Stickstoffdüngung untersucht werden, da sich keine weiteren Einflüsse wie unter Freilandbedingungen (z. B. Stickstoffnachlieferung des Bodens) ergeben.

5.10.1 Wassernutzungseffizienz

5.10.1.1 Saugspannung

In sechs Wiederholungen wurden die Buchweizensorten Spacinska, Kora, Lifago und Lileja sowie die Quinoasorten Zeno, Puno, Faro und 407 sowie zum Vergleich die Referenzen Einjähriges Weidelgras (Sorte Hannah) und Sommerroggen (Sorte Ovid) auf Trockentoleranz getestet. Im Folgenden werden die Ergebnisse zu den Versuchen Trockenstress und Stickstoffdüngung getrennt für Buchweizen und Quinoa dargestellt.

Buchweizen

Nach statistischer Auswertung mittels Varianzanalyse konnte ein signifikanter Einfluss für die Haupteffekte Wasserspannung und Sorte sowie die Wechselwirkung Wasserspannung*Sorte nachgewiesen werden. Der Einfluss der Saugspannung, die die Wasserversorgung widerspiegelt, ist deutlich erkennbar (Abbildung 34). Für jede Sorte werden bei einer Saugspannung von 50 hPa jeweils die signifikant höchsten TM-Erträge pro Topf erreicht. Wird die Wasserversorgung auf 200 hPa gedrosselt, sinken die Erträge signifikant. Eine weitere Absenkung der Saugspannung zeigt keinen signifikanten Unterschied mehr. Die Sorte Kora zeigt einen graduellen Abfall im TM-Ertrag mit Zunahme der Saugspannung. Die Sorte Spacinska dagegen schwankt, ebenso wie die Sorte Lifago. Im Vergleich der Sorten untereinander getrennt nach Saugspannungsstufe zeigt sich die Sorte Lileja bei Stufe 50 hPa am ertragsstärksten, gefolgt von Kora und Lifago. Innerhalb der Saugspannungsstufen 200 hPa und 350 hPa erreicht die Sorte Kora den signifikant höchsten Ertrag. Bei der höchsten Stufe und somit einer sehr marginalen Wasserversorgung erweist sich die Sorte Spacinska am ertragsstärksten, gefolgt von den Sorten Kora und Lileja.

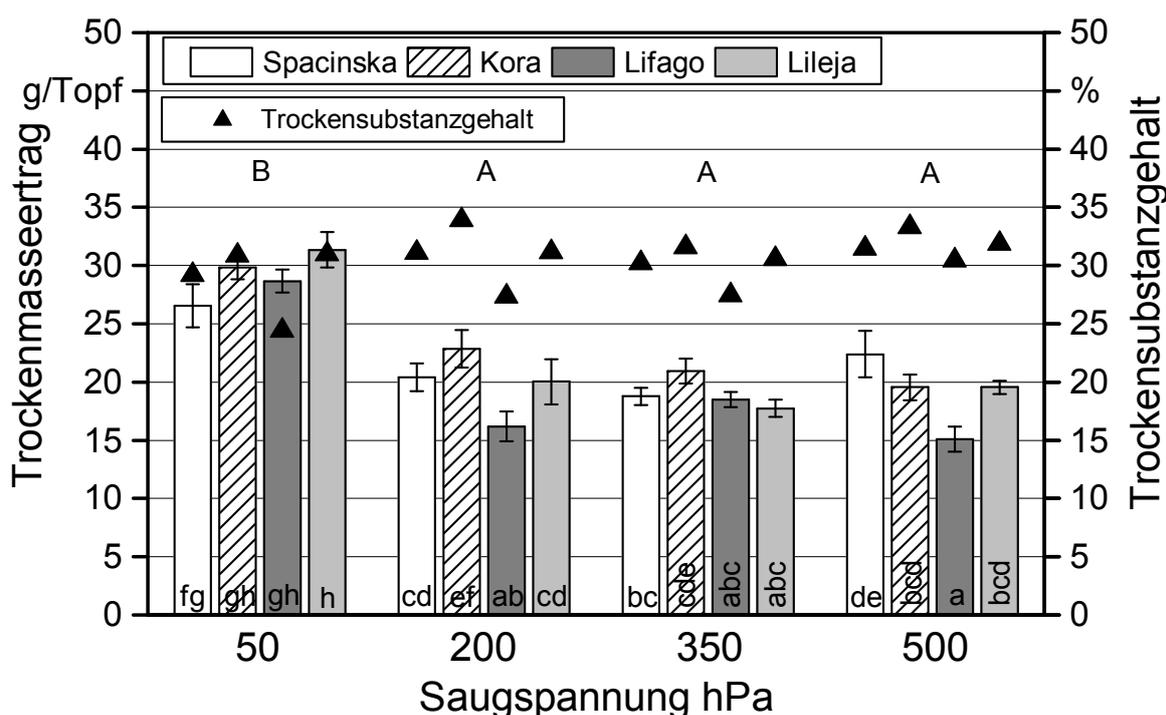


Abbildung 34: Trockenmasseertrag und Trockensubstanzgehalt der Buchweizensorten Spacinska, Kora, Lifago und Lileja getrennt nach der Saugspannungsstufe; Fehlerbalken = Standardfehler, Säulen mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant voneinander ($p < 0,05$, t-Test)

Schlussfolgernd kann am ehesten die Sorte Kora für Standorte, die zu Sommertrockenheit neigen, empfohlen werden. Sollte es zu extremem Wassermangel kommen, scheint die Sorte Spacinska vorteilhafter als andere Sorten. Die tatarische Buchweizensorte Lifago scheint eher empfindlich auf Wassermangel zu reagieren und sollte

nur bedingt auf trockenheitsgefährdeten Standorten angebaut werden. Lileja scheint bei optimal versorgten Standorten die Sorte der Wahl.

Der TS-Gehalt erfährt mit sinkender Wasserversorgung einen leichten Anstieg, bis auf die Sorte Lifago erreichen alle Sorten einen TS-Gehalt von 30 %. Somit kann davon ausgegangen werden, dass der angelegte Wassermangel nur bedingt eine schnellere Abreife hervorgerufen hat.

Da signifikante Unterschiede nur zu der Saugspannungsstufe 50 hPa auftraten, wurde der Versuch in einem zweiten Durchgang um die Stufe 125 hPa erweitert sowie die Stufe 500 hPa gestrichen. Hierdurch sollte vor allem der Bereich des leichten Wassermangels detaillierter untersucht werden. In Abbildung 35 sind die Ergebnisse dargestellt.

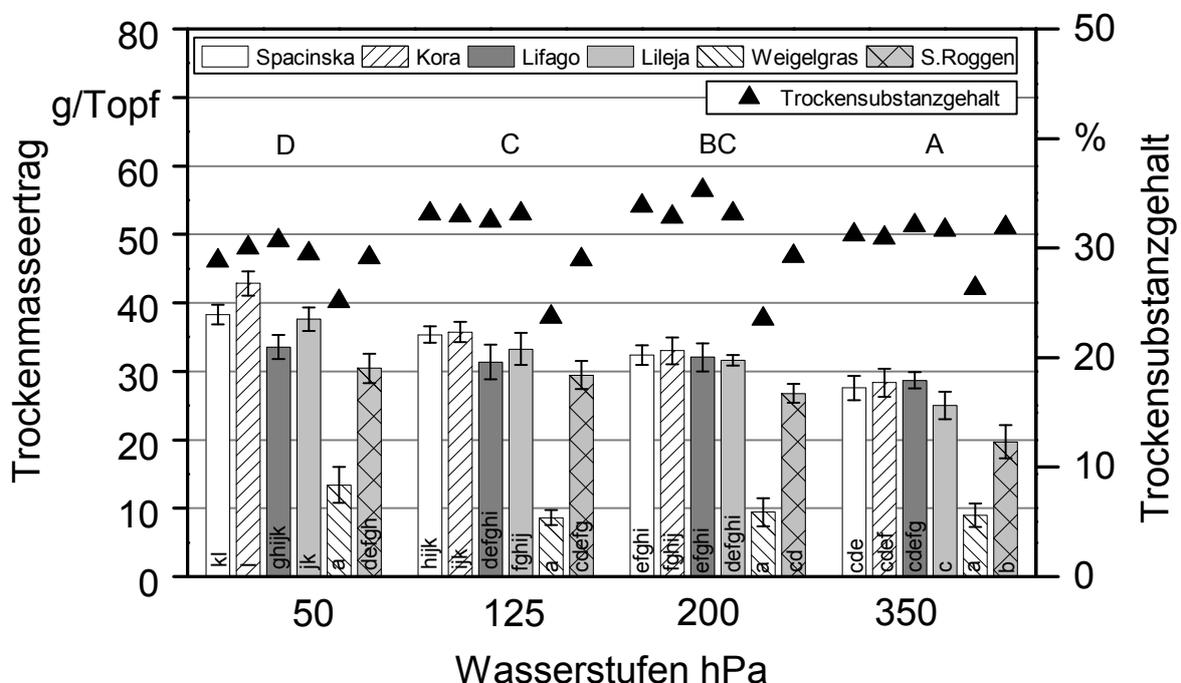


Abbildung 35: Trockenmasseertrag und Trockensubstanzgehalt der Buchweizensorten Spacinska, Kora, Lifago und Lileja sowie der Referenzkulturen getrennt nach Saugspannungsstufe; Fehlerbalken = Standardfehler, Säulen mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant voneinander ($p < 0,05$, t-Test)

Im Vergleich zum vorherigen Versuch sind die Saugspannungsstufen teilweise voneinander signifikant zu unterscheiden. Mit Stufe 50 hPa erreichen die Kulturen erneut die signifikant höchsten TM-Erträge und unter Stufe 350 hPa die signifikant geringsten TM-Erträge. Unter den Buchweizensorten kann erneut Sorte Kora überzeugen. Bei allen Wasserversorgungsstufen liegt sie im oberen Bereich. Generell sind die Sortenunterschiede vor allem bei Stufe 50 hPa, also unter quasi normalen Bedingungen, ausgeprägt. Innerhalb der weiteren Stufen sind keine signifikanten Sorteneinflüsse

mehr ersichtlich. Die beiden Referenzkulturen markieren jeweils den unteren Bereich der TM-Leistung. Der Sommerroggen zeigt eine graduelle Absenkung im TM-Ertrag simultan mit der Verringerung der Wasserzufuhr. Das Weidelgras hingegen zeigt nur marginale Effekte. Der TS-Gehalt ist ähnlich zum Versuch davor graduell ansteigend mit zunehmender Saugspannungsstufe. Bis auf das Einjährige Weidelgras liegen alle Werte bei mindestens 28 % TS. Somit zeigt sich auch hier nur eine geringe Beeinflussung der Abreife der Kulturen. Jedoch muss berücksichtigt werden, dass zu hohe TS-Gehalte (> 40 %) zu einer schlechteren Verdichtung der Biomasse im Silo und zu hohen Verlusten führen können.

Quinoa

Die Ergebnisse zum Einfluss der Wasserversorgung bei Quinoa sind in Abbildung 36 dargestellt. Wie bei Buchweizen zeigt sich ebenfalls ein Einfluss der Saugspannungsstufe. Eine gute Wasserversorgung sichert auch hier den signifikant höchsten TM-Ertrag der Kulturen. Die Absenkung auf 200 hPa ist signifikant, gleichsam die spätere Absenkung auf 500 hPa, wobei die Unterschiede nicht so deutlich ausfallen wie bei Buchweizen (Abbildung 34). Quinoa gilt als trockentoleranter als Buchweizen, was sich auch in diesen Ergebnissen widerspiegelt. Die geprüften vier Quinoasorten unterscheiden sich innerhalb der gleichen Saugspannungsstufe im TM-Ertrag nicht signifikant voneinander. Die beiden Referenzen zeigen hingegen einen klaren Abfall in der Ertragsleistung, wobei die Sommerroggensorte Ovid die geringste Wuchsleistung zeigt. Hinsichtlich der TS-Gehalte ist eine steigende Tendenz erkennbar. Mit reduzierter Wasserversorgung steigt tendenziell der TS-Gehalt, was für eine beschleunigte Abreife spricht. Sollte ein ausgeprägter Wassermangel im Feld ebenfalls zu einer schnelleren Abreife führen, muss eher geerntet werden, um TS-Gehalte über 40 % zu vermeiden, da dies bei der Verdichtung der Pflanzen im Silo zu hohen Verlusten führen kann.

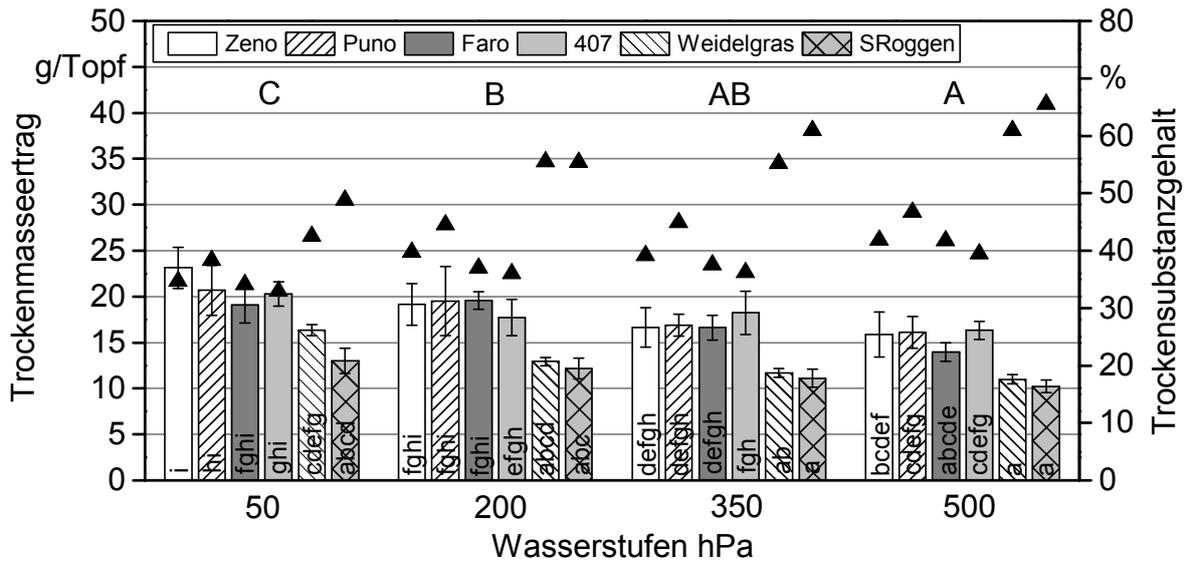


Abbildung 36: Trockenmasseertrag und Trockensubstanzgehalt der Quinoasorten Zeno, Puno, Faro und 407 sowie der Referenzen getrennt nach Saugspannungsstufe; Fehlerbalken = Standardfehler, Säulen mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant voneinander ($p < 0,05$, t-Test)

5.10.1.2 ^{13}C -Isotopenanalyse im Gewächshausversuch

Die ^{13}C -Isotopenanalyse der Blattproben aus dem Gewächshausversuch zum Wasserstress bei Buchweizen und Quinoa ist in Abbildung 37 aufgeführt, jedoch zeigt sich kein eindeutiges Bild. Es wird angenommen, dass mit sinkender Wasserversorgung der Gehalt an ^{13}C im Blatt steigt. Dies konnte mit diesen Ergebnissen jedoch nicht bestätigt werden: Seltsamerweise nimmt bei einigen Sorten sogar der Gehalt an ^{13}C mit steigendem Trockenstress ab bzw. ändert sich nur gering oder schwankt. Der ^{13}C -Gehalt im Blatt steigt, wenn die Stomata aufgrund von Wassermangel schneller und öfter schließen, damit die Verdunstung verringert wird, wobei kein CO_2 mehr aufgenommen werden kann und die Wachstumsleistung sinkt. Die Pflanzen der vier Saugspannungsstufen unterscheiden sich teilweise in ihrer Wachstumsleistung, sodass anzunehmen ist, dass die geringere Biomasseproduktion auch zu einem geringeren Wasserbedarf geführt hat. Somit könnten die Schwankungen der ^{13}C -Analysen durch das geringere Pflanzenwachstum mit steigendem Trockenstress erklärt werden, dies kann allerdings nur vermutet werden.

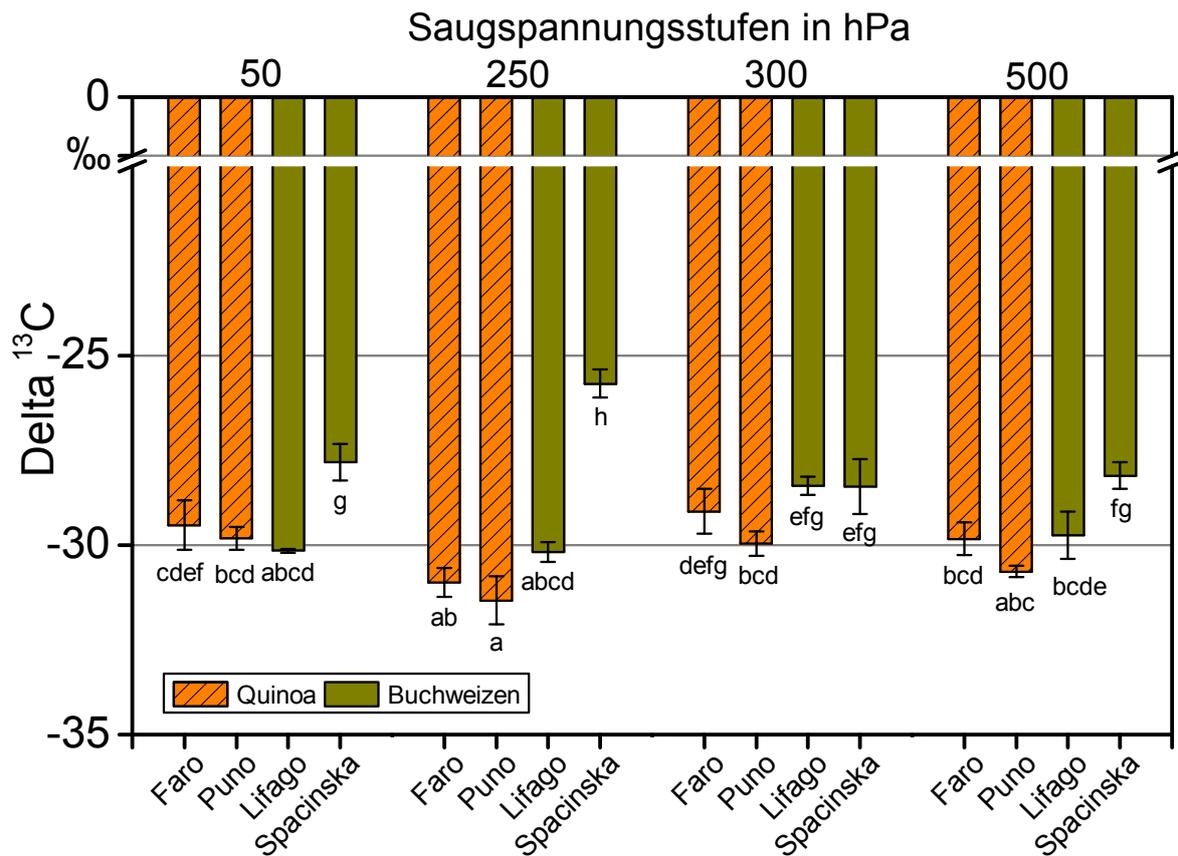


Abbildung 37: ^{13}C -Isotopenanalyse von Buchweizen- und Quinoasorten aus dem Gewächshausversuch Trockenstress, Fehlerbalken = Standardfehler, Säulen mit unterschiedlichen Kleinbuchstaben und Großbuchstaben (Saugspannungsstufe) unterscheiden sich signifikant voneinander ($p < 0,05$, t-Test)

Innerhalb der gleichen Saugspannungsstufe konnten jeweils für Buchweizen die positiveren $\delta^{13}\text{C}$ -Werte gemessen werden. Es scheint, dass die Buchweizensorten bei Wassermangel vorzugsweise durch den Schluss der Stomata anders als Quinoa ihre Wasserverdunstung begrenzen. Damit würden sie aber auch die CO_2 -Versorgung reduzieren und weniger Biomasse aufbauen können. Ferner würde vermehrt das im schon aufgenommenen CO_2 vorhandene ^{13}C in Biomasse umgesetzt. Somit wären auch die höheren $\delta^{13}\text{C}$ Werte im Vergleich zu Quinoa erklärbar.

