

64

Berichte aus dem TFZ

# Amarant als Biogassubstrat

Selektion zur Erarbeitung  
praxistauglicher Amarantlinien  
für bayerische Standorte





**Amarant als Biogassubstrat**  
**– Selektion zur Erarbeitung praxistauglicher Amarantlinien**  
**für bayerische Standorte**





# **Amarant als Biogassubstrat**

**Selektion zur Erarbeitung praxistauglicher  
Amarantlinien für bayerische Standorte**

Lena Förster  
Andreas Trauner  
Veronika Eberl  
Stefan Brunner  
Lena Neumann  
Dr. Benedikt Sauer  
Dr. Maendy Fritz

**Berichte aus dem TFZ 64**

**Straubing, Oktober 2019**

**Titel:** Amarant als Biogassubstrat – Selektion zur Erarbeitung praxistauglicher Amarantlinien für bayerische Standorte

**Projektleiterin:** Dr. Maendy Fritz

**Autoren:** Lena Förster, Andreas Trauner, Veronika Eberl, Stefan Brunner, Lena Neumann, Dr. Maendy Fritz,  
Unterkapitel 2.4.1, 4.6, 5.1.3, 5.3, 5.4.2.5 und 5.4.3.3: Dr. Benedikt Sauer

**Mit Zusammenfassung (Seiten130–131) aus:** "Amarant als spurenelementreiches Biogassubstrat: Dauererhebung im Durchflussfermenter"  
**Projektleiter:** Dr. Fabian Lichti  
**Projektbearbeiter:** Mathias Hartel, Diana Andrade, Claudia Bieloch, Dr. Anthony Callaghan, Diana Young, Dr. Michael Lebuhn, Dr. Benedikt Sauer

**Mitarbeiter:** Franz Heimler, Michael Kandler, Christian Loher, Benno Sötz, Florian Völkl

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bayerischen Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten unter dem Förderkennzeichen N/15/08 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

© 2019 Technologie- und Förderzentrum  
im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ), Straubing

Alle Rechte vorbehalten.

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

Unter Verwendung mineralölfreier Druckfarben (Mineralölanteil < 1 %) gedruckt auf chlorfreiem, recyceltem Papier aus nachhaltiger, zertifizierter Waldbewirtschaftung.

**ISSN:** 1614-1008

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

**E-Mail:** [poststelle@tfz.bayern.de](mailto:poststelle@tfz.bayern.de)

**Internet:** [www.tfz.bayern.de](http://www.tfz.bayern.de)

**Redaktion:** Lena Förster, Ulrike Ammer

**Verlag