Quinoa hingegen scheint andere Möglichkeiten zu besitzen, Wassermangel abzuschwächen. Aufhammer (2000) [4] beschreibt bei Quinoa einen Flaum aus Blasenhaaren an den Blättern, die hygroskopisch wirkende Calcium-Oxalatkristalle enthalten und die Transpiration begrenzen können. Damit müsste Quinoa die Stomata bei Wassermangel nur bedingt schließen und könnte auch stärker das bevorzugte ^{12}C in der Biomassesynthese verwerten. Dies deutet darauf hin, dass die Methode der ^{13}C -Isotopenanalyse als Indikator für die Wassernutzungseffizienz bei Quinoa eher ungeeignet ist.

Innerhalb der Arten zeigte vor allem die Buchweizensorte Spacinska bis auf die Stufe 300 hPa signifikant höhere Werte an $\delta^{13}\text{C}$ als die Sorte Lifago. Die Quinoasorten unterschieden sich nicht signifikant, was wiederum für die Trockentoleranz von Quinoa spricht.

5.10.2 Stickstoffdüngung

Stickstoff ist der Nährstoff mit der höchsten Wirkung auf das Pflanzenwachstum. Dieser Effekt ist einerseits von Vorteil, da er zu höherem Biomassewachstum und höherer Ertragsleistung führt. Dagegen verzögert sich aber auch die Abreife, da die Seneszenz später einsetzt. Damit stellt sich auch der angestrebte Mindest-TS-Gehalt erst später ein. Um den Einfluss von Stickstoff auf das Abreifeverhalten zu testen, wurde in Gewächshausversuchen der Einfluss einer gestaffelten Stickstoffdüngung auf das Ertragspotenzial und die Abreife ausgewählter Buchweizen- und Quinoasorten geprüft. Im Folgenden sind in Abbildung 38 und Abbildung 39 die Ergebnisse grafisch dargestellt.

Buchweizen

Der signifikante Einfluss der Stickstoffdüngung bei Buchweizen ist klar ersichtlich (Abbildung 38): Jede Steigerung der Düngemenge wirkte sich auf die Ertragsleistung signifikant positiv aus. In Stickstoffstufe 80 kg N/ha, die auch während der dreijährigen Feldversuche angestrebt wurde, zeigen sich TM-Erträge von durchschnittlich 60 g/Topf. Auf einen Hektar umgerechnet sind dies 60 dt TM/ha, damit sind die Ergebnisse des Gewächshausversuchs mit den Ergebnissen der Feldversuche vergleichbar. Sortenunterschiede werden innerhalb der Düngestufen, ausgenommen der Sorte Lifago zu Stufe 40 kg N/ha, nur bei Stufe 80 kg N/ha deutlich. Die Sorte Spacinska kann den Stickstoff am besten in Biomasse umsetzen. Dahingegen zeigt Sorte Lifago den geringsten Effekt. Bei weiterer Steigerung der N-Gabe gibt es keine signifikanten Unterschiede der Sorten mehr.

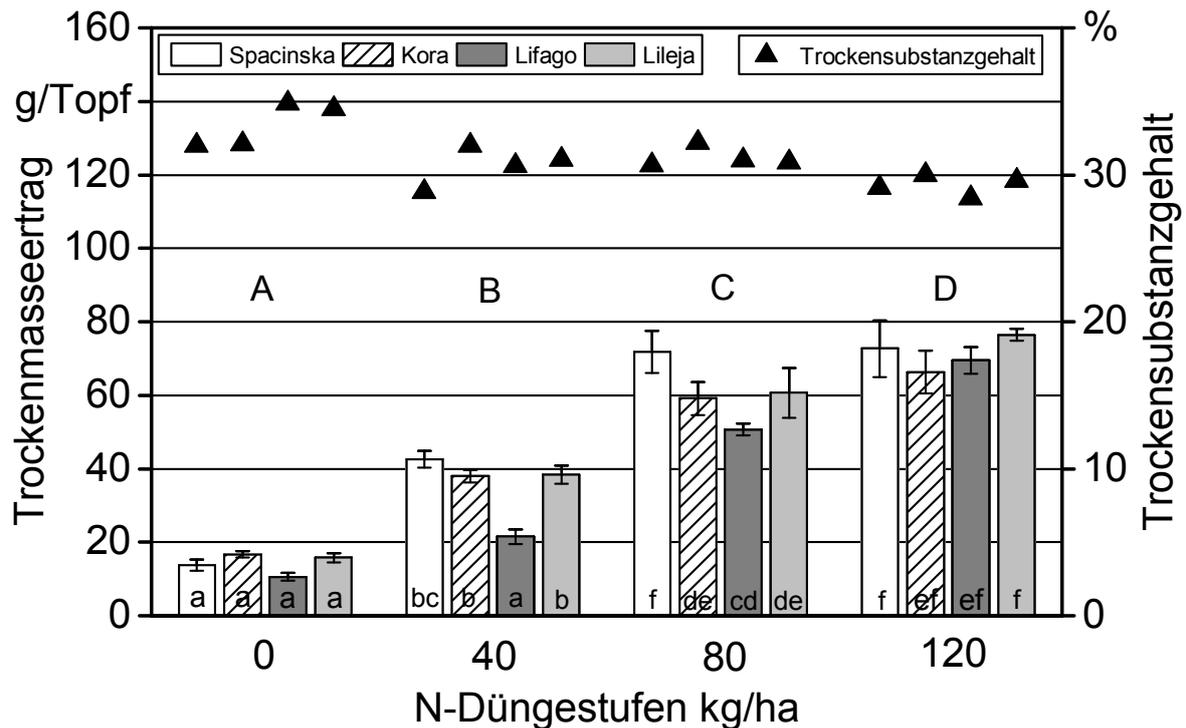


Abbildung 38: Trockenmasseertrag und Trockensubstanzgehalt der Buchweizensorten Spacinska, Kora, Lifago und Lileja getrennt nach Stickstoffdüngestufe; Fehlerbalken = Standardfehler, Säulen und Düngestufen mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant voneinander ($p < 0,05$, t-Test)

Der Einfluss der N-Gabe auf die Abreife wird durch die TS-Gehalte der Sorten zu den jeweiligen Düngestufen angezeigt. Hierbei ist ein klarer Trend zu leicht sinkenden TS-Gehalten bei besserer Versorgung mit Stickstoff erkennbar. Dabei reagieren alle Sorten gleich. Die TS-Gehalte der Kontrollvariante mit 0 kg N/ha sind gegenüber allen Stickstoffgaben signifikant höher. Die Abreife wird durch moderate N-Düngung also leicht verzögert, jedoch erreichen selbst die Sorten mit der höchsten N-Stufe 28 % TS. Somit kann angenommen werden, dass bei einer Steigerung der Stickstoffdüngung die Ertragsleistung erhöht werden kann, ohne die Silierfähigkeit der Bestände zu gefährden.

Quinoa

Der signifikante Einfluss der Stickstoffdüngung bei Quinoa ist analog zu Buchweizen deutlich erkennbar (Abbildung 39). Jede Steigerung der Düngemenge wirkt sich auf die Ertragsleistung signifikant steigernd aus. Die Stickstoffstufe 80 kg N/ha, die auch während der dreijährigen Feldversuche angestrebt wurde, zeigt TM-Erträge von durchschnittlich 65 g/Topf, auf einen Hektar umgerechnet sind dies 65 dt TM/ha. Eine weitere N-Steigerung führt zu TM-Erträgen von 85 g/Topf bei 120 kg N/ha und 100 g/Topf bei Stufe 160 kg N/ha. Bei Übertragung dieser Daten auf das Freiland sind

auch hier mit steigender Stickstoffdüngung höhere Erträge zu erwarten. Nennenswerte Sortenunterschiede treten erst bei einer Menge von 80 kg N/ha und darüber auf. Hier zeigt sich die Sorte Puno am ertragsstärksten, gefolgt von den Sorten Faro und 407.

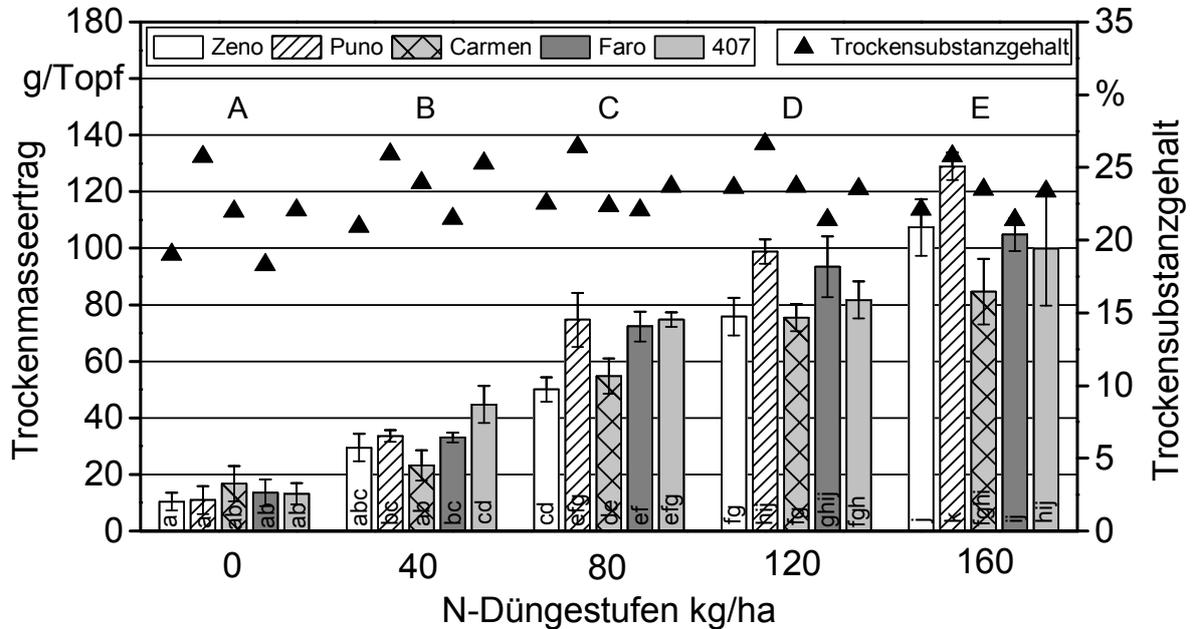


Abbildung 39: Trockenmasseertrag und Trockensubstanzgehalt der Quinoasorten Zeno, Puno, Carmen, Faro und 407 getrennt nach Stickstoffdüngestufe; Fehlerbalken = Standardfehler, Säulen mit unterschiedlichen Buchstaben sowie Düngestufen mit unterschiedlichen Großbuchstaben unterscheiden sich signifikant voneinander ($p < 0,05$, t-Test)

Allerdings ist es wichtig, die Abreife nicht zu verzögern, was zu höheren Wassergehalten führen und die Silierbarkeit verändern würde. Der TS-Gehalt von Quinoa wird signifikant durch die Stickstoffdüngung und die Sorte beeinflusst, wobei die Sorte den stärksten Effekt hat. Aus Tabelle 19 ist ersichtlich, dass innerhalb der Düngungsstufen nur gegenüber der Variante „keine Stickstoffdüngung“ ein signifikanter Effekt besteht. Zwischen den anderen Düngestufen ist kein signifikanter Unterschied vorhanden. Dies spricht deutlich dafür, dass eine gesteigerte Nährstoffversorgung mit Stickstoff die Abreife nicht verzögert und selbst Mengen von 160 kg N/ha zu keiner Abreifeverzögerung einhergehend mit geringeren TS-Gehalten führen. Dies ist gerade bei schnellen Zweitfrüchten, die auf eine schnelle Abreife angewiesen sind, ein großer Vorteil. Allerdings befinden sich die TS-Gehalte im Gewächshausversuch auf einem niedrigeren Niveau als in den Feldversuchen. Weitaus einflussreicher ist die Sorte auf die Abreife. Dabei erzielt die Sorte Puno mit 26 % den höchsten TS-Gehalt und interessanterweise auch den höchsten TM-Ertrag, zeigte also eine sehr wünschenswerte Kombination von Sorteneigenschaften. Scheinbar durchläuft die Sorte unbeeindruckt

von der Nährstoffversorgung im Vergleich zu den anderen Sorten ihre Wachstumsphasen am schnellsten und kann die Nährstoffe effektiv in Biomasse verwerten.

Tabelle 19: Signifikante Unterschiede der einzelnen Sorten und Stickstoff-Düngestufen (N-Düngung) erkennbar an unterschiedlichen Buchstaben

| Faktoren | Faktorstufen | | | | |
|----------------------|--------------|--------|--------|-------|----------|
| Sorte | Zeno a | Puno c | Faro a | 407 b | Carmen b |
| N-Düngung in kg N/ha | 0 a | 40 b | 80 b | 120 b | 160 b |

Die Ertragsleistung ist von der Wuchshöhe stark abhängig ($R^2 = 0,86$), es zeigt sich jedoch kein Zusammenhang zwischen der Wuchshöhe und dem TS-Gehalt ($R^2 = 0,22$). Damit deckt sich die Annahme, dass die Sorten auf eine Stickstoffdüngung mit einer Zunahme der Biomasse reagieren, aber ihre Wachstumsphasen weitgehend unbeeinflusst davon verlaufen.

6 Einordnung in die Praxis

6.1 Anbauhinweise

Im Verlauf der drei Versuchsjahre wurden viele Erfahrungen zum Anbau von Buchweizen und Quinoa gesammelt, die teilweise auf geplante Versuchsfaktoren und teilweise auch auf unerwartete Ereignisse bei der Versuchsdurchführung zurückgehen. Daraus entstanden konkrete Anbauhinweise für Praktiker, die vor dem Projekt unbekannt waren und von denen einige in der folgenden Aufzählung genannt werden:

- Bei Vorfrucht Getreide keine Herbizidanwendung gegen zweikeimblättrige Unkräuter im Frühjahr, wie z. B. Sulfonylharnstoffe, sonst können Buchweizen und Quinoa geschädigt werden,
- bei erwartetem hohem Unkrautdruck vor der Saat ggf. 2 Mal Kreiseln, um Unkräuter zum Auflaufen anzuregen,
- ggf. bietet sich ein weiterer Reihenabstand zum Einsatz der Hacke an, wenn ein hoher Unkrautdruck erwartet wird,
- bei Quinoa die Sortenwahl an die verbleibende Vegetationszeit anpassen, vor allem bei Saat ab Mitte Juli,
- Buchweizen bis spätestens 10. Juli aussäen, später drohen Ertragseinbußen und eine zu geringe Abreife,
- vor Saat nur grubbern, um den Gehalt an Bodenwasser zu schützen und die Verdunstung des Bodens zu minimieren,
- bei der Saat von Quinoa ohne Schardruck den Samen nur auf den Boden fallen lassen und dann mit dem Striegel etwas mit Erde bedecken, danach zum besseren Anschluss an das Bodenwasser möglichst walzen,
- die Stickstoffdüngung nicht zu hoch bemessen (Sollwert ca. 80 kg N/ha), sonst kann die Abreife gefährdet sein und die Pflanzen bleiben zu feucht für eine verlustarme Silierung,
- bei Quinoaanbau innerhalb der Fruchtfolge auf eine ausreichende Versorgung mit Kalium achten,
- beim Anbau von Buchweizen kann eine Zusammenarbeit mit einem Imker die Wertschöpfung des Anbaus steigern, so könnten Imker ihre Bienenvölker bevorzugt am Rand von Buchweizenschlägen aufstellen.

Ausführliche Anbauhinweise zu beiden Kulturen sind unter folgenden Links als Broschüren in der Reihe TFZ-Kompakt sowie auf der Internetseite des „Biogas Forum Bayern“ (<http://www.biogas-forum-bayern.de>) verfügbar:

http://www.tfz.bayern.de/rohstoffpflanzen/17500/tfz_kompakt_3_buchweizen.pdf

http://www.tfz.bayern.de/rohstoffpflanzen/16022/tfz_kompakt_7_quinoa.pdf

6.2 Vorteile von Buchweizen und Quinoa im Überblick

- kurze Vegetationszeit und schnelles Wachstum
- variable Integration in Fruchtfolgen ermöglicht abwechslungsreiche Anbausysteme und damit Auflockerung von Fruchtfolgen
- kaum Pflanzenschutz, geringer Nährstoffbedarf
- gute Vorfruchtwirkung durch Verbesserung der Bodenstruktur und Bodenfruchtbarkeit
- ökologischer Wert: u. a. langandauernde Blütenpracht, farbenfrohe Fruchtstände bzw. Pflanzenbestände zur Abreife
- Blütenangebot von Buchweizen zieht vielfältige Blütenbesucher an und macht ihn als Nektar- und Pollenlieferanten sehr attraktiv
- nicht mit gängigen Kulturen (Mais, Getreide, Zuckerrübe, Raps) verwandt, daher als Gesundungsfrucht einsetzbar
- Quinoa ist kälte- und trockentolerant, Buchweizen gedeiht auch auf marginalen Standorten, daher können beide Kulturen auch unter nicht optimalen Bedingungen angebaut werden
- Buchweizen wirkt durch seine schnelle Jugendentwicklung, üppige Blattmasse und alleopathischen Effekte unkrautunterdrückend
- generell positive Effekte von Zwischenfrüchten: Minderung von Bodenerosion, Schutz vor Nährstoffauswaschung, Humusaufbau durch Wurzelbiomasse
- Bei entsprechend hohen Gehalten an Spurenelementen (v. a. Cobalt und Nickel) im Boden werden diese von beiden Kulturen aufgenommen und sichern damit die Stabilität des Biogasprozesses, da die Mikroorganismen im Fermenter diese Spurenelemente essenziell benötigen und Mais sie nur in sehr geringen Mengen liefert.
- Neue Kulturen wie Buchweizen und Quinoa tragen Anteil an einer Diversifizierung des ackerbaulichen Landschaftsbildes, was zu einer besseren Akzeptanz von Energiepflanzen innerhalb der Bevölkerung führen kann (Vielfalt statt Vermaisung).

Zusammenfassung

Der Anbau eines breiten Spektrums an Pflanzenarten ermöglicht einen vielfältigen Energiepflanzenbau in alternativen Anbausystemen und steigert zusätzlich die Biodiversität in der Agrarlandschaft. Buchweizen und Quinoa als Kulturarten mit einer kurzen Vegetationszeit können als Bereicherung flexibel in solche Fruchtfolgen integriert werden.

Ziel des hier vorgestellten Projekts ist es, Buchweizen und Quinoa als späte Zweitfrüchte auf ihre Nutzung als Biogassubstrat zu testen.

Dazu wurde am TFZ in Straubing ein dreijähriges Projekt (Laufzeit: 01.04.2011 bis 31.03.2014) durchgeführt. An zwei Standorten wurden zu je zwei Saatterminen acht Buchweizen- und neun Quinoasorten getestet. Die Parameter Trockenmasseertrag, Trockensubstanzgehalt, Substratqualität, Methanausbeute, Methanhektarertrag, Wassernutzungseffizienz, Spurenelementgehalt sowie der Einfluss einer gestaffelten Stickstoffdüngung auf Ertragsleistung und Abreife wurden untersucht.

Beide Kulturen erreichen im Mittel über alle Standorte und Saattermine innerhalb einer Vegetationszeit von ca. 100 Tagen einen TM-Ertrag von 46 dt/ha. Dabei hatte der Standort nur einen geringen Einfluss. Der Saattermin hingegen hat bei Buchweizen einen großen Einfluss auf die Ertragsleistung (mittlerer TM-Ertrag Saattermin 1: 53 dt/ha, Saattermin 2: 39 dt/ha), wobei vor allem ein Anbau ab Mitte Juli zu einer Ertragsminderung führt. Die Ertragsleistung der Quinoasorten hingegen wird nur gering vom Saattermin beeinflusst (mittlerer TM-Ertrag Saattermin 1: 48 dt/ha, Saattermin 2: 45 dt/ha). Sortenunterschiede können innerhalb des Buchweizenspektrums nur in geringem Maße festgestellt werden. Dagegen zeigen die Quinoasorten eine größere Spanne im TM-Ertrag. Die zum Vergleich angebauten Referenzkulturen Einjähriges Weidelgras und Sommerroggen können im Ertragspotenzial nicht mithalten.

Silierfähige Bestände mit TS-Gehalten über 28 % können für Buchweizen in Abhängigkeit vom Jahr und Saattermin bedingt erzielt werden, wobei generell die TS-Werte leicht unterhalb von 28 % liegen. Dagegen erreicht der Großteil der Quinoasorten sicher TS-Gehalte über 28 %, teilweise auch über 35 %. Innerhalb des getesteten Quinoasortiments deutet sich eine Einteilung der Sorten in frühreif, mittelreif und spätreif an, welche für die Sortenwahl je nach Fruchtfolgestellung bzw. Saattermin genutzt werden kann.

Bei der Analyse der Substratqualität zeigt sich ein höherer Anteil wertgebender und gut vergärbare Inhaltsstoffe (NfE, Rohfett sowie ELOS) bei Quinoa im Vergleich zu Buchweizen. Dies wirkt sich auch auf die durchschnittliche Methanausbeute aus (für Quinoa im Mittel bei 311 NI/kg oTM, für Buchweizen im Mittel bei 268 NI/kg oTM). Sortenunterschiede in der Methanausbeute sind erkennbar. Der Methanhektarertrag beider Kulturen liegt auf einem ähnlichen Niveau (Buchweizen 1302 Nm³/ha, Quinoa 1275 Nm³/ha), dabei gleicht Buchweizen die geringe Methanausbeute durch einen etwas höheren TM-Ertrag aus.

Generell scheint Quinoa gegenüber Buchweizen eine höhere Toleranz gegenüber Trockenstress zu besitzen und damit Zeiten von Wassermangel besser zu überstehen. Die

¹³C-Isotopenanalyse zeigt für Quinoa – mit Ausnahme des Jahres 2013 – höhere Werte, die für eine bessere Wassernutzungseffizienz sprechen. Innerhalb des Buchweizensortiments zeigt sich ein stärkerer Sorteneffekt. Somit kann bei Buchweizen eine Wahl von trocken toleranteren Sorten sinnvoll sein, bei Quinoa hingegen hat die Sortenwahl eher geringen Einfluss unter Wassermangel.

Die Stickstoffdüngung im Gewächshaus steigert bei beiden Arten die Ertragsleistung, die Abreife der Kulturen wird dabei nur marginal beeinflusst. Demnach wird vermutet, dass die Anhebung der Stickstoffversorgung auch im Freiland den TM-Ertrag steigert, ohne die Silierreife mit der Zielgröße von 28 % TS zu gefährden.

Die Bakterien im Biogasfermenter sind auf eine gute Versorgung mit Spurenelementen, v. a. Cobalt und Nickel, angewiesen. Mais liefert hiervon nur geringe Mengen, weshalb maisbasierte Biogasanlagen Spurenelemente als Zusatzstoffe ergänzen müssen. Diese Zusatzstoffe sind teuer, ungenau zu dosieren und eine potenzielle Gesundheitsgefährdung für den Anlagenbetreiber. Pflanzenmaterial mit einem hohen Gehalt an Cobalt und Nickel könnte den Gehalt dieser essenziellen Spurenelemente im Fermenter auf natürlichem Weg steigern. Für den Standort Straubing liegen die Gehalte beider Elemente bei Quinoa sehr hoch, es werden sogar die Gehalte von Amaranth, der bekannt ist für seine Cobalt-Anreicherung, übertroffen. Der Cobaltgehalt von Buchweizen liegt etwas unter dem von Quinoa, aber immer noch deutlich über dem von Mais. Für Nickel werden ähnliche Gehalte dokumentiert. Der Standort ist für die Spurenelementgehalte der Pflanzen entscheidend: Je nach Elementgehalt im Boden kann die Aufnahme in die Pflanzen erfolgen, d. h. je höher der Gehalt im Boden, desto höher auch der Gehalt in der Pflanze.

Die Ergebnisse des Vorhabens zeigen, dass der Anbau von Buchweizen und Quinoa als Biogassubstrat erfolgversprechend ist. Der große Vorteil von Buchweizen und Quinoa als Energiepflanzen liegt in ihrem weiten Saatfenster von Mai bis Juli. Dadurch können Fruchtfolgen variabel gestaltet und sogar sehr flexibel auf Witterungsbedingungen und Ernteverschiebungen der Vorfrüchte reagiert werden. Außerdem bieten beide Kulturen viele Vorteile klassischer Zwischenfrüchte, wie Bodenverbesserung, Erosionsschutz und Humusaufbau. Sie haben im Vergleich zu den üblichen Energie- und Marktfrüchten einen ökologischen Mehrwert durch das lange Blütenangebot. Ein stärkerer Anbau von Buchweizen und Quinoa kann die Akzeptanz des Energiepflanzenbaus verbessern, ohne für den Landwirt hohe wirtschaftliche Einbußen zu bedeuten.

Abstract

Growing more diverse species for bioenergy production offers the benefit of sustainable cropping systems. Undesirable effects of narrow crop rotations are lowered, the acceptance of energy crop rotations is improved, biodiversity and ecological benefits are increased and field productivity could be raised. Especially species with a short vegetation time as buckwheat and quinoa can help to create variable crop rotations. The aim of the project was to investigate the ability of buckwheat and quinoa as late second crops for biogas production following cereals as main crops. In a field trial with three years duration, biomass yield potential, dry matter content, substrate quality, level of micronutrients, biogas production potential and water use efficiency of different buckwheat and quinoa varieties, including two sowing times and two locations, were investigated. Accompanied greenhouse trials were carried out to investigate the impact of drought stress and increased nitrogen fertilization on maturity process and yield performance.

In a growing time of about 90 to 100 days both species reached a mean dry matter yield (DM) of 46 dt/ha (Max: 75 dt/ha). The sowing time had a significant impact on DM-yield and DM-content for buckwheat. Cultivation towards the end of July led to a lower yield potential. Cultivars had a minor effect. The sowing date of quinoa had only a small effect on both DM-yield and DM-content but there was a high effect of cultivar. The majority of quinoa cultivars exceeded the DM-content of 28 % during a short vegetation time indicating early maturity. Three cultivars sown as late as end of July reached a DM-content of 28 %. Both reference crops (annual ryegrass and summer rye) could not compete regarding DM-yield. The wide range of possible sowing dates (May to July) provides the benefit of variable reaction within crop rotations concerning weather conditions and previous crops. Cultivation after winter cereals used as biogas substrate is possible as well as after catch crops like rye and brewing barley. In combination with whole plant cereals in a crop rotation, DM-yields of 170 dt/ha are expectable. The substrate quality showed a higher content of well digestible nutrients like NfE and crude fat of quinoa cultivars. Buckwheat cultivars obtained a higher level of crude fiber and ADL, with a lower digestible potential leading to lower methane production for buckwheat of 268 NI/kg oTM (Quinoa: 311 NI/kg oTM). Methane yield per hectare was almost equal for both species at 1300 m³/ha. Quinoa cultivars possess a better water use efficiency during summer cultivation than buckwheat. The micronutrients cobalt and nickel are essential for biogas production. Both element contents were significantly higher for buckwheat and quinoa compared to maize. Increased nitrogen fertilization raised the DM-yield of all tested cultivars of both species, but maturity was not delayed significantly.

Overall results indicate that cultivation of buckwheat and quinoa as biogas substrate is promising. Besides biomass production, both species offer the benefits of a typical catch crop including soil improvement, erosion protection and humus increase. Quinoa and buckwheat have an ecological surplus by long flowering period and colorful appearance compared to common energy- and cash crops. A higher cultivation rate of both buckwheat and quinoa can lead to improved acceptance of energy crops without resulting in high economic losses for farmers.

Quellenverzeichnis

- [1] AMON, T.; KRYVORUCHKO, V.; HOPFNER-SIXT, K.; AMON, B.; BODIROZA, V.; RAMUSCH, M.; HRBEK, R.; FRIEDEL, J. K.; ZOLLITSCH, W.; BOXBERGER, J. (2006): Rohstoffpflanzen für Biogasanlagen, Rohstoffaufbringung und Energieeffizienz. In: ÖKOSOZIALES FORUM E. V. (Hrsg.): Wintertagung 2006 des Ökosozialen Forums Österreich: „Herausforderung Globalisierung – Strategien und Antworten“, 13. bis 17. Februar 2006 in Hollabrunn, s. p.
- [2] AUFHAMMER, W.; KÜBLER, E. (1991): Zur Anbauwürdigkeit von Buchweizen (*Fagopyrum esculentum*). Die Bodenkultur, Jg. 42, Nr. 1, S. 31–43
- [3] AUFHAMMER, W.; KÜBLER, E. (1998): Vergleichende Untersuchungen zur Anbauwürdigkeit der Getreidearten Rispenhirse (*Panicum miliaceum*) und Kanariensaart (*Phalaris canariensis*) sowie der Pseudogetreidearten Buchweizen (*Fagopyrum esculentum*), Reismelde (*Chenopodium quinoa*) und Amarant (*Amaranthus sp.*). Die Bodenkultur, Jg. 49, Nr. 3, S. 159–169
- [4] AUFHAMMER, W. (2000): Pseudogetreidearten – Buchweizen, Reismelde und Amarant. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer, 262 Seiten, ISBN 3-8001-3189-7
- [5] BERGHÖFER, Y.; AGHA-AMIRI, K.; KLEIN, A. (1994): Selenium is involved in the negative regulation of the expression of selenium-free [NiFe] hydrogenases in *Methanococcus voltae*. Molecular Genetics and Genomics, Jg. 242, S. 369–373
- [6] BUNDESSORTENAMT (2000): Richtlinien für die Durchführung von landwirtschaftlichen Wertprüfungen und Sortenversuchen. Landbuch-Verlagsgesellschaft mbH, Hannover, s. p., ISSN 1431-1089
- [7] CAMPBELL, C. G. (1997): Buckwheat. *Fagopyrum esculentum* Moench. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. 19. Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research. Gatersleben/International Plant Genetic Resources Institute. Rome. Italy, 94 Seiten, ISBN 92-9043-345-0
- [8] DARWINKEL, A.; STOLEN, O. (1997): Understanding the Quinoa Crop – Guidelines for growing in temperate regions of N. W. Europe, Brochure, confunded by the Europ. Com. 23 Seiten
- [9] DEMIREL, B.; SCHERER, P. (2011): Trace element requirements of agricultural biogas digesters during biological conversion of renewable biomass to methane. Biomass and Bioenergy, Jg. 35, Nr. 3, S. 992–998
- [10] EISENMANN, H.; FISCHER, A. (2010): Isotopenuntersuchungen in der Altlastenbewertung. In: FRANZIUS, V.; ALTENBOCKUM, M.; GERHOLD, T. (Hrsg.): Handbuch der Altlastensanierung und Flächenmanagement. 60. Aufl., München: Verlagsgruppe Hüthig Jehle Rehm, 47 Seiten, ISBN 978-3-8114-9700-9
- [11] FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE E. V. (2013): Leitfaden Biogas. Von der Gewinnung zur Nutzung. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR). URL: http://mediathek.fnr.de/media/downloadable/files/samples//e/leitfadenbiogas2013_web_komp.pdf (Stand: 12.12.2013)
- [12] FARQUHAR, G. D.; RICHARDS, R. A. (1984). Isotopic composition of plant carbon correlates with water-use efficiency of wheat genotypes. Australian Journal of Plant Plant Physiology, Jg. 11, S. 539–552

- [13] FARQUHAR, G. D.; EHLINGER, J. R.; HUBICK, K. T. (1989). Carbon isotope discrimination and photosynthesis. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, Jg. 40, S. 503–537
- [14] FATHEPURE, BABU Z. (1987): Factors Affecting the Methanogenic Activity of *Methanotheroxiphilum thermophilum* VNBf. *Applied and Environmental Microbiology*, Jg. 53, Nr. 12, S. 2978–2982
- [15] FEHER, A.; FRITZ, T.; LOEWEN, A.; NELLES, M. (2013): Bedarfsgerechter Einsatz von Spurenelement-Biogasadditiven unter Berücksichtigung der Bioverfügbarkeit. In: DEUTSCHE BUNDESSTIFTUNG UMWELT (DBU) (Hrsg.): *Biogas Innovationskongress am 23.–24. Mai 2013 in Osnabrück*. Osnabrück: Deutsche Bundestiftung Umwelt (DBU), s. p.
- [16] FREY, B., (2006): *Stable Isotope Ecology*. New York: Springer-Verlag, 308 Seiten, ISBN 978-0387-30513-4
- [17] HEUWINKEL, H.; ASCHMANN, A.; GERLACH, R.; GRONAUER, A. (2009): Die Genauigkeit der Messung des Gasertragspotentials von Substraten mit der Batchmethode. In: BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (LfL) (Hrsg.): *Internationale Wissenschaftstagung Biogas Science 2009*, Schriftenreihe der LfL, Nr. 15–17, S. 95–103
- [18] JANOVSKÁ, D.; STEHNO, Z.; ČEPKOVÁ, P. (2007): Evaluation of common buckwheat genetic resources in Czech gene bank. In: CHAI, Y.; ZHANG, Z. (Hrsg.): *Advances in Buckwheat Research: Proceedings of the 10th International Symposium on Buckwheat*. Yangling. Shaanxi. People's Republic of China. August 14–18 2007. Section B Genetic resources and breeding. Yangling: Northwest A & F University Press, S. 31–40, ISBN 9787810923583
- [19] KALINOVA, J. (2007): Allelopathic effect of buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench). In: CHAI, Y.; ZHANG, Z. (Hrsg.): *Advances in Buckwheat Research: Proceedings of the 10th International Symposium on Buckwheat*. Yangling. Shaanxi. People's Republic of China. August 14–18 2007. Section D Physiology and cultivation. Yangling: Northwest A & F University Press, S. 233–237, ISBN 9787810923583
- [20] KIRCHGEBNER, M.; ROTH, F.-X.; SCHWARZ, F.; STANGL, G. (2011): *Tierernährung*. 13. Aufl. Frankfurt: DLG-Verlag, 643 Seiten, ISBN 3769008030
- [21] KOCH, K.; GEPPERTH, S.; ANDRADE, D.; EBERTSEDER, F.; GRONAUER, A. (2010): Hilfsmitelesinsatz bei der Biogaserzeugung – Überblick und Erfahrungen aus Labor und Praxis. In: FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE E. V. (FNR)(Hrsg.): *Gülzower Fachgespräche Band 35: Einsatz von Hilfsmitteln zur Steigerung der Effizienz und Stabilität des Biogasprozesses*. Gülzow: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), S. 16–31
- [22] KÖRBER-GROHNE, U. (1995): *Nutzpflanzen in Deutschland von der Vorgeschichte bis heute*. Hamburg: Nikol Verlagsgesellschaft, 490 Seiten, ISBN 3-933203-40-6
- [23] KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAUWESEN IN DER LANDWIRTSCHAFT E. V. (KTBL). (2006): *Energiepflanzen*. 1. Aufl. Darmstadt: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. und Leibnitz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e. V., 372 Seiten, ISBN 978-3-939-371-21-2
- [24] KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAUWESEN IN DER LANDWIRTSCHAFT E. V. (KTBL)

- (2009): Faustzahlen für die Landwirtschaft. 14. Aufl. Darmstadt: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V., 1180 Seiten, ISBN 978-3-939371-91-5
- [25] KULIKOV, N. I.; NAUMKIN, V. P. (2004): Plant-insect relation in buckwheat agroecosystem. In: FABEROVÁ, I. ET AL. (Hrsg.): Advances in Buckwheat Research: Proceedings of the 9th International Symposium on Buckwheat. Prague. Czech Republic. August 18–22 2004. Section IV Cultivation and plant nutrition. Prague: Research Institute of Crop Production. S. 505–508, ISBN 978808655461
- [26] KÜBLER, E.; KAUL, H.-P.; AUFHAMMER, W. (2002): Vergleichende Untersuchungen zur Bestandsetablierung und zur Trockenmasseproduktion der Pseudogetreidearten Buchweizen (*Fagopyrum esculentum*), Reismelde (*Chenopodium quinoa*) und Amarant (*Amaranthus sp.*) und der Getreidearten Rispenhirse (*Panicum miliaceum*) und Zwerghirse (*Eragrostis tef*) auf einem Grenzstandort. Die Bodenkultur, Jg. 53, Nr. 1, S. 29–38
- [27] LAKHANOV, A. (1995): Some peculiarities of water use by buckwheat varieties under conditions of different level of water supply of plants in Central Russia. In: MATANO, T.; UJIHARA, A. (Hrsg.): Current advances in buckwheat research: Proceedings of the 6th International Symposium on buckwheat. Shinshu. August 24–29 1995. Shinshu: Shinshu University Press. S. 631–636, ISBN 9784915860034
- [28] LEMMER, A.; VINTILOIU, A.; PREIBLER, D.; BASTAM, C.; BÄUERLE, L.; OECHSNER, H. (2010): Untersuchungen zum Einsatz von Mineralstoffen in Biogasanlagen – Bedeutung der Mineralstoffe für die anaeroben Mikroorganismen und Ursachen für Konzentrationsunterschiede in Biogasfermentern. In: FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE E. V. (FNR)(Hrsg.): Gülzower Fachgespräche Band 35: Einsatz von Hilfsmitteln zur Steigerung der Effizienz und Stabilität des Biogasprozesses. Gülzow: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), S. 45–77
- [29] LICHTENHAHN, M.; DIERAUER, H. (2000): Merkblatt Buchweizen. Forschungsinstitut für biologischen Landbau. Frick. 3 Seiten
- [30] MADIGAN, M.; MARTINKO, J.; PARKER, J. (2006): Brock Mikrobiologie. 11. Aufl. Heidelberg, Berlin: Spektrum Akademischer Verlag GmbH, 1248 Seiten, ISBN 3827373581
- [31] PODOLSKA, G.; KONOPKA, I.; DZIUBA, J. (2007): Response of grain yield, yield components and allergenic protein content of buckwheat to drought stress. In: CHAI, Y.; ZHANG, Z. (Hrsg.): Advances in Buckwheat Research: Proceedings of the 10th International Symposium on Buckwheat. Yangling. Shaanxi. People's Republic of China. August 14–18 2007. Section D Physiology and cultivation. Yangling: Northwest A & F University Press, S. 323–328, ISBN 9787810923583
- [32] PROBEHEIM, H.; MUNK, B.; LINDORFER, H.; GUEBITZ, G. (2011): Impact of nickel and cobalt on biogas production and process stability during semi-continuous anaerobic fermentation of a model substrate for maize silage. Water Research, Jg. 45, Nr. 2, S. 781–787
- [33] SAUER, B. (2009): Elementgehalte und Stoffströme bei der Strom- und Wärmegegewinnung im Bioenergie-dorf Jühnde. Fortschritt neu denken, Nr. 2. Göttingen. 124 Seiten
- [34] SAUER, B. (2011): Spurenelemente bei anderen Energiepflanzen wie z. B. Durchwachsende Silphie. In: ENERGIEAGENTUR GÖTTINGEN (Hrsg.): Fachtagung „Spuren-

- elemente in Biogasanlagen – Wirkungsweise, Versorgungswege, Handlungsempfehlungen“, 17.05.2011 in Göttingen. Präsentation und Zusammenfassung unter <http://www.energieagentur-goettingen.de/energieagentur/veranstaltungen-fortbildungen/spurenelemente-in-biogasanlagen/tagungsmaterialien> (Zugriff am 29.09.2012)
- [35] SAUER, B.; RUPPERT, H. (2013): Bioenergy Production as an Option for Polluted Soils – A Non-phytoremediation Approach. In: RUPPERT, H., KAPPAS, M., IBENDORF, J. (Hrsg.): Sustainable Bioenergy Production – An Integrated Approach, Dordrecht: Springer-Verlag, S. 425–444
- [36] STICKSEL, E.; SALZEDER, G.; EDER, J.; AIGNER, A.; FRITZ, M.; DEIGLMAYR, K. (2010): Zweikulturnutzungssystem (ZKNS) im Vergleich zu herkömmlichen Anbauverfahren. Biogas Forum Bayern Nr. 1, 10. URL: <http://www.biogas-forum-bayern.de/publikationen/ZKNS.im.Vergleich.zu.herkoemmlichen.Anbauverfahren.pdf> (Zugriff: 25.02.2014)
- [37] STOLZENBURG, K. (2008): Anbau. Qualität und Markt neuer Nahrungspflanzen. Land-Info, Jg. 2, S. 50–58, ISSN 0947-9392
- [38] WEIßBACH, F. (2008): Zur Bewertung des Gasbildungspotentials von nachwachsenden Rohstoffen. Landtechnik, Jg. 63, Nr. 6, S. 356–358
- [39] WIGGINS, B. E.; KINKEL, L. L. (2005): Green manures and crop sequences influence potatoe diseases and pathogen inhibitory activity of indigenous Streptomyces. Phytopathology, Jg. 95, Nr. 2, S. 178–185
- [40] ZEISE, K.; FRITZ, M. (2012): Sorghum als Energiepflanze-Optimierung der Produktionstechnik. Berichte aus dem TFZ, Nr. 29, Straubing: Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe, 118 Seiten, ISSN 1614-1008
- [41] ZELLER, F. J. (2001): Buchweizen (*Fagopyrum esculentum* Moench): Nutzung. Genetik. Züchtung. Die Bodenkultur, Jg. 52, Nr. 3, S. 259–276

Anhang

Tabelle 20: *Entwicklungsstadien der Reismelde, modifiziert nach [8]*

| Abschnitt | Allgemeine Definition (Makrostadium) | Dezimal-Code | Spezielle Definition (Mikrostadium) |
|-----------|---|--------------|--|
| 0 | Keimung | 01 | Keimungsbeginn |
| | | 09 | Ende der Keimung |
| 1 | Auflaufen | 11 | Auflauf beginnt |
| | | 13 | 25 % der Pflanzen aufgelaufen |
| | | 15 | 50 % der Pflanzen aufgelaufen |
| | | 17 | 75 % der Pflanzen aufgelaufen |
| | | 19 | Auflaufen nahezu beendet |
| 2 | Vegetative Entwicklung | 20 | Erste Laubblätter sichtbar |
| | | 21 | Erstes Laubblattpaar entfaltet |
| | | 23 | Drittes Laubblattpaar entfaltet |
| | | 25 | Fünftes Laubblattpaar entfaltet |
| | | 27 | Siebtens Laubblattpaar entfaltet |
| | | 29 | Neuntes Laubblattpaar entfaltet |
| 3 | Generative Entwicklung | 30 | Erste Blütenknospen erkennbar |
| | | 31 | Blütenknospen sichtbar |
| | | 33 | Blütenknospen 0,5 cm lang |
| | | 35 | Blütenknospen 1,0 cm lang |
| | | 37 | Blütenknospen beginnen Pyramide zu bilden |
| | | 39 | Blütenknospen bilden eine deutliche Pyramide |
| 4 | Blühbeginn | 41 | Die ersten Glomeruli zeigen Antheren |
| | | 43 | 25 % der Glomeruli zeigen Antheren |
| | | 45 | 50 % der Glomeruli zeigen Antheren |
| | | 47 | 75 % der Glomeruli zeigen Antheren |
| | | 49 | Hauptblüte |
| 5 | Abblühen | 51 | Die ersten Glomeruli zeigen verwelkte Antheren |
| | | 53 | 25 % der Glomeruli zeigen verwelkte Antheren |
| | | 55 | 50 % der Glomeruli zeigen verwelkte Antheren |
| | | 57 | 75 % der Glomeruli zeigen verwelkte Antheren |
| | | 59 | Nahezu alle Antheren verwelkt |
| 6 | Kornausbildung Rispenfärbung | 60 | Samen wasserreif |
| | | 61 | Samen milchreif |
| | | 65 | Samen teigreif |
| | | 69 | Samen physiologisch reif |
| 7 | Rispenabreife | 71 | Beginnende Rispenverfärbung |
| | | 73 | Rispe zu 25 % verfärbt |
| | | 75 | Rispe zu 50 % verfärbt |
| | | 77 | Rispe zu 75 % verfärbt |
| | | 79 | Rispe nahezu verwelkt |
| 8 | Blattseneszenz, -welke | 81 | Beginnende Blattseneszenz |
| | | 83 | 25 % der Blätter vergilbt/verwelkt |
| | | 85 | 50 % der Blätter vergilbt/verwelkt |
| | | 87 | 75 % der Blätter vergilbt/verwelkt |
| | | 89 | Nahezu alle Blätter vergilbt/verwelkt |
| 9 | Stängelabreife | 91 | Beginnende Stängelvergilbung |
| | | 93 | 25 % des Stängel vergilbt/verblasst |
| | | 95 | 50 % des Stängel vergilbt/verblasst |
| | | 97 | 75 % des Stängel vergilbt/verblasst |
| | | 99 | Stängel nahezu komplett verblasst |

Tabelle 21: Entwicklungsstadien von Buchweizen, modifiziert nach [4]

| Code | Makrostadium | Code | Mikrostadium |
|----------|--------------------------|------|---|
| 0 | Keimung | 00 | Trockener Samen |
| | | 09 | Aufgang |
| 1 | Blattentwicklung | 10 | Keimblätter entfaltet |
| | | 19 | 9 oder mehr Laubblätter entwickelt |
| 2 | Verzweigung | 20 | Beginnende Bildung von Seitenzweigen 1. Ordnung |
| | | 29 | Mehrere Seitenzweige höherer Ordnung gebildet |
| 3 | Längenwachstum | 30 | Beginnendes Streckenwachstum des Haupttriebes |
| | | 39 | Längenwachstum beendet |
| 5 | Knospenbildung | 50 | Erste Blütenknospen sichtbar |
| | | 59 | Erste Blütenblätter sichtbar, Blüten noch geschlossen |
| 6 | Blüte | 60 | Vereinzelt erste Blüten offen |
| | | 69 | Blüte weitgehend beendet |
| 7 | Fruchtentwicklung | 71 | 10 % der Früchte erreichen sortenspezifische Größe |
| | | 79 | Mehrzahl der Früchte erreicht sortenspezifische Größe |
| 8 | Reife | 78 | Beginn der Fruchtausfärbung |
| | | 89 | Vollreife, beginnender Abfall von Früchten |
| 9 | Absterben | 91 | Beginnender Blattfall |
| | | 99 | Mutterpflanze vollständig abgestorben |

Einzelergebnisse getrennt nach Jahren

Trockenmasseertrag und Trockensubstanzgehalt

Tabelle 22: *Varianzanalyse der Versuchsfaktoren inkl. Wechselwirkungen getrennt nach Trockenmasseertrag und Trockensubstanzgehalt für den Standort Straubing und das Jahr 2011*

| Effekt | Trockenmasseertrag | | Trockensubstanzgehalt | |
|----------------|--------------------|-----|-----------------------|-------|
| | F-Wert | p | F-Wert | p |
| Saattermin (T) | 51,543 | *** | 0,18 | n. s. |
| Art | 65,95 | *** | 22,61 | *** |
| Art*Sorte | 11,15 | *** | 117,97 | *** |
| T*Art | 7,90 | ** | 3,05 | n. s. |
| T*Art*Sorte | 6,43 | *** | 9,59 | *** |

Signifikanzniveau: *** < 0,001, ** < 0,01, * < 0,05

Tabelle 23: *Trockenmasseerträge und Trockensubstanzgehalte 2011 der Buchweizen- und Quinoasorten sowie der Referenzen Einjähriges Weidelgras und Sommerroggen am Standort Straubing getrennt nach Saattermin, unterschiedliche Buchstaben innerhalb der Art und innerhalb der Ertragsparameter stehen für signifikante Unterschiede ($p < 0,05$, t-Test)*

| | Standort Straubing | | | |
|-------------------|-----------------------|-------------------|-----------------------|-------------------|
| | Aussaat 15.06. | Ernte 23.09. | Aussaat 12.07. | Ernte 21.10. |
| | TM-Ertrag in dt/ha | TS-Gehalt in % | TM-Ertrag in dt/ha | TS-Gehalt in % |
| Buchweizen | | | | |
| Lifago | 49,1 d | 23,0 a | 36,9 c | 25,8 c |
| Spacinska | 56,4 e | 23,6 a | 34,2 bc | 25,8 c |
| Zita | 65,1 fg | 23,5 a | 35,1 c | 25,7 bc |
| Panda | 65,8 g | 25,3 bc | 33,7 bc | 27,2 c |
| Kora | 66,3 g | 25,7 c | 32,9 bc | 27,8 c |
| Tussi | 68,0 g | 23,6 a | 32,0 bc | 26,0 c |
| Lileja | 67,0 g | 24,5 abc | 34,9 c | 26,9 c |
| Jana | 59,8 ef | 23,8 ab | 28,8 b | 25,5 bc |
| Quinoa | | | | |
| Zeno | 38,1 defg | 37,7 ijk | 29,5 bc | 43,6 l |
| Puno | 43,9 g | 40,4 ijkl | 38,0 defg | 43,9 l |
| Titicaca | 36,0 defg | 38,5 ijkl | 25,9 b | 42,4 kl |
| Atlas | 43,5 fg | 23,8 ab | 34,9 defg | 26,5 de |
| Carmen | 41,9 efg | 31,3 gh | 30,7 bcd | 36,3 hij |
| Pasto | 51,5 h | 23,6 ab | 38,8 defg | 26,5 de |
| Faro | 63,0 i | 26,3 cd | 34,2 cde | 22,0 a |
| 407 | 54,0 h | 27,5 def | 34,7 def | 24,4 bc |
| Tango | 39,1 defg | 28,1 e | 28,8 bc | 30,2 fg |
| Referenzen | | | | |
| Hannah | 30,6 bc | 40,7 jkl | 17,0 a | 34,7 ghi |
| Ovid | 15,0 a | 41,5 jkl | 11,2 a | 35,9 hij |

Tabelle 24: *Trockenmasseerträge und Trockensubstanzgehalte 2011 der Buchweizensorten sowie der Referenzen Weidelgras und Sommerroggen am Standort Aholfing getrennt nach Saattermin, unterschiedliche Buchstaben stehen für signifikante Unterschiede ($p < 0,05$, t-Test)*

| | Standort Aholfing | | | |
|------------------------|---|-------------------|------------------------------|-------------------|
| | Aussaat 15.06.; ohne Ernte | | Aussaat 12.07.; Ernte 21.10. | |
| | TM-Ertrag in dt/ha | TS-Gehalt in % | TM-Ertrag in dt/ha | TS-Gehalt in % |
| Buchweizen | | | | |
| Lifago | | | 45,6 | 28,6 |
| Spacinska | | | 41,3 | 27,7 |
| Zita | Ausfall wegen | | 42,8 | 28,1 |
| Panda | Krankheitsbefalls und | | 40,8 | 30,1 |
| Kora | hohen Unkrautdrucks | | 44,1 | 29,8 |
| Tussi | | | 42,0 | 28,7 |
| Lileja | | | 44,0 | 28,2 |
| Jana | | | 41,9 | 28,6 |
| Quinoa & Referenzen | Ausfall wegen Krankheitsbefalls und hohen Unkrautdrucks | | | |

Tabelle 25: *Varianzanalyse der Versuchsfaktoren inkl. Wechselwirkungen getrennt nach Trockenmasseertrag und Trockensubstanzgehalt für 2012 ($p < 0,05$, t-Test)*

| Effekt | Trockenmasseertrag | | Trockensubstanzgehalt | |
|----------------|--------------------|-----|-----------------------|-----|
| | F-Wert | p | F-Wert | p |
| Standort (O) | 76,68 | *** | 10,97 | * |
| Saattermin (T) | 14,01 | ** | 141,80 | *** |
| Art | 103,54 | *** | 147,17 | *** |
| Art*Sorte | 28,50 | *** | 122,60 | *** |
| O*T | 9,76 | * | 50,08 | *** |
| O*Art | 12,60 | *** | 14,22 | *** |
| T*Art | 14,95 | *** | 17,48 | *** |
| O*T*Art | 28,48 | *** | 5,63 | ** |
| O*T*Art*Sorte | 2,58 | *** | 5,97 | *** |

Signifikanzniveau: *** < 0,001, ** < 0,01, * < 0,05

Tabelle 26: *Trockenmasseerträge und Trockensubstanzgehalte der Buchweizensorten im Jahr 2012 sowie der Referenzen Weidelgras und Sommerroggen getrennt nach Standort und Saattermin, unterschiedliche Buchstaben innerhalb des Standortes stehen für signifikante Unterschiede ($p < 0,05$, t-Test)*

| Standort Aholting | | | | |
|--------------------|--------------------------|--------------|-------------------|--------------|
| Sorte | TM-Ertrag in dt TM/ha | | TS-Gehalt in % | |
| | Saattermin 1 | Saattermin 2 | Saattermin 1 | Saattermin 2 |
| Lifago | 42,9 bc | 47,8 cd | 25,6 ef | 22,8 abc |
| Spacinska | 66,9 k | 57,4 fghi | 25,8 ef | 25,4 def |
| Zita | 64,9 jk | 58,0 ghij | 24,9 cde | 25,3 def |
| Panda | 58,7 hij | 51,6 defg | 26,9 f | 24,6 bcde |
| Kora | 63,2 ijk | 54,4 defgh | 25,9 ef | 26,1 ef |
| Tussi | 74,8 l | 59,3 hij | 22,7 ab | 26,1 ef |
| Lileja | 60,2 hij | 51,1 def | 25,2 cde | 24,1 abcd |
| Jana | 56,1 efgh | 49,4 cde | 26,5 f | 24,3 bcde |
| Weidelgras | | | | |
| Hannah | 38,9 b | 24,4 a | 21,4 a | 24,4 bcde |
| Sommerroggen | | | | |
| Ovid | 37,8 b | —* | 35,4 g | —* |
| Standort Straubing | | | | |
| Lifago | 48,5 d | 37,7 bc | 26,9 gh | 19,9 b |
| Spacinska | 52,0 d | 30,4 b | 25,9 g | 20,9 c |
| Zita | 51,5 d | 30,4 b | 28,5 hi | 22,9 cde |
| Panda | 52,0 d | 30,0 b | 29,8 ij | 24,5 efg |
| Kora | 51,6 d | 30,8 b | 31,7 j | 23,2 def |
| Tussi | 65,1 e | 38,8 c | 29,1 i | 22,5 cde |
| Lileja | 52,5 d | 33,6 bc | 28,4 hi | 25,3 fg |
| Jana | 46,5 d | 33,1 bc | 28,6 hi | 24,3 efg |
| Weidelgras | | | | |
| Hannah | 16,9 a | 29,4 b | 21,3 cd | 13,0 a |
| Sommerroggen | | | | |
| Ovid | 19,5 a | 28,2 bc | 41,5 k | 24,7 efg |

*wegen zu hohen Lagers und Krankheitsdrucks fand keine Beerntung statt

Tabelle 27: Trockenmasseerträge und Trockensubstanzgehalte der Quinoasorten im Jahr 2012 sowie der Referenzen Weidelgras und Sommerroggen getrennt nach Standort und Saattermin, unterschiedliche Buchstaben innerhalb des Standortes stehen für signifikante Unterschiede ($p < 0,05$, t-Test)

| Standort Aholting | | | | |
|--------------------|-----------------------|--------------|-------------------|--------------|
| Sorte | TM-Ertrag in dt/ha | | TS-Gehalt in % | |
| | Saattermin 1 | Saattermin 2 | Saattermin 1 | Saattermin 2 |
| Zeno | 42,7 cde | 33,1 b | 39,2 h | 35,7 g |
| Puno | 54,6 hi | 44,0 defg | 41,9 i | 34,9 g |
| Titicaca | 51,3 gh | 36,3 bc | 42,0 j | 36,7 gh |
| Atlas | 49,6 fgh | 42,8 cdef | 26,4 cd | 25,1 bcd |
| Carmen | 48,2 efgh | 41,8 cde | 31,9 f | 29,1 e |
| Pasto | 58,1 i | 53,6 hi | 24,1 ab | 24,4 bc |
| Faro | 70,6 k | 59,0 ij | 27,6 de | 25,4 bcd |
| 407 | 66,2 jk | 47,4 efgh | 32,0 f | 29,1 e |
| Tango | 53,2 hi | 45,1 defg | 42,5 j | 32,7 f |
| Weidelgras | | | | |
| Hannah | 38,9 bcd | 24,4 a | 21,4 a | 24,4 bc |
| Sommerroggen | | | | |
| Ovid | 37,8 bcd | —* | 35,4 g | —* |
| Standort Straubing | | | | |
| Zeno | 40,5 de | 37,6 cd | 41,6 l | 33,0 j |
| Puno | 44,0 def | 43,7 def | 39,2 k | 32,3 ij |
| Titicaca | 39,0 cde | 38,7 cd | 42,0 | 30,5 hi |
| Atlas | 41,7 def | 46,2 efg | 22,5 bcd | 22,1 bcd |
| Carmen | 40,8 de | 41,5 def | 29,8 ghi | 26,0 ef |
| Pasto | 51,1 gh | 52,5 gh | 22,2 bcd | 21,2 bc |
| Faro | 57,6 hi | 62,1 i | 23,0 cd | 20,2 b |
| 407 | 47,7 fg | 60,4 i | 28,5 fgh | 21,5 bc |
| Tango | 43,5 def | 55,6 hi | 33,8 j | 27,2 efg |
| Weidelgras | | | | |
| Hannah | 16,9 a | 29,4 b | 21,3 bc | 13,0 a |
| Sommerroggen | | | | |
| Ovid | 19,5 a | 28,2 bc | 41,5 kl | 24,7 de |

*wegen zu hohen Lagers und Krankheitsdrucks fand keine Beerntung statt

Tabelle 28: Varianzanalyse der Versuchsfaktoren inkl. Wechselwirkungen getrennt nach Trockenmasseertrag und Trockensubstanzgehalt für 2013

| Effekt | Trockenmasseertrag | | Trockensubstanzgehalt | |
|----------------|--------------------|-------|-----------------------|-----|
| | F-Wert | p | F-Wert | p |
| Standort (O) | 21,80 | *** | 26,51 | ** |
| Saattermin (T) | 18,54 | *** | 14,77 | ** |
| Art | 219,06 | *** | 154,10 | *** |
| Art*Sorte | 23,70 | *** | 58,78 | *** |
| O*T | 0,02 | n. s. | 63,55 | *** |
| O*Art | 0,45 | n. s. | 29,71 | *** |
| T*Art | 52,47 | *** | 11,25 | *** |
| O*T*Art | 12,73 | *** | 28,76 | *** |
| O*T*Art*Sorte | 4,48 | *** | 5,27 | *** |

Signifikanzniveau: *** < 0,001, ** < 0,01, * < 0,05

Tabelle 29: Trockenmasseerträge und Trockensubstanzgehalte der Buchweizensorten im Jahr 2013 sowie der Referenzen Weidelgras und Sommerroggen getrennt nach Standort und Saattermin, unterschiedliche Buchstaben innerhalb des Standortes stehen für signifikante Unterschiede ($p < 0,05$, t-Test)

| Standort Aholfing | | | | |
|--------------------|--------------------------|--------------|-------------------|--------------|
| Sorte | TM-Ertrag in dt TM/ha | | TS-Gehalt in % | |
| | Saattermin 1 | Saattermin 2 | Saattermin 1 | Saattermin 2 |
| Lifago | 41,1 fgh | 33,2 bc | 28,6 ef | 31,5 ef |
| Spacinska | 39,5 defg | 39,2 defg | 27,5 de | 30,9 ef |
| Zita | 39,3 defg | 40,3 efgh | 27,4 de | 31,6 ef |
| Panda | 45,9 hi | 38,7 cdefg | 25,6 cd | 28,6 ef |
| Kora | 41,5 fgh | 32,1 b | 28,5 ef | 30,7 ef |
| Billy | 46,7 i | 36,1 bcdef | 24,6 c | 28,3 e |
| Lileja | 37,4 bcdef | 36,1 bcdef | 27,4 de | 33,2 fg |
| Bamby | 36,1 bcde | 33,1 bc | 27,8 e | 31,4 ef |
| Oberon | 42,8 ghi | 34,9 bcd | 23,9 bc | 29,8 ef |
| W.-Gras | 21,0 a | 32,4 bc | 19,7 ab | 16,9 a |
| S.-Roggen | 15,7 a | 15,7 a | 36,8 g | 48,7 h |
| Standort Straubing | | | | |
| Lifago | 42,2 ef | 41,0 ef | 29,7 efgh | 29,0 defgh |
| Spacinska | 49,3 fg | 35,1 bcd | 30,4 h | 26,9 cdef |
| Zita | 44,6 ef | 37,7 cde | 27,7 cdefgh | 28,2 cdefgh |
| Panda | 50,7 g | 39,6 ef | 27,1 cdefg | 29,0 defgh |
| Kora | 46,9 fg | 36,1 cde | 29,9 fgh | 29,4 efgh |
| Billy | 54,2 g | 35,8 bcd | 26,1 cd | 26,5 cde |
| Lileja | 53,1 g | 37,1 cde | 25,4 c | 30,7 h |
| Bamby | 48,7 fg | 30,5 b | 25,4 c | 30,0 gh |
| Oberon | 52,5 g | 32,9 bc | 25,4 c | 26,7 cde |
| W.-Gras | 17,0 a | 39,5 de | 19,4 b | 13,0 a |
| S.-Roggen | 11,7 a | 33,1 bcd | 39,2 i | 21,3 b |

*wegen zu hohen Lagers und Krankheitsdrucks fand keine Beerntung statt

Tabelle 30: Trockenmasseerträge und Trockensubstanzgehalte der Quinoasorten im Jahr 2013 sowie der Referenzen Weidelgras und Sommerroggen getrennt nach Standort und Saattermin, unterschiedliche Buchstaben innerhalb des Standortes stehen für signifikante Unterschiede ($p < 0,05$, t-Test)

| Standort Aholting | | | | |
|--------------------|-----------------------|--------------|-------------------|--------------|
| Sorte | TM-Ertrag in dt/ha | | TS-Gehalt in % | |
| | Saattermin 1 | Saattermin 2 | Saattermin 1 | Saattermin 2 |
| Zeno | 42,9 de | 43,0 de | 27,2 efg | 31,9 gh |
| Puno | 41,0 c | 48,7 de | 29,4 gh | 31,5 gh |
| Titicaca | 33,2 b | 42,4 cd | 32,4 hi | 30,8 gh |
| Atlas | 43,3 de | 47,6 de | 26,2 def | 22,0 b |
| Carmen | 35,9 b | 42,6 cd | 26,7 ef | 24,4 bcde |
| Pasto | 43,6 de | 52,0 ef | 24,1 bcd | 21,5 ab |
| Faro | 55,8 f | 51,1 ef | 23,9 bc | 21,5 ab |
| 407 | 47,7 de | 50,5 ef | 27,3 efg | 24,7 cde |
| Tango | 44,2 de | 54,5 f | 31,9 h | 29,0 fgh |
| W.-Gras | 21,0 a | 32,4 b | 19,7 ab | 16,9 a |
| S.-Roggen | 15,7 a | 15,0 a | 36,8 i | 48,7 i |
| Standort Straubing | | | | |
| Zeno | 41,6 def | 44,0 efg | 33,4 ef | 32,0 ef |
| Puno | 47,5 fghi | 49,2 ghi | 38,1 g | 31,6 ef |
| Titicaca | 36,9 bcd | 40,2 cde | 40,1 gh | 33,1 ef |
| Atlas | 51,5 hij | 45,8 efgh | 25,2 d | 19,7 b |
| Carmen | 43,4 defg | 33,8 bc | 31,4 e | 20,4 bc |
| Pasto | 69,4 m | 52,2 hij | 22,3 bcd | 20,8 bc |
| Faro | 65,8 lm | 61,3 kl | 23,1 cd | 20,2 bc |
| 407 | 58,0 jk | 52,8 ij | 34,7 f | 21,1 bc |
| Tango | 44,6 efg | 57,0 jk | 43,0 h | 32,2ef |
| W.-Gras | 17,0 a | 39,5 bcde | 19,4 b | 13,0 a |
| S.-Roggen | 11,7 a | 33,1 b | 39,2 g | 21,3 bc |

*wegen zu hohen Lagers und Krankheitsdrucks fand keine Beerntung statt

Substratqualität (Analysen nach Weender und van Soest)*Tabelle 31: Inhaltsstoffanalysen ausgewählter Buchweizensorten 2011 nach der erweiterten Weender Analyse unterteilt nach Standort und Saatzeitpunkt*

| Standort Straubing, früher Saattermin | | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|---------------|-----------------|--------------|---------------|-----|-----|-----|-----|--------|------|
| Sorte | Roh- asche | Roh- protein | Roh- fett | Roh- faser | NfE | NDF | ADF | ADL | Stärke | ELOS |
| in g/kg Trockenmasse | | | | | | | | | | |
| Lifago | 69 | 88 | 14 | 274 | 555 | 493 | 366 | 106 | 170 | 502 |
| Spacinska | 89 | 72 | 11 | 336 | 492 | 511 | 404 | 117 | 116 | 450 |
| Zita | 87 | 75 | 9 | 330 | 499 | 507 | 391 | 137 | 136 | 468 |
| Panda | 90 | 74 | 8 | 321 | 508 | 492 | 383 | 114 | 151 | 476 |
| Kora | 86 | 76 | 13 | 300 | 524 | 502 | 371 | 117 | 155 | 495 |
| Tussi | 86 | 79 | 12 | 295 | 529 | 478 | 352 | 137 | 159 | 517 |
| Lileja | 86 | 82 | 12 | 304 | 516 | 485 | 368 | 106 | 197 | 499 |
| Jana | 88 | 80 | 11 | 332 | 489 | 536 | 406 | 125 | 127 | 447 |
| Mittel | 85 | 78 | 11 | 312 | 514 | 500 | 380 | 120 | 151 | 482 |
| Standort Straubing, Saattermin 2 | | | | | | | | | | |
| in g/kg Trockenmasse | | | | | | | | | | |
| Lifago | 71 | 84 | 17 | 276 | 553 | 482 | 376 | 144 | 223 | 500 |
| Zita | 98 | 83 | 15 | 273 | 531 | 465 | 363 | 118 | 218 | 490 |
| Kora | 92 | 88 | 16 | 290 | 515 | 526 | 404 | 157 | 249 | 460 |
| Tussi | 90 | 94 | 18 | 243 | 556 | 510 | 345 | 136 | 296 | 524 |
| Lileja | 88 | 87 | 16 | 272 | 537 | 486 | 366 | 135 | 254 | 495 |
| Mittel | 92 | 94 | 15 | 262 | 536 | 523 | 380 | 138 | 213 | 521 |
| Standort Aholting, Saattermin 2 | | | | | | | | | | |
| in g/kg Trockenmasse | | | | | | | | | | |
| Lifago | 86 | 80 | 12 | 262 | 561 | 576 | 390 | 135 | 203 | 502 |
| Zita | 93 | 91 | 11 | 279 | 527 | 542 | 409 | 134 | 199 | 490 |
| Kora | 86 | 97 | 14 | 277 | 525 | 502 | 404 | 147 | 219 | 518 |
| Tussi | 100 | 94 | 16 | 240 | 549 | 536 | 351 | 133 | 215 | 525 |
| Lileja | 90 | 92 | 14 | 270 | 534 | 531 | 386 | 134 | 206 | 521 |
| Mittel | 91 | 91 | 14 | 265 | 539 | 537 | 388 | 137 | 208 | 511 |

Tabelle 32: Inhaltsstoffanalysen ausgewählter Quinoasorten 2011 nach der erweiterten Weender Analyse unterteilt nach Standort und Saatzeitpunkt

| Standort Straubing, früher Saattermin | | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|---------------|-----------------|--------------|---------------|-----|-----|-----|-----|--------|------|
| Sorte | Roh- asche | Roh- protein | Roh- fett | Roh- faser | NfE | NDF | ADF | ADL | Stärke | ELOS |
| in g/kg Trockenmasse | | | | | | | | | | |
| Zeno | 114 | 105 | 35 | 275 | 472 | 497 | 305 | 81 | 189 | 529 |
| Puno | 98 | 98 | 41 | 255 | 509 | 446 | 288 | 54 | 246 | 592 |
| Titicaca | 103 | 130 | 43 | 217 | 507 | 400 | 287 | 70 | 260 | 602 |
| Atlas | 121 | 96 | 34 | 254 | 494 | 460 | 324 | 87 | 149 | 539 |
| Carmen | 125 | 109 | 34 | 243 | 489 | 446 | 305 | 75 | 165 | 514 |
| Pasto | 181 | 99 | 36 | 218 | 467 | 383 | 247 | 70 | 174 | 545 |
| Faro | 114 | 85 | 40 | 267 | 494 | 443 | 306 | 70 | 216 | 569 |
| 407 | 118 | 85 | 33 | 263 | 501 | 449 | 320 | 75 | 184 | 552 |
| Tango | 126 | 106 | 43 | 240 | 486 | 408 | 285 | 79 | 217 | 592 |
| Mittel | 122 | 101 | 38 | 248 | 491 | 437 | 296 | 73 | 200 | 559 |

| Standort Straubing, Saattermin 2 | | | | | | | | | | |
|----------------------------------|-----|-----|----|-----|-----|-----|-----|----|-----|-----|
| in g/kg Trockenmasse | | | | | | | | | | |
| Puno | 94 | 111 | 57 | 189 | 549 | 334 | 200 | 62 | 340 | 658 |
| Carmen | 127 | 120 | 59 | 177 | 515 | 331 | 187 | 68 | 290 | 644 |
| Pasto | 127 | 124 | 52 | 179 | 518 | 345 | 193 | 59 | 315 | 587 |
| Faro | 138 | 118 | 40 | 217 | 486 | 395 | 227 | 72 | 206 | 598 |
| 407 | 124 | 121 | 41 | 212 | 503 | 369 | 227 | 62 | 210 | 597 |
| Mittel | 122 | 119 | 50 | 195 | 514 | 355 | 207 | 64 | 272 | 617 |

Tabelle 33: *Inhaltsstoffgehalte 2012 von Buchweizensorten sowie der Referenzen Einjähriges Weidelgras und Sommerroggen nach der erweiterten Weender Analyse getrennt nach Standort und Saattermin*

| | XA | XP | XL | XF | NfE | NDF | ADF | ADL | ELOS | Stärke |
|----------------------------------|---------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|--------|
| in g/kg Trockenmasse | | | | | | | | | | |
| Sorte | Standort Aholfing, Saattermin 1 | | | | | | | | | |
| Lifago | 110 | 82 | 11 | 322 | 476 | 535 | 427 | 162 | 360 | 91 |
| Spacinska | 102 | 64 | 12 | 367 | 455 | 544 | 448 | 113 | 374 | 101 |
| Zita | 98 | 82 | 17 | 309 | 494 | 483 | 385 | 125 | 391 | 139 |
| Panda | 108 | 74 | 11 | 348 | 459 | 526 | 416 | 130 | 330 | 109 |
| Kora | 98 | 69 | 12 | 311 | 509 | 487 | 380 | 119 | 418 | 137 |
| Tussi | 99 | 73 | 13 | 300 | 516 | 476 | 380 | 113 | 445 | 147 |
| Lileja | 108 | 72 | 9 | 357 | 454 | 558 | 449 | 122 | 350 | 107 |
| Jana | 114 | 87 | 10 | 369 | 420 | 573 | 451 | 130 | 323 | 79 |
| Mittel | 105 | 75 | 12 | 335 | 473 | 523 | 417 | 127 | 374 | 114 |
| Einj. Weidelgras | 234 | 174 | 21 | 209 | 362 | 422 | 300 | 58 | 528 | 8 |
| S.-Roggen | 76 | 115 | 15 | 343 | 451 | 659 | 412 | 90 | 378 | 13 |
| Standort Aholfing, Saattermin 2 | | | | | | | | | | |
| Lifago | 86 | 84 | 11 | 318 | 501 | 520 | 413 | 114 | 414 | 136 |
| Zita | 104 | 98 | 11 | 271 | 516 | 445 | 341 | 108 | 461 | 172 |
| Kora | 106 | 92 | 10 | 276 | 516 | 439 | 354 | 101 | 457 | 181 |
| Tussi | 95 | 98 | 9,1 | 219 | 579 | 423 | 285 | 92 | 550 | 230 |
| Lileja | 103 | 94 | 11 | 280 | 511 | 468 | 371 | 113 | 459 | 187 |
| Mittel | 99 | 93 | 10 | 273 | 525 | 459 | 353 | 106 | 468 | 181 |
| Standort Straubing, Saattermin 1 | | | | | | | | | | |
| Lifago | 84 | 95 | 11 | 324 | 486 | 539 | 434 | 125 | 401 | 112 |
| Spacinska | 98 | 92 | 7 | 368 | 435 | 557 | 460 | 122 | 359 | 72 |
| Zita | 103 | 91 | 7 | 367 | 431 | 567 | 456 | 129 | 369 | 68 |
| Panda | 104 | 99 | 13 | 341 | 443 | 541 | 431 | 143 | 380 | 122 |
| Kora | 105 | 96 | 12 | 364 | 424 | 575 | 440 | 144 | 345 | 100 |
| Tussi | 105 | 111 | 9 | 271 | 505 | 458 | 355 | 108 | 448 | 149 |
| Lileja | 105 | 101 | 8 | 321 | 465 | 518 | 419 | 115 | 366 | 102 |
| Jana | 108 | 98 | 7 | 361 | 426 | 558 | 485 | 120 | 354 | 74 |
| Mittel | 101 | 98 | 9 | 340 | 452 | 539 | 435 | 126 | 378 | 100 |
| Einj. Weidelgras | 108 | 189 | 32 | 265 | 405 | 480 | 355 | 56 | 640 | 0 |
| S.-Roggen | 72 | 131 | 19 | 364 | 414 | 653 | 453 | 85 | 371 | 6 |

| Standort Straubing, Saattermin 2 | | | | | | | | | | |
|----------------------------------|-----|-----|----|-----|-----|-----|-----|-----|------|--------|
| | XA | XP | XL | XF | NfE | NDF | ADF | ADL | ELOS | Stärke |
| Lifago | 86 | 90 | 17 | 306 | 502 | 548 | 382 | 106 | 441 | 194 |
| Zita | 110 | 79 | 13 | 303 | 495 | 462 | 347 | 93 | 460 | 181 |
| Kora | 89 | 84 | 14 | 290 | 523 | 448 | 353 | 106 | 475 | 228 |
| Tussi | 86 | 85 | 13 | 234 | 583 | 379 | 286 | 86 | 551 | 235 |
| Lileja | 99 | 83 | 13 | 279 | 526 | 441 | 338 | 98 | 508 | 182 |
| Mittel | 94 | 84 | 14 | 282 | 526 | 456 | 341 | 98 | 487 | 204 |
| Einj. Weidelgras | 119 | 155 | 30 | 264 | 432 | 470 | 320 | 53 | 550 | 0 |
| S.-Roggen | 70 | 99 | 17 | 375 | 438 | 691 | 457 | 122 | 287 | 32 |

XA: Rohasche, XP: Rohprotein, XL: Rohfett, XF: Rohfaser, NfE: stickstofffreie Extrakt, NDF: Neutral-Detergenz-Faser, ADF: Säure-Detergenz-Faser, ADL: Säure-Detergenz-Lignin, ELOS: enzymlösliche organische Substanz

Tabelle 34: *Inhaltsstoffanalysen 2012 von Quinoasorten nach der erweiterten Weender Analyse getrennt nach Standort und Saattermin*

| Sorte | XA | XP | XL | XF | NfE | NDF | ADF | ADL | ELOS | Stärke |
|----------------------------------|-----|-----|----|-----|-----|-----|-----|-----|------|--------|
| in g/kg Trockenmasse | | | | | | | | | | |
| Standort Aholfing, Saattermin 1 | | | | | | | | | | |
| Zeno | 128 | 95 | 32 | 309 | 436 | 562 | 377 | 84 | 368 | 95 |
| Puno | 120 | 87 | 34 | 335 | 424 | 578 | 389 | 77 | 357 | 127 |
| Titicaca | 120 | 108 | 27 | 312 | 433 | 563 | 384 | 85 | 379 | 118 |
| Atlas | 109 | 84 | 19 | 365 | 422 | 591 | 410 | 76 | 368 | 105 |
| Carmen | 130 | 100 | 26 | 317 | 427 | 550 | 355 | 84 | 384 | 106 |
| Pasto | 156 | 106 | 27 | 261 | 450 | 479 | 308 | 66 | 444 | 119 |
| Faro | 121 | 73 | 25 | 317 | 465 | 550 | 376 | 63 | 409 | 147 |
| 407 | 133 | 108 | 32 | 274 | 453 | 470 | 316 | 62 | 414 | 149 |
| Tango | 126 | 101 | 28 | 306 | 439 | 535 | 330 | 82 | 388 | 157 |
| Mittel | 127 | 96 | 28 | 311 | 439 | 542 | 361 | 75 | 390 | 125 |
| Standort Aholfing, Saattermin 2 | | | | | | | | | | |
| Puno | 101 | 104 | 39 | 257 | 499 | 450 | 282 | 74 | 527 | 221 |
| Carmen | 106 | 114 | 44 | 235 | 501 | 426 | 254 | 68 | 542 | 232 |
| Pasto | 138 | 105 | 43 | 215 | 499 | 418 | 225 | 73 | 560 | 201 |
| Faro | 106 | 86 | 41 | 235 | 532 | 421 | 253 | 57 | 556 | 265 |
| 407 | 113 | 107 | 45 | 231 | 504 | 401 | 259 | 58 | 557 | 246 |
| Mittel | 113 | 103 | 42 | 235 | 507 | 423 | 255 | 66 | 548 | 233 |
| Standort Straubing, Saattermin 1 | | | | | | | | | | |
| Zeno | 143 | 132 | 19 | 322 | 383 | 543 | 399 | 73 | 374 | 72 |
| Puno | 124 | 135 | 22 | 307 | 412 | 477 | 367 | 62 | 426 | 125 |
| Titicaca | 142 | 150 | 33 | 289 | 386 | 490 | 348 | 70 | 446 | 130 |
| Atlas | 139 | 130 | 26 | 306 | 400 | 496 | 358 | 54 | 418 | 89 |
| Carmen | 158 | 127 | 25 | 306 | 385 | 519 | 349 | 58 | 371 | 74 |
| Pasto | 153 | 167 | 36 | 246 | 399 | 441 | 317 | 71 | 476 | 138 |
| Faro | 189 | 116 | 41 | 277 | 378 | 481 | 341 | 67 | 398 | 89 |
| 407 | 140 | 127 | 16 | 325 | 393 | 525 | 384 | 75 | 402 | 97 |
| Tango | 150 | 166 | 32 | 233 | 418 | 442 | 312 | 60 | 462 | 143 |
| Mittel | 149 | 139 | 28 | 290 | 395 | 490 | 353 | 66 | 419 | 106 |
| Standort Straubing, Saattermin 2 | | | | | | | | | | |
| Puno | 120 | 98 | 34 | 292 | 457 | 492 | 324 | 85 | 470 | 169 |
| Carmen | 128 | 106 | 40 | 262 | 463 | 450 | 288 | 73 | 478 | 146 |
| Pasto | 145 | 116 | 34 | 229 | 477 | 409 | 248 | 65 | 547 | 196 |
| Faro | 124 | 80 | 36 | 257 | 504 | 449 | 275 | 52 | 511 | 160 |
| 407 | 129 | 92 | 34 | 263 | 483 | 458 | 291 | 59 | 469 | 183 |
| Mittel | 129 | 98 | 35 | 261 | 477 | 452 | 285 | 67 | 495 | 171 |

Tabelle 35: *Inhaltsstoffanalysen 2013 von Buchweizen- und Quinoasorten sowie der Referenzen nach der erweiterten Weender Analyse getrennt nach Standort und Saattermin*

| Sorte | XA | XP | XL | XF | NfE | NDF | ADF | ADL | ELOS | Stärke |
|----------------------------------|-----|-----|----|-----|-----|-----|-----|-----|------|--------|
| in g/kg Trockenmasse | | | | | | | | | | |
| Buchweizen | | | | | | | | | | |
| Standort Aholting, Saattermin 1 | | | | | | | | | | |
| Lifago | 91 | 119 | 25 | 214 | 551 | 368 | 275 | 102 | 629 | 245 |
| Spacinska | 98 | 126 | 23 | 220 | 533 | 362 | 319 | 114 | 582 | 228 |
| Kora | 115 | 101 | 19 | 264 | 501 | 389 | 331 | 108 | 543 | 166 |
| Billy | 108 | 104 | 17 | 278 | 493 | 394 | 318 | 102 | 579 | 172 |
| Oberon | 106 | 127 | 20 | 237 | 510 | 393 | 292 | 109 | 589 | 185 |
| Mittel | 104 | 115 | 21 | 243 | 518 | 381 | 307 | 107 | 584 | 199 |
| Quinoa | | | | | | | | | | |
| Zeno | 141 | 113 | 35 | 255 | 457 | 424 | 302 | 90 | 552 | 106 |
| Puno | 147 | 98 | 38 | 274 | 443 | 425 | 298 | 80 | 514 | 105 |
| Faro | 153 | 102 | 28 | 214 | 502 | 424 | 254 | 69 | 563 | 147 |
| 407 | 127 | 89 | 33 | 304 | 446 | 448 | 298 | 70 | 510 | 145 |
| Tango | 150 | 106 | 42 | 211 | 491 | 401 | 262 | 61 | 558 | 146 |
| Mittel | 144 | 102 | 35 | 252 | 468 | 424 | 283 | 74 | 540 | 130 |
| W.-Gras | 132 | 176 | 38 | 227 | 427 | 386 | 311 | 65 | 644 | 20 |
| S.-Roggen | 62 | 122 | 27 | 302 | 488 | 589 | 368 | 59 | 511 | 0 |
| Buchweizen | | | | | | | | | | |
| Standort Aholting, Saattermin 2 | | | | | | | | | | |
| Spacinska | 100 | 122 | 19 | 286 | 474 | 445 | 379 | 107 | 495 | 265 |
| Quinoa | | | | | | | | | | |
| 407 | 138 | 124 | 39 | 221 | 478 | 370 | 243 | 55 | 595 | 153 |
| W.-Gras | 111 | 168 | 31 | 245 | 445 | 440 | 305 | 75 | 633 | 0 |
| S.-Roggen | 64 | 133 | 24 | 356 | 424 | 695 | 445 | 109 | 376 | 4 |
| Buchweizen | | | | | | | | | | |
| Standort Straubing, Saattermin 1 | | | | | | | | | | |
| Lifago | 87 | 105 | 17 | 259 | 532 | 436 | 335 | 90 | 530 | 218 |
| Spacinska | 102 | 91 | 12 | 292 | 503 | 450 | 351 | 100 | 502 | 156 |
| Kora | 108 | 101 | 14 | 252 | 525 | 393 | 316 | 96 | 556 | 190 |
| Billy | 93 | 115 | 15 | 214 | 563 | 373 | 287 | 77 | 597 | 238 |
| Oberon | 101 | 105 | 13 | 248 | 533 | 381 | 330 | 82 | 553 | 181 |
| Mittel | 98 | 103 | 14 | 253 | 531 | 406 | 324 | 89 | 548 | 197 |
| Quinoa | | | | | | | | | | |
| Zeno | 150 | 136 | 27 | 257 | 430 | 487 | 326 | 67 | 441 | 75 |

| Sorte | XA | XP | XL | XF | NfE | NDF | ADF | ADL | ELOS | Stärke |
|----------------------|----------------------------------|-----|----|-----|-----|-----|-----|-----|------|--------|
| in g/kg Trockenmasse | | | | | | | | | | |
| Puno | 136 | 131 | 48 | 192 | 494 | 357 | 245 | 47 | 591 | 215 |
| Faro | 139 | 106 | 29 | 237 | 488 | 420 | 257 | 36 | 574 | 151 |
| 407 | 149 | 105 | 38 | 251 | 457 | 412 | 269 | 50 | 493 | 152 |
| Tango | 171 | 121 | 41 | 232 | 434 | 409 | 277 | 54 | 493 | 122 |
| Mittel | 149 | 120 | 37 | 234 | 461 | 417 | 275 | 51 | 518 | 143 |
| W.-Gras | 120 | 180 | 28 | 251 | 421 | 426 | 308 | 50 | 634 | 6 |
| S.-Roggen | 77 | 128 | 24 | 289 | 482 | 567 | 333 | 61 | 542 | 0 |
| Buch- weizen | Standort Straubing, Saattermin 2 | | | | | | | | | |
| Spacinska | 92 | 130 | 14 | 239 | 525 | 430 | 306 | 80 | 605 | 204 |
| Quinoa | | | | | | | | | | |
| 407 | 129 | 149 | 34 | 199 | 489 | 352 | 246 | 56 | 650 | 171 |
| W.-Gras | 118 | 183 | 37 | 230 | 433 | 394 | 279 | 47 | 743 | 0 |
| S.-Roggen | 84 | 158 | 30 | 324 | 405 | 595 | 412 | 81 | 504 | 0 |

Mineralstoff-, Stickstoffanalysen**Tabelle 36:** *Stickstoff- und Mineralstoffgehalte 2011 von Buchweizen- und Quinoasorten sowie der Referenzkulturen getrennt nach Standort und Saattermin*

| Sorte | N* | Al ¹ | Ca ² | Fe ³ | K ⁴ | Cu ⁵ | Mg ⁶ | Mn ⁷ | P ⁸ | S ⁹ | Zn ¹⁰ |
|----------------------|---|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|------------------|
| in g/kg Trockenmasse | | | | | | | | | | | |
| Buchweizen | Standort Straubing, Saattermin 1 | | | | | | | | | | |
| Lifago | 14,09 | 0,203 | 9,06 | 0,15 | 19,12 | 0,005 | 3,14 | 0,16 | 4,41 | 1,38 | 0,026 |
| Spacinska | 11,59 | 0,352 | 14,60 | 0,17 | 23,20 | 0,006 | 3,63 | 0,35 | 4,05 | 1,38 | 0,019 |
| Zita | 11,97 | 0,275 | 12,76 | 0,15 | 22,26 | 0,006 | 3,48 | 0,32 | 4,40 | 1,39 | 0,020 |
| Panda | 11,81 | 0,305 | 14,00 | 0,15 | 22,74 | 0,006 | 3,78 | 0,37 | 3,72 | 1,40 | 0,019 |
| Kora | 12,11 | 0,347 | 13,57 | 0,17 | 21,45 | 0,005 | 3,54 | 0,34 | 3,04 | 1,30 | 0,017 |
| Tussi | 12,64 | 0,370 | 14,85 | 0,19 | 20,06 | 0,007 | 3,80 | 0,41 | 4,13 | 1,52 | 0,020 |
| Lileja | 13,19 | 0,331 | 14,34 | 0,17 | 21,91 | 0,007 | 3,66 | 0,35 | 4,51 | 1,48 | 0,022 |
| Jana | 12,82 | 0,317 | 14,13 | 0,15 | 22,38 | 0,006 | 3,65 | 0,38 | 4,12 | 1,44 | 0,020 |
| Quinoa | | | | | | | | | | | |
| Zeno | 16,73 | 0,136 | 12,13 | 0,11 | 41,88 | 0,006 | 4,75 | 0,09 | 5,28 | 2,22 | 0,029 |
| Puno | 15,69 | 0,098 | 10,16 | 0,09 | 35,56 | 0,004 | 4,15 | 0,07 | 3,68 | 2,01 | 0,018 |
| Titicaca | 20,75 | 0,127 | 10,57 | 0,11 | 39,59 | 0,005 | 4,22 | 0,07 | 5,52 | 2,37 | 0,025 |
| Carmen | 15,41 | 0,077 | 11,73 | 0,09 | 44,23 | 0,007 | 5,59 | 0,14 | 5,38 | 2,59 | 0,030 |
| Atlas | 17,39 | 0,136 | 13,11 | 0,11 | 42,76 | 0,005 | 5,54 | 0,10 | 5,82 | 2,35 | 0,025 |
| Pasto | 15,78 | 2,157 | 12,72 | 1,32 | 50,36 | 0,007 | 6,29 | 0,20 | 4,07 | 2,24 | 0,031 |
| Faro | 13,56 | 0,081 | 10,22 | 0,08 | 43,32 | 0,005 | 4,93 | 0,10 | 5,16 | 1,86 | 0,024 |
| 407 | 13,57 | 0,120 | 11,47 | 0,10 | 40,73 | 0,005 | 4,80 | 0,11 | 3,97 | 1,95 | 0,024 |
| Tango | 16,91 | 0,121 | 13,63 | 0,11 | 46,20 | 0,006 | 5,46 | 0,11 | 4,49 | 2,42 | 0,024 |
| Weidelgras | | | | | | | | | | | |
| Weidelgras | 17,76 | 0,391 | 5,41 | 0,27 | 21,67 | 0,007 | 1,63 | 0,07 | 3,66 | 2,17 | 0,032 |
| S.-Roggen | | | | | | | | | | | |
| S.-Roggen | 19,84 | 0,311 | 8,79 | 0,22 | 20,43 | 0,007 | 2,51 | 0,05 | 2,86 | 2,17 | 0,024 |

| Sorte | N* | Al ¹ | Ca ² | Fe ³ | K ⁴ | Cu ⁵ | Mg ⁶ | Mn ⁷ | P ⁸ | S ⁹ | Zn ¹⁰ |
|---|-------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|------------------|
| in g/kg Trockenmasse | | | | | | | | | | | |
| Buchweizen Standort Straubing, Saattermin 2 | | | | | | | | | | | |
| Lifago | 13,37 | 0,577 | 8,89 | 0,39 | 16,74 | 0,005 | 3,03 | 0,18 | 3,47 | 1,15 | 0,023 |
| Zita | 13,33 | 1,087 | 12,88 | 0,73 | 20,03 | 0,006 | 3,72 | 0,26 | 3,65 | 1,52 | 0,023 |
| Kora | 14,07 | 0,653 | 12,21 | 0,42 | 20,76 | 0,005 | 3,61 | 0,22 | 2,97 | 1,49 | 0,020 |
| Tussi | 15,00 | 0,508 | 15,39 | 0,32 | 17,23 | 0,007 | 4,19 | 0,29 | 3,51 | 1,57 | 0,022 |
| Lileja | 13,91 | 0,644 | 12,99 | 0,41 | 19,65 | 0,006 | 3,79 | 0,23 | 3,65 | 1,53 | 0,023 |
| Quinoa | | | | | | | | | | | |
| Puno | 17,71 | 0,262 | 9,17 | 0,21 | 32,87 | 0,004 | 4,23 | 0,07 | 3,44 | 2,01 | 0,020 |
| Carmen | 19,28 | 0,205 | 12,92 | 0,19 | 43,50 | 0,005 | 5,76 | 0,09 | 4,80 | 2,46 | 0,025 |
| Pasto | 19,85 | 0,170 | 10,69 | 0,16 | 45,90 | 0,006 | 5,76 | 0,12 | 4,12 | 2,41 | 0,028 |
| Faro | 18,95 | 0,709 | 12,02 | 0,50 | 44,67 | 0,006 | 5,68 | 0,11 | 5,30 | 2,28 | 0,028 |
| 407 | 19,34 | 0,390 | 13,15 | 0,31 | 39,89 | 0,007 | 5,72 | 0,10 | 4,78 | 2,71 | 0,030 |
| Weidelgras | | | | | | | | | | | |
| S.-Roggen | 16,84 | 2,500 | 6,66 | 1,55 | 21,77 | 0,007 | 1,93 | 0,13 | 3,71 | 2,01 | 0,031 |
| Buchweizen Standort Aholfing, Saattermin 2 | | | | | | | | | | | |
| Lifago | 12,75 | 0,547 | 9,49 | 0,46 | 20,09 | 0,004 | 2,34 | 0,13 | 4,28 | 1,28 | 0,027 |
| Zita | 14,49 | 0,369 | 12,07 | 0,29 | 23,68 | 0,005 | 2,69 | 0,17 | 5,38 | 1,53 | 0,029 |
| Kora | 15,54 | 0,258 | 11,85 | 0,19 | 24,71 | 0,006 | 2,72 | 0,17 | 4,52 | 1,59 | 0,027 |
| Tussi | 15,02 | 0,354 | 16,83 | 0,25 | 25,06 | 0,007 | 2,89 | 0,23 | 5,27 | 1,71 | 0,030 |
| Lileja | 14,65 | 0,273 | 12,59 | 0,20 | 26,32 | 0,006 | 2,69 | 0,17 | 5,54 | 1,58 | 0,030 |

*Stickstoff, ¹Aluminium, ²Calcium, ³Eisen, ⁴Kalium, ⁵Kupfer, ⁶Magnesium, ⁷Mangan, ⁸Phosphor, ⁹Schwefel, ¹⁰Zink

Tabelle 37: Stickstoff- und Mineralstoffgehalte 2012 von Buchweizensorten und Referenzkulturen getrennt nach Standort und Saattermin

| Sorte | N* | Al ¹ | Ca ² | Fe ³ | K ⁴ | Cu ⁵ | Mg ⁶ | Mn ⁷ | P ⁸ | S ⁹ | Zn ¹⁰ |
|----------------------------------|-------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|------------------|
| in g/kg Trockenmasse | | | | | | | | | | | |
| Standort Straubing, Saattermin 1 | | | | | | | | | | | |
| Lifago | 15,21 | 0,560 | 13,25 | 0,36 | 19,44 | 0,006 | 3,64 | 0,17 | 4,36 | 1,37 | 0,023 |
| Spacinska | 14,65 | 0,794 | 14,65 | 0,50 | 24,99 | 0,007 | 4,38 | 0,12 | 4,20 | 1,63 | 0,021 |
| Zita | 14,49 | 0,908 | 15,20 | 0,59 | 25,11 | 0,008 | 4,19 | 0,14 | 4,66 | 1,64 | 0,023 |
| Panda | 15,90 | 0,977 | 16,39 | 0,62 | 23,48 | 0,007 | 4,48 | 0,10 | 3,48 | 1,67 | 0,020 |
| Kora | 15,34 | 1,090 | 14,90 | 0,69 | 23,47 | 0,006 | 4,21 | 0,09 | 3,13 | 1,54 | 0,018 |
| Tussi | 17,70 | 0,751 | 18,91 | 0,46 | 22,34 | 0,009 | 4,72 | 0,20 | 4,70 | 1,72 | 0,022 |
| Lileja | 16,20 | 1,060 | 15,21 | 0,67 | 22,05 | 0,008 | 4,67 | 0,14 | 4,07 | 1,66 | 0,023 |
| Jana | 15,69 | 0,805 | 15,05 | 0,52 | 23,56 | 0,007 | 4,77 | 0,08 | 3,97 | 1,61 | 0,019 |
| Weidelgras | 30,28 | 0,369 | 6,69 | 0,29 | 38,60 | 0,011 | 2,25 | 0,08 | 5,48 | 2,26 | 0,029 |
| Roggen | 20,96 | 0,256 | 5,93 | 0,20 | 22,72 | 0,007 | 1,60 | 0,04 | 3,37 | 1,66 | 0,018 |
| Standort Straubing, Saattermin 2 | | | | | | | | | | | |
| Lifago | 14,42 | 0,499 | 13,03 | 0,33 | 20,63 | 0,005 | 3,74 | 0,09 | 3,67 | 1,10 | 0,016 |
| Zita | 12,69 | 1,744 | 15,07 | 1,09 | 20,89 | 0,006 | 4,36 | 0,15 | 3,82 | 1,29 | 0,018 |
| Kora | 13,44 | 0,821 | 15,41 | 0,47 | 20,44 | 0,005 | 4,64 | 0,14 | 3,01 | 1,36 | 0,016 |
| Tussi | 13,65 | 0,359 | 16,03 | 0,21 | 16,93 | 0,007 | 4,03 | 0,12 | 3,94 | 1,45 | 0,017 |
| Lileja | 13,28 | 0,740 | 16,14 | 0,45 | 20,52 | 0,006 | 4,66 | 0,13 | 3,91 | 1,39 | 0,018 |
| Weidelgras | 24,84 | 0,767 | 9,47 | 0,53 | 32,74 | 0,008 | 2,32 | 0,07 | 4,50 | 1,93 | 0,025 |
| Roggen | 15,80 | 0,274 | 6,33 | 0,20 | 17,65 | 0,006 | 1,67 | 0,03 | 2,84 | 1,55 | 0,019 |
| Standort Aholting, Saattermin 1 | | | | | | | | | | | |
| Lifago | 13,10 | 1,086 | 6,31 | 0,65 | 25,20 | 0,005 | 2,37 | 0,07 | 4,92 | 1,10 | 0,026 |
| Spacinska | 10,29 | 0,275 | 11,16 | 0,15 | 33,29 | 0,005 | 3,16 | 0,13 | 5,92 | 1,43 | 0,022 |
| Zita | 13,12 | 0,329 | 11,56 | 0,19 | 31,15 | 0,006 | 3,51 | 0,12 | 6,98 | 1,54 | 0,026 |
| Panda | 11,88 | 0,322 | 12,29 | 0,24 | 33,23 | 0,006 | 3,66 | 0,14 | 5,49 | 1,60 | 0,025 |
| Kora | 11,01 | 0,304 | 12,33 | 0,16 | 32,12 | 0,005 | 3,27 | 0,14 | 5,16 | 1,42 | 0,023 |
| Tussi | 11,70 | 0,239 | 13,27 | 0,12 | 31,82 | 0,006 | 2,97 | 0,17 | 6,10 | 1,38 | 0,021 |
| Lileja | 11,52 | 0,435 | 12,34 | 0,27 | 35,18 | 0,006 | 3,53 | 0,14 | 6,86 | 1,54 | 0,026 |
| Jana | 13,93 | 0,463 | 13,32 | 0,26 | 34,94 | 0,007 | 3,78 | 0,16 | 6,69 | 1,65 | 0,029 |
| Weidelgras | 27,90 | 3,624 | 10,71 | 2,00 | 42,92 | 0,009 | 3,18 | 0,12 | 5,30 | 2,04 | 0,036 |
| Roggen | 18,37 | 0,269 | 3,65 | 0,17 | 26,46 | 0,005 | 1,15 | 0,02 | 3,78 | 1,55 | 0,019 |
| Standort Aholting, Saattermin 2 | | | | | | | | | | | |
| Lifago | 13,51 | 0,345 | 8,26 | 0,26 | 26,31 | 0,004 | 2,64 | 0,07 | 4,52 | 1,04 | 0,022 |
| Zita | 15,62 | 0,584 | 13,52 | 0,33 | 25,84 | 0,007 | 3,81 | 0,16 | 6,46 | 1,52 | 0,028 |

| Sorte | N* | Al ¹ | Ca ² | Fe ³ | K ⁴ | Cu ⁵ | Mg ⁶ | Mn ⁷ | P ⁸ | S ⁹ | Zn ¹⁰ |
|--------|----------------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|------------------|
| | in g/kg Trockenmasse | | | | | | | | | | |
| Kora | 14,70 | 0,613 | 14,41 | 0,34 | 26,48 | 0,006 | 3,89 | 0,17 | 4,82 | 1,56 | 0,026 |
| Tussi | 15,69 | 0,315 | 15,27 | 0,15 | 23,69 | 0,007 | 3,53 | 0,19 | 5,73 | 1,45 | 0,024 |
| Lileja | 15,04 | 0,467 | 13,90 | 0,26 | 27,43 | 0,007 | 3,95 | 0,15 | 6,80 | 1,58 | 0,030 |

*Stickstoff, ¹Aluminium, ²Calcium, ³Eisen, ⁴Kalium, ⁵Kupfer, ⁶Magnesium, ⁷Mangan, ⁸Phosphor, ⁹Schwefel, ¹⁰Zink

Tabelle 38: Stickstoff- und Mineralstoffgehalte 2012 von Quinoasorten getrennt nach Standort und Saattermin

| Sorte | N* | Al ¹ | Ca ² | Fe ³ | K ⁴ | Cu ⁵ | Mg ⁶ | Mn ⁷ | P ⁸ | S ⁹ | Zn ¹⁰ |
|----------------------------------|-------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|------------------|
| in g/kg Trockenmasse | | | | | | | | | | | |
| Standort Straubing, Saattermin 1 | | | | | | | | | | | |
| Zeno | 21,11 | 0,352 | 15,13 | 0,26 | 50,85 | 0,008 | 5,57 | 0,05 | 4,00 | 2,22 | 0,030 |
| Puno | 21,63 | 0,207 | 15,18 | 0,16 | 40,87 | 0,005 | 5,14 | 0,03 | 2,72 | 1,91 | 0,016 |
| Titicaca | 24,04 | 0,532 | 17,83 | 0,37 | 50,09 | 0,006 | 4,99 | 0,05 | 4,22 | 2,38 | 0,023 |
| Atlas | 20,76 | 0,994 | 13,89 | 0,68 | 47,24 | 0,007 | 5,53 | 0,06 | 3,53 | 2,22 | 0,026 |
| Carmen | 20,28 | 0,288 | 19,89 | 0,21 | 51,62 | 0,005 | 5,39 | 0,04 | 3,42 | 2,28 | 0,020 |
| Pasto | 26,75 | 0,319 | 15,24 | 0,25 | 53,56 | 0,007 | 6,15 | 0,05 | 3,52 | 2,40 | 0,026 |
| Faro | 18,51 | 3,153 | 13,12 | 2,06 | 47,11 | 0,007 | 4,60 | 0,13 | 4,58 | 1,79 | 0,027 |
| 407 | 20,29 | 0,858 | 15,44 | 0,57 | 50,49 | 0,007 | 4,96 | 0,07 | 3,97 | 1,95 | 0,023 |
| Tango | 26,58 | 0,187 | 18,92 | 0,16 | 48,06 | 0,008 | 5,85 | 0,05 | 4,53 | 2,45 | 0,022 |
| Standort Straubing, Saattermin 2 | | | | | | | | | | | |
| Puno | 15,61 | 0,363 | 16,00 | 0,26 | 35,57 | 0,004 | 4,34 | 0,05 | 2,26 | 1,69 | 0,013 |
| Carmen | 16,93 | 0,296 | 19,11 | 0,21 | 42,72 | 0,004 | 4,85 | 0,05 | 4,17 | 1,96 | 0,018 |
| Pasto | 18,49 | 0,319 | 14,74 | 0,24 | 50,82 | 0,006 | 5,05 | 0,08 | 3,42 | 2,18 | 0,023 |
| Faro | 12,87 | 0,366 | 12,22 | 0,27 | 42,56 | 0,005 | 4,47 | 0,06 | 4,07 | 1,34 | 0,019 |
| 407 | 14,73 | 0,501 | 14,76 | 0,34 | 40,43 | 0,005 | 5,29 | 0,06 | 3,53 | 1,62 | 0,019 |
| Standort Aholfing, Saattermin 1 | | | | | | | | | | | |
| Zeno | 15,23 | 0,163 | 10,09 | 0,13 | 52,21 | 0,005 | 4,44 | 0,06 | 4,51 | 1,88 | 0,024 |
| Puno | 13,90 | 0,147 | 9,22 | 0,12 | 47,03 | 0,004 | 3,93 | 0,05 | 3,02 | 1,65 | 0,015 |
| Titicaca | 17,22 | 0,114 | 9,96 | 0,10 | 49,75 | 0,004 | 4,21 | 0,05 | 4,29 | 1,88 | 0,020 |
| Atlas | 13,49 | 0,091 | 6,98 | 0,08 | 48,72 | 0,005 | 4,13 | 0,06 | 4,22 | 1,64 | 0,023 |
| Carmen | 16,03 | 0,075 | 10,31 | 0,08 | 53,47 | 0,004 | 5,11 | 0,05 | 5,52 | 1,94 | 0,022 |
| Pasto | 17,01 | 0,089 | 12,25 | 0,09 | 65,10 | 0,005 | 6,27 | 0,11 | 5,00 | 2,09 | 0,029 |
| Faro | 11,62 | 0,101 | 8,35 | 0,08 | 49,07 | 0,004 | 4,63 | 0,06 | 5,00 | 1,50 | 0,020 |
| 407 | 17,20 | 0,190 | 11,32 | 0,15 | 53,88 | 0,005 | 5,62 | 0,07 | 4,91 | 2,00 | 0,023 |
| Tango | 16,17 | 0,193 | 10,87 | 0,16 | 48,76 | 0,006 | 5,67 | 0,08 | 4,67 | 1,99 | 0,022 |
| Standort Aholfing, Saattermin 2 | | | | | | | | | | | |
| Puno | 16,66 | 0,090 | 8,14 | 0,08 | 42,87 | 0,004 | 3,34 | 0,06 | 3,38 | 1,61 | 0,017 |
| Carmen | 18,25 | 0,089 | 7,19 | 0,09 | 44,59 | 0,005 | 4,05 | 0,06 | 5,37 | 1,86 | 0,024 |
| Pasto | 16,84 | 0,156 | 9,59 | 0,13 | 64,03 | 0,005 | 5,10 | 0,12 | 4,37 | 2,12 | 0,027 |
| Faro | 13,74 | 0,061 | 6,71 | 0,07 | 43,72 | 0,005 | 3,89 | 0,07 | 4,96 | 1,52 | 0,022 |
| 407 | 17,18 | 0,239 | 9,00 | 0,18 | 47,46 | 0,005 | 5,15 | 0,11 | 5,08 | 1,81 | 0,024 |

*Stickstoff, ¹Aluminium, ²Calcium, ³Eisen, ⁴Kalium, ⁵Kupfer, ⁶Magnesium, ⁷Mangan, ⁸Phosphor, ⁹Schwefel, ¹⁰Zink

Tabelle 39: Stickstoff- und Mineralstoffanalysen 2013 von Buchweizen- und Quinoasorten sowie der Referenzen getrennt nach Standort und Saattermin

| | N* | Al ¹ | Ca ² | Fe ³ | K ⁴ | Cu ⁵ | Mg ⁶ | Mn ⁷ | P ⁸ | S ⁹ | Zn ¹⁰ |
|------------|----------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|------------------|
| Sorte | in g/kg Trockenmasse | | | | | | | | | | |
| Buchweizen | Standort Aholting, Saattermin 1 | | | | | | | | | | |
| Lifago | 19,01 | 0,281 | 13,54 | 0,22 | 24,21 | 0,006 | 3,53 | 0,08 | 4,34 | 1,55 | 0,026 |
| Spacinska | 20,23 | 0,170 | 12,73 | 0,14 | 24,46 | 0,006 | 3,92 | 0,08 | 5,01 | 1,71 | 0,027 |
| Kora | 16,22 | 0,298 | 15,08 | 0,29 | 27,46 | 0,006 | 4,48 | 0,09 | 4,00 | 1,78 | 0,024 |
| Billy | 16,60 | 0,239 | 15,53 | 0,19 | 27,19 | 0,006 | 3,72 | 0,09 | 4,82 | 1,71 | 0,023 |
| Oberon | 20,25 | 0,404 | 15,40 | 0,29 | 26,05 | 0,007 | 4,60 | 0,09 | 4,62 | 1,93 | 0,029 |
| Quinoa | | | | | | | | | | | |
| Zeno | 18,05 | 0,217 | 15,19 | 0,19 | 50,24 | 0,006 | 4,35 | 0,10 | 4,99 | 2,48 | 0,026 |
| Puno | 15,75 | 0,172 | 16,09 | 0,15 | 52,91 | 0,004 | 4,85 | 0,10 | 3,72 | 2,42 | 0,019 |
| Faro | 16,32 | 0,097 | 11,42 | 0,12 | 58,76 | 0,005 | 4,91 | 0,14 | 5,30 | 2,27 | 0,027 |
| 407 | 14,32 | 0,107 | 13,98 | 0,11 | 52,66 | 0,004 | 5,02 | 0,11 | 3,91 | 2,17 | 0,022 |
| Tango | 16,97 | 0,154 | 14,48 | 0,16 | 55,69 | 0,005 | 5,99 | 0,14 | 4,89 | 2,68 | 0,024 |
| W.-Gras | 28,16 | 0,424 | 16,92 | 0,38 | 37,26 | 0,008 | 3,78 | 0,10 | 5,96 | 2,64 | 0,029 |
| S.-Roggen | 19,48 | 0,254 | 4,89 | 0,21 | 23,44 | 0,005 | 1,20 | 0,04 | 3,51 | 1,80 | 0,022 |
| Buchweizen | Standort Aholting, Saattermin 2 | | | | | | | | | | |
| Spacinska | 19,45 | 0,546 | 14,58 | 0,40 | 19,34 | 0,006 | 3,66 | 0,09 | 4,65 | 1,67 | 0,027 |
| Quinoa | | | | | | | | | | | |
| 407 | 19,85 | 0,154 | 11,67 | 0,16 | 54,23 | 0,006 | 4,44 | 0,11 | 5,47 | 2,52 | 0,029 |
| W.-Gras | 26,85 | 0,190 | 7,72 | 0,20 | 39,19 | 0,007 | 2,34 | 0,06 | 4,94 | 2,18 | 0,030 |
| S.-Roggen | 21,23 | 0,165 | 6,13 | 0,17 | 18,70 | 0,006 | 1,37 | 0,04 | 4,05 | 2,05 | 0,029 |
| Buchweizen | Standort Straubing, Saattermin 1 | | | | | | | | | | |
| Lifago | 16,86 | 0,503 | 13,94 | 0,36 | 22,43 | 0,007 | 4,21 | 0,12 | 3,94 | 1,43 | 0,024 |
| Spacinska | 14,55 | 0,519 | 17,65 | 0,36 | 24,74 | 0,007 | 5,23 | 0,12 | 3,23 | 1,70 | 0,023 |
| Kora | 16,12 | 0,643 | 17,59 | 0,42 | 23,87 | 0,007 | 5,90 | 0,13 | 3,00 | 1,81 | 0,023 |
| Billy | 18,42 | 0,345 | 16,91 | 0,23 | 22,08 | 0,008 | 4,44 | 0,14 | 3,59 | 1,73 | 0,021 |
| Oberon | 16,79 | 0,713 | 15,99 | 0,47 | 23,02 | 0,007 | 5,08 | 0,11 | 3,04 | 1,82 | 0,022 |
| Quinoa | | | | | | | | | | | |
| Zeno | 21,79 | 0,213 | 16,24 | 0,20 | 56,35 | 0,008 | 5,89 | 0,10 | 4,97 | 3,16 | 0,035 |
| Puno | 20,90 | 0,260 | 17,29 | 0,21 | 46,78 | 0,005 | 6,01 | 0,10 | 3,10 | 2,62 | 0,020 |
| Faro | 16,97 | 0,291 | 14,30 | 0,23 | 52,22 | 0,006 | 5,10 | 0,11 | 4,01 | 2,65 | 0,025 |

| | N* | Al ¹ | Ca ² | Fe ³ | K ⁴ | Cu ⁵ | Mg ⁶ | Mn ⁷ | P ⁸ | S ⁹ | Zn ¹⁰ |
|-----------------|----------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|------------------|
| Sorte | in g/kg Trockenmasse | | | | | | | | | | |
| 407 | 16,74 | 0,575 | 17,62 | 0,43 | 53,06 | 0,007 | 6,45 | 0,14 | 3,46 | 2,67 | 0,026 |
| Tango | 19,35 | 0,373 | 24,77 | 0,30 | 60,83 | 0,007 | 8,14 | 0,17 | 4,20 | 3,46 | 0,027 |
| W.-Gras | 28,82 | 0,554 | 9,97 | 0,43 | 38,67 | 0,010 | 2,94 | 0,07 | 4,19 | 2,51 | 0,028 |
| S.- Roggen | 20,47 | 1,251 | 4,46 | 0,84 | 19,66 | 0,007 | 1,44 | 0,05 | 3,11 | 2,07 | 0,030 |
| Buch- weizen | Standort Straubing, Saattermin 2 | | | | | | | | | | |
| Spacinska | 20,85 | 0,382 | 16,22 | 0,28 | 18,88 | 0,008 | 5,44 | 0,13 | 4,04 | 2,05 | 0,027 |
| Quinoa | | | | | | | | | | | |
| 407 | 23,90 | 0,306 | 12,64 | 0,27 | 48,32 | 0,008 | 5,45 | 0,09 | 4,91 | 2,73 | 0,028 |
| W.-Gras | 29,25 | 0,232 | 5,94 | 0,23 | 46,81 | 0,012 | 2,13 | 0,06 | 5,21 | 2,69 | 0,030 |
| S.- Roggen | 25,25 | 0,199 | 6,82 | 0,19 | 28,45 | 0,008 | 1,88 | 0,04 | 3,96 | 2,26 | 0,026 |

*Stickstoff, ¹Aluminium, ²Calcium, ³Eisen, ⁴Kalium, ⁵Kupfer, ⁶Magnesium, ⁷Mangan, ⁸Phosphor, ⁹Schwefel, ¹⁰Zink

Methangehalte, Methanausbeute*Tabelle 40: Methangehalt von ausgesuchten Buchweizen- und Quinoasorten aus Straubing getrennt nach Jahr, Sorte und Saattermin*

| Art | Sorte | Jahr | Saattermin | Methangehalt % | Methanausbeute NI/kg oTM | |
|------------|------------|------|--------------|----------------|--------------------------|-----|
| Buchweizen | Spacinska | 2011 | Saattermin 1 | 51,4 | 241 | |
| | Spacinska | 2011 | Saattermin 2 | 52,2 | 285 | |
| | Spacinska | 2012 | Saattermin 1 | 52,8 | 265 | |
| | Spacinska | 2012 | Saattermin 2 | 51,9 | 270 | |
| | Spacinska | 2013 | Saattermin 1 | 52,9 | 259 | |
| | Spacinska | 2013 | Saattermin 2 | 51,5 | 259 | |
| | Kora | 2011 | Saattermin 1 | 53,2 | 258 | |
| | Kora | 2011 | Saattermin 2 | 52,2 | 256 | |
| | Kora | 2012 | Saattermin 1 | 52,8 | 292 | |
| | Kora | 2012 | Saattermin 2 | 52,3 | 246 | |
| | Kora | 2013 | Saattermin 1 | 52,8 | 277 | |
| | Kora | 2013 | Saattermin 2 | 51,9 | 287 | |
| | Tussi | 2012 | Saattermin 1 | 51,7 | 272 | |
| | Lifago | 2013 | Saattermin 1 | 51,9 | 273 | |
| | Billy | 2013 | Saattermin 1 | 52,3 | 284 | |
| | Mittelwert | | | | 52,2 | 268 |
| Quinoa | 407 | 2011 | Saattermin 1 | 53,7 | 301 | |
| | 407 | 2011 | Saattermin 2 | 53,0 | 306 | |
| | 407 | 2012 | Saattermin 1 | 54,0 | 303 | |
| | 407 | 2012 | Saattermin 2 | 54,1 | 324 | |
| | 407 | 2013 | Saattermin 1 | 54,3 | 336 | |
| | 407 | 2013 | Saattermin 2 | 53,8 | 248 | |
| | Tango | 2011 | Saattermin 1 | 53,6 | 292 | |
| | Tango | 2011 | Saattermin 2 | 54,1 | 301 | |
| | Tango | 2012 | Saattermin 1 | 53,9 | 324 | |
| | Tango | 2012 | Saattermin 2 | 54,5 | 294 | |
| | Tango | 2013 | Saattermin 1 | 54,1 | 324 | |
| | Tango | 2013 | Saattermin 2 | 54,3 | 331 | |
| | Puno | 2012 | Saattermin 1 | 54,7 | 365 | |
| | Zeno | 2013 | Saattermin 1 | 54,1 | 316 | |
| | Faro | 2013 | Saattermin 1 | 53,9 | 309 | |
| | Mittelwert | | | | 54,0 | 311 |

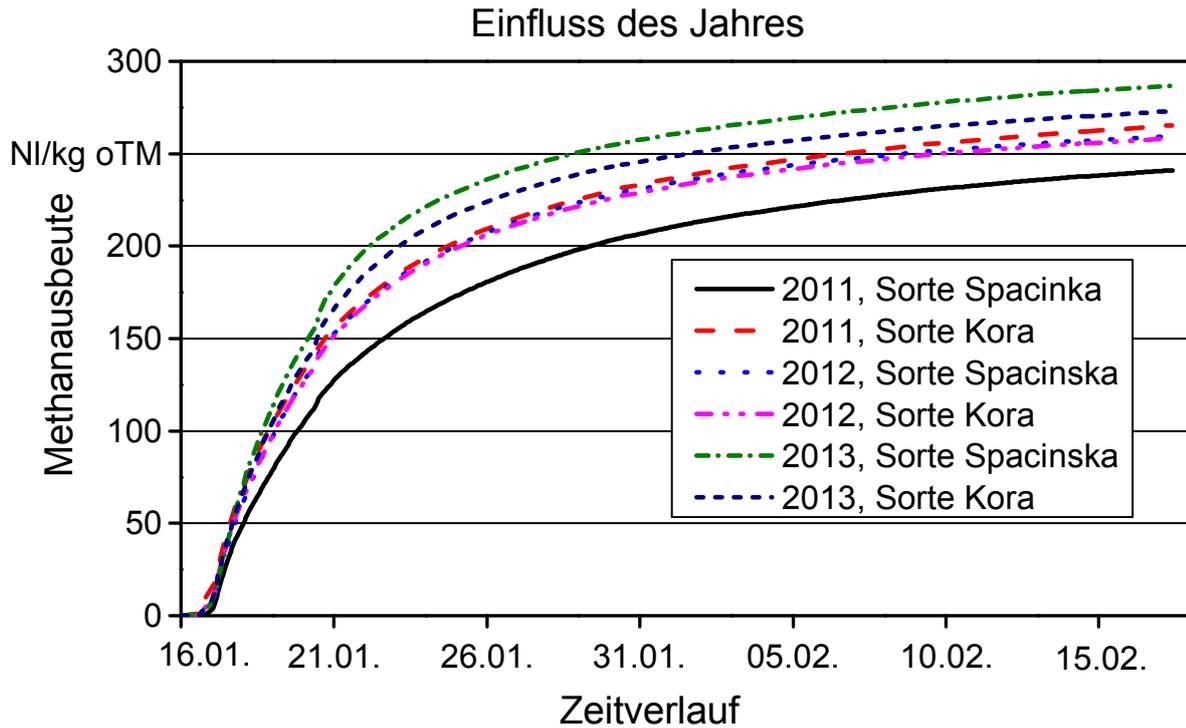


Abbildung 40: Einfluss des Jahres auf den Zeitverlauf der Methanausbeute in NI/kg oTM der Buchweizensorten Spacinka und Kora

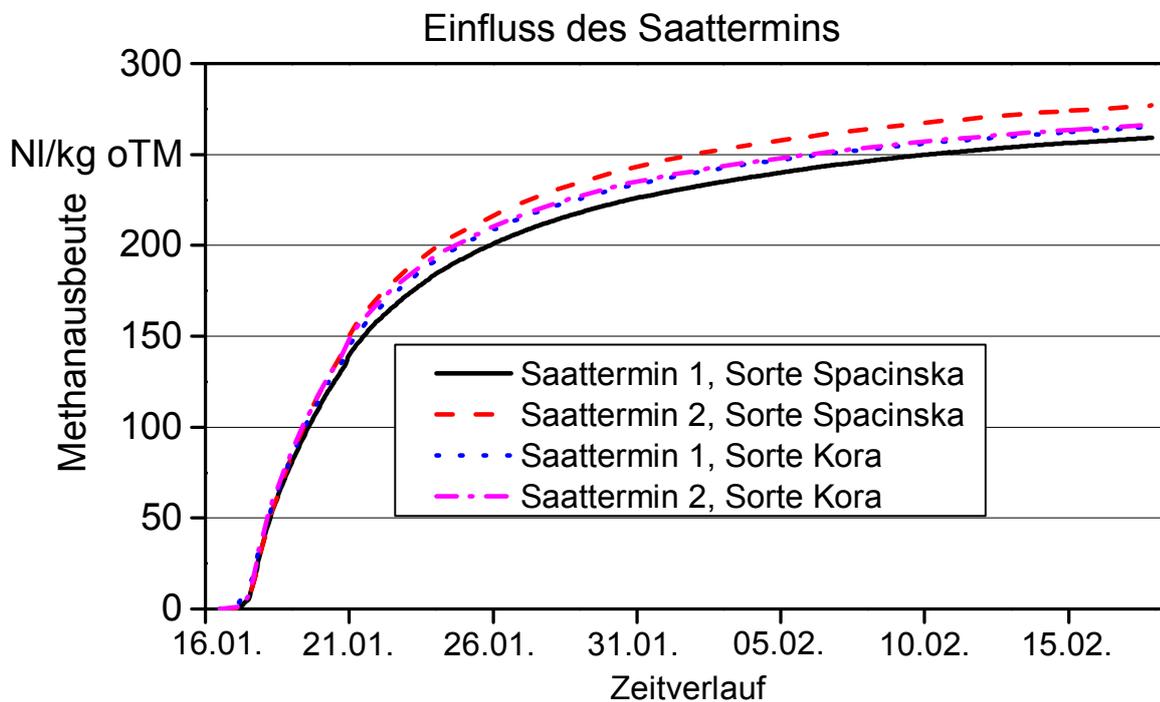


Abbildung 41: Einfluss des Saattermins auf den Zeitverlauf der Methanausbeute in NI/kg oTM der Buchweizensorten Spacinka und Kora

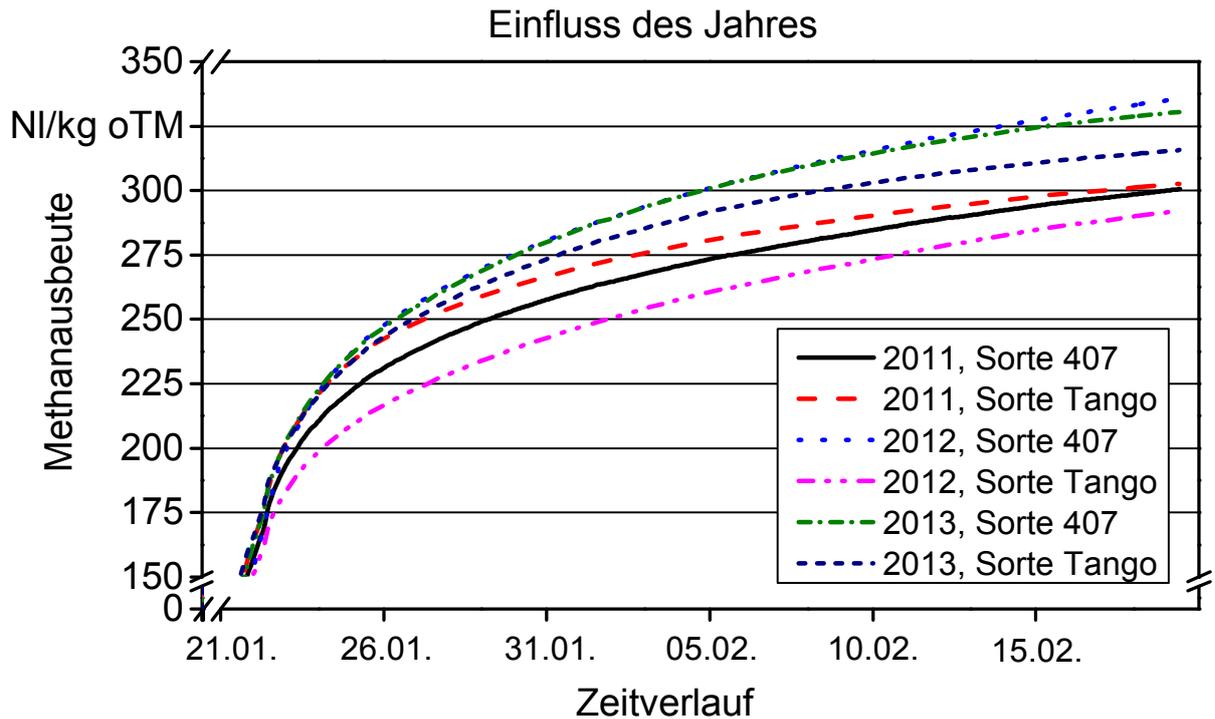


Abbildung 42: Einfluss des Jahres auf den Zeitverlauf der Methanausbeute in NI/kg oTM der Quinoasorten 407 und Tango

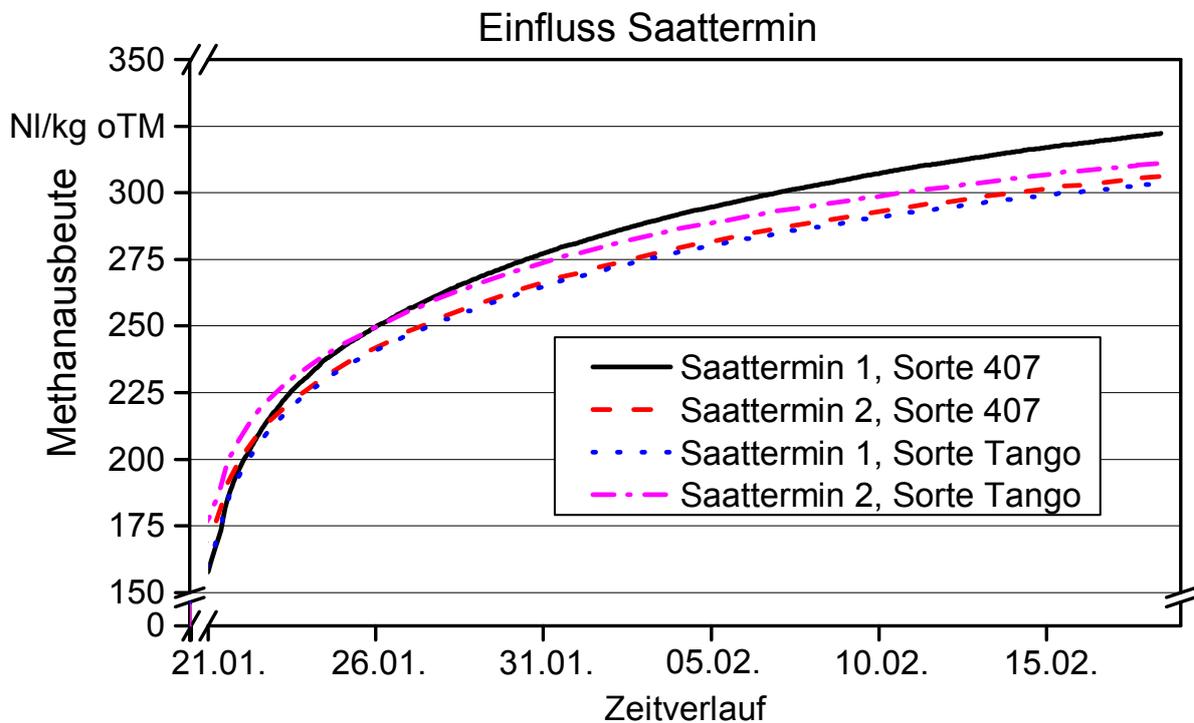


Abbildung 43: Einfluss des Saattermins auf den Zeitverlauf der Methanausbeute in NI/kg oTM der Quinoasorten 407 und Tango

¹³C-Isotopenanalysen

Tabelle 41: ¹³C-Isotopenanalyse von Buchweizen- und Quinoasorten sowie der Referenzen für den Standort Aholting getrennt nach Jahr. Unterschiedliche Kleinbuchstaben innerhalb der Art zeigen signifikante Unterschiede an. Großbuchstaben stehen für signifikante Unterschiede zwischen Arten innerhalb des Jahres ($p < 0,05$, t-Test)

| | Mittelwert | Standardfehler | Mittelwert | Standardfehler |
|------------|------------|----------------|------------|----------------|
| Buchweizen | 2012 | | 2013 | |
| Lifago | -27,95 a | 0,7 | -26,97 a | 0,3 |
| Spacinska | -27,93 a | 0,7 | -26,74 a | 0,5 |
| Kora | -28,79 a | 0,8 | -26,81 a | 0,5 |
| Tussi | -28,02 a | 0,0 | -26,67 a | 0,3 |
| Lileja | -28,48 a | 0,6 | -27,20 a | 1,0 |
| Mittelwert | -28,24 B | 0,2 | -26,88 A | 0,1 |
| Quinoa | | | | |
| Zeno | -27,88 a | 0,2 | -27,66 a | 0,4 |
| Puno | -27,38 a | 0,0 | -27,96 a | 0,4 |
| Faro | -27,76 a | 0,0 | -27,65 a | 0,2 |
| 407 | -27,68 a | 0,2 | -27,70 a | 0,3 |
| Tango | -27,39 a | 0,2 | -28,00 a | 0,1 |
| Mittelwert | -27,62 A | 0,1 | -27,79 B | 0,1 |
| W.-Gras | -28,02 AB | 0,0 | -27,72 B | 0,0 |
| S.-Roggen | -28,68 B | 0,1 | -27,13 AB | 0,0 |

Ausgewählte Bilder aus den Parzellenversuchen

Abbildung 44: Etablierte Quinoa- (Vordergrund) und Buchweizenparzellen (Hintergrund)



Abbildung 45: Wuchsunterschiede von Einjährigem Weidelgras (Mitte) zu Quinoa (links) und Buchweizen (rechts) im Jahr 2012

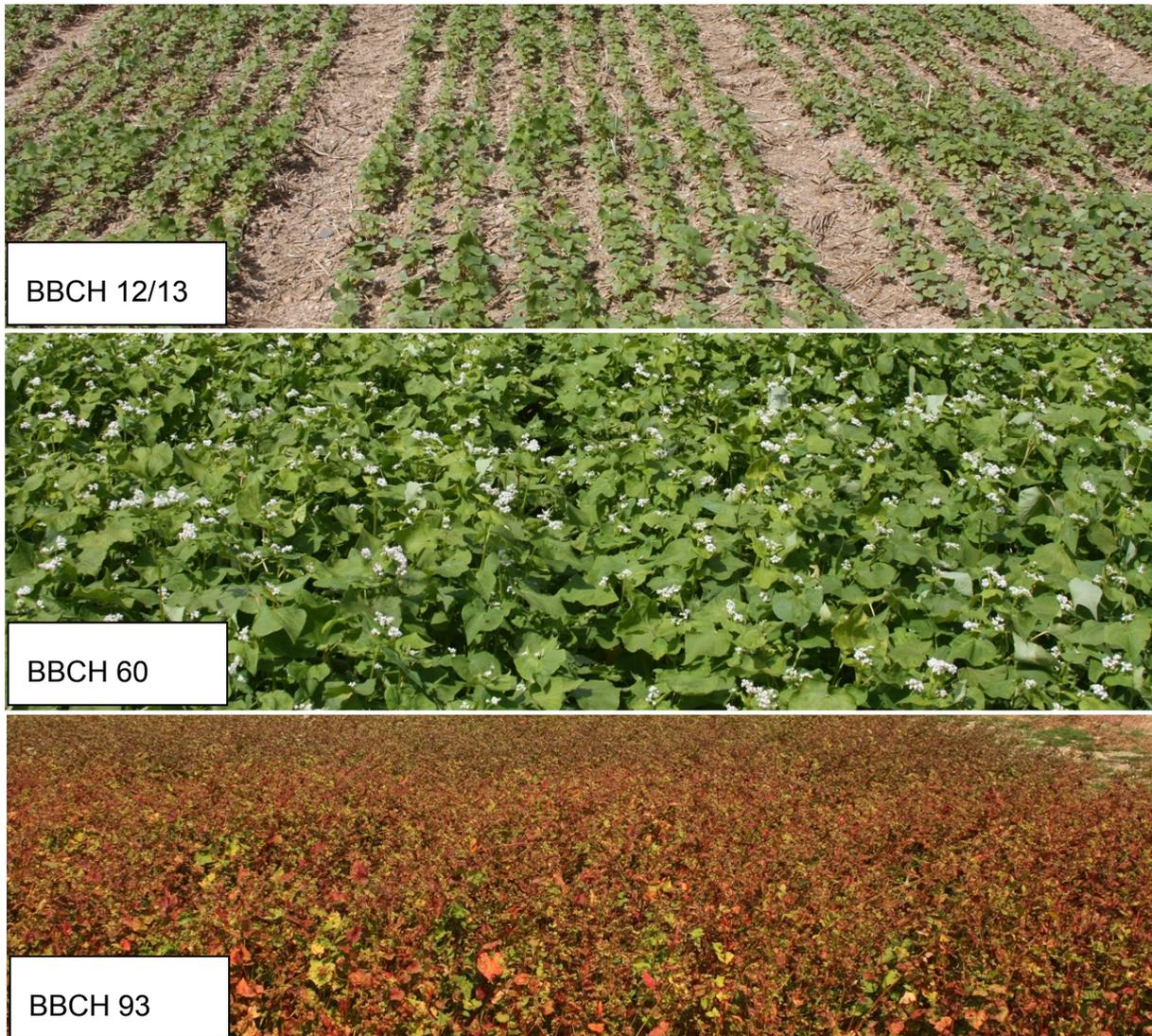


Abbildung 46: Dünner Bestand bei Sommerroggen durch eine geringe Bestockung

Buchweizen



Abbildung 47: Unterschied Tatarischer Buchweizen grünblühend (links), Gewöhnlicher Buchweizen rosablühend (Mitte), Gewöhnlicher Buchweizen weißblühend (rechts)



*Abbildung 48: Bestandsentwicklung bei Buchweizen getrennt nach BBCH-Stadien
(BBCH 12/13: 2–3 Blattstadium, BBCH 60: Beginn Blüte, BBCH 93: Mutterpflanze fast vollständig abgestorben)*



*Abbildung 49: Oben: Lagerausprägung bei Buchweizen, Mitte: Trockenstress bei Buchweizen ersichtlich durch die eingerollten und schlaffen Blätter, unten: typische Rotstängeligkeit des Gewöhnlichen Buchweizens (*Fagopyrum esculentum*)*

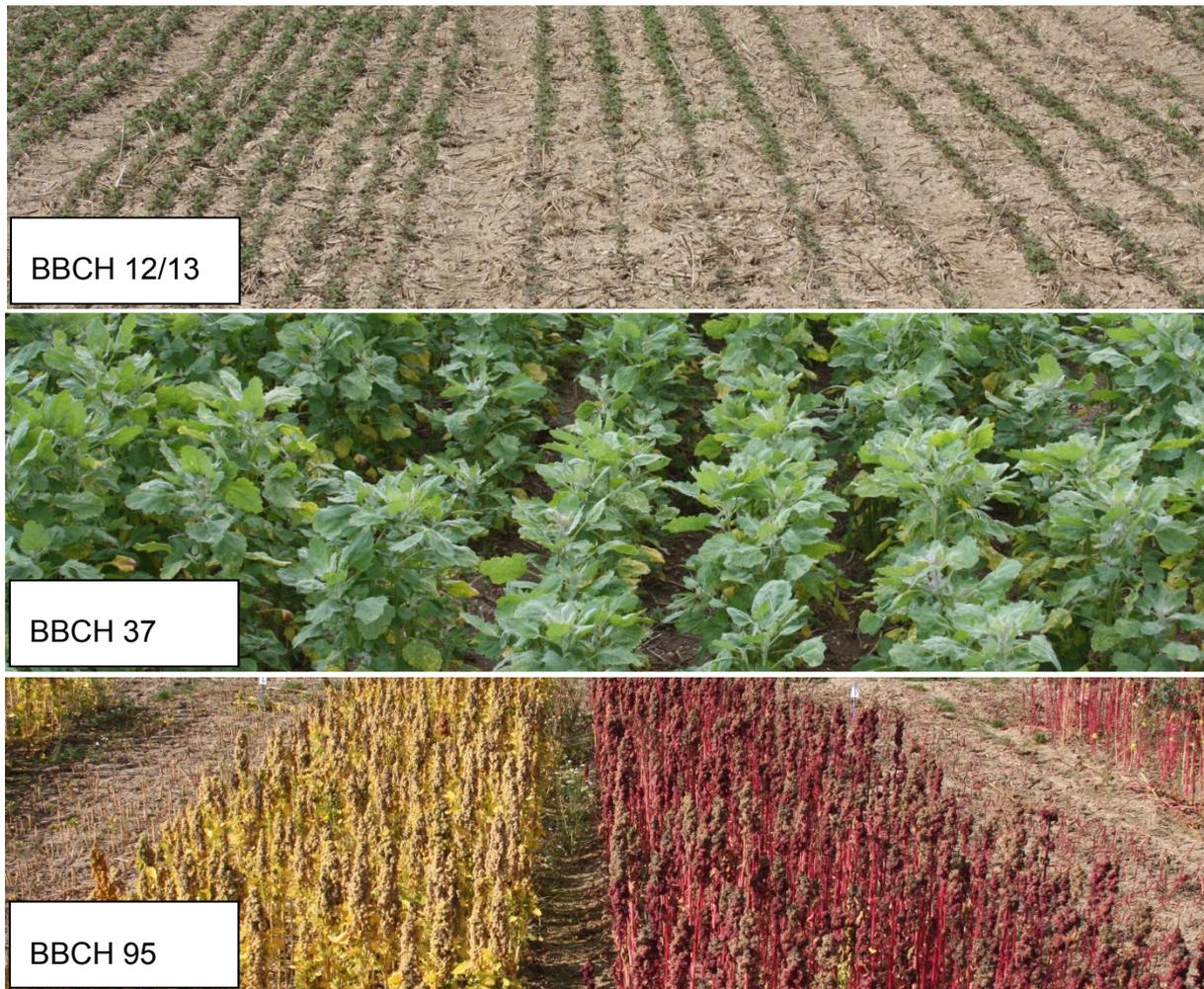
Quinoa

Abbildung 50: Bestandsentwicklung bei Quinoa getrennt nach BBCH-Stadien (BBCH 12/13: 2–3 Blattstadium, BBCH 37: Blütenknospen beginnen Pyramide zu bilden, BBCH 95: Stängel fast vollständig entfärbt), oberstes Bild zeigt die Reihenabstände 14 cm und 30 cm



Abbildung 51: Unterschied der Sorten Zeno (links), Faro (Mitte) und 407 (rechts)



Abbildung 52: Oben und Mitte: Farbenfrohe Fruchtstände von Quinoasorten, unten: Sorte Zeno färbt ihre Fruchtstände während der Abreife rot

Berichte aus dem TFZ

Bisher erschienene Ausgaben der Schriftenreihe des Technologie- und Förderzentrums:

| | |
|----|---|
| 1 | Qualitätssicherung bei der dezentralen Pflanzenölerzeugung für den Nicht-Nahrungsbereich Projektphase 1: Erhebung der Ölqualität und Umfrage in der Praxis |
| 2 | Erprobung der Brennwertechnik bei häuslichen Holzhackschnitzelheizungen mit Sekundärwärmetauscher |
| 3 | Daten und Fakten zur dezentralen Ölgewinnung in Deutschland |
| 4 | Untersuchungen zum Feinstaubausstoß von Holzzentralheizungsanlagen kleiner Leistung |
| 5 | Qualität von kaltgepresstem Rapsöl als Speiseöl und Festlegung eines Qualitätsstandards |
| 6 | Entwicklung einer Prüfmethode zur Bestimmung der Cetanzahl von Rapsölkraftstoff |
| 7 | Untersuchung der Wechselwirkungen zwischen Rapsöl als Kraftstoff und dem Motorenöl in pflanzenöлтаuglichen Motoren |
| 8 | Wärmegewinnung aus Biomasse – Begleitmaterialien zur Informationsveranstaltung |
| 9 | Maize as Energy Crop for Combustion – Agricultural Optimisation of Fuel Supply |
| 10 | Staubemissionen aus Holzfeuerungen – Einflussfaktoren und Bestimmungsmethoden |
| 11 | Rationelle Scheitholzbereitstellungsverfahren |
| 12 | Qualitätssicherung bei der dezentralen Pflanzenölerzeugung für den Nicht-Nahrungsbereich – Technologische Untersuchungen und Erarbeitung von Qualitätssicherungsmaßnahmen |
| 13 | Getreidekörner als Brennstoff für Kleinfeuerungen – Technische Möglichkeiten und Umwelteffekte |
| 14 | Mutagenität der Partikelemissionen eines mit Rapsöl- und Dieselmotoren betriebenen Traktors |
| 15 | Befragung von Betreibern dezentraler Ölsaatenverarbeitungsanlagen |
| 16 | Schnellbestimmung des Wassergehaltes im Holzscheit |
| 17 | Untersuchungen zum Einsatz rapsölbetriebener Traktoren beim Lehr-, Versuchs- und Fachzentrum für Ökologischen Landbau und Tierhaltung Kringell |
| 18 | Miscanthus als nachwachsender Rohstoff – Ergebnisse aus bayerischen Forschungsarbeiten |
| 19 | Miscanthus: Anbau und Nutzung – Informationen für die Praxis |
| 20 | Prüfung der Eignung von Verfahren zur Reduktion ablagerungs- und aschebildender Elemente in Rapsölkraftstoff bei der dezentralen Erzeugung |

| | |
|----|---|
| 21 | Kleine Biomassefeuerungen – Markt Betrachtungen, Betriebsdaten, Kosten und Wirtschaftlichkeit |
| 22 | Partikelemissionen aus Kleinfeuerungen für Holz und Ansätze für Minderungsmaßnahmen |
| 23 | Bewertung kostengünstiger Staubabscheider für Einzelfeuerstätten und Zentralheizungskessel |
| 24 | Charakterisierung von Holzbriketts |
| 25 | Additivierung von Rapsölkraftstoff – Auswahl der Additive und Überprüfung der Wirksamkeit |
| 26 | Status quo der dezentralen Ölgewinnung – bundesweite Befragung |
| 27 | Entwicklung einer Siloabdeckung aus nachwachsenden Rohstoffen |
| 28 | Sorghumhirse als nachwachsender Rohstoff – Sortenscreening und Anbau szenarien |
| 29 | Sorghum als Energiepflanze – Optimierung der Produktionstechnik |
| 30 | Ethanol aus Zuckerhirse – Gesamtkonzept zur nachhaltigen Nutzung von Zuckerhirse als Rohstoff für die Ethanolherstellung |
| 31 | Langzeiterfahrungen zum Einsatz von Rapsölkraftstoff in Traktoren der Abgasstufe I und II |
| 32 | Pflanzenöлтаugliche Traktoren der Abgasstufe IIIA – Prüfstandsuntersuchungen und Feldeinsatz auf Betrieben der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft |
| 33 | Betriebs- und Emissionsverhalten eines pflanzenöлтаuglichen Traktors mit Rapsöl, Sojaöl und Sonnenblumenöl |
| 34 | Dezentrale Ölsaatenverarbeitung 2012/2013 – eine bundesweite Befragung |
| 35 | Additivierung von Rapsölkraftstoff – Projektphase 2: Langzeit- und Prüfstandsuntersuchungen |
| 36 | Nutzer- und Brennstoffeinflüsse auf Feinstaubemissionen aus Kleinfeuerungsanlagen |
| 37 | Screening und Selektion von Amarantsorten und -linien als spurenelementreiches Biogassubstrat |
| 38 | Untersuchung der Praxistauglichkeit eines Elektrofilters für Kleinfeuerungsanlagen |
| 39 | Eignung von Buchweizen und Quinoa als späte Zweitfrüchte für die Biogasnutzung |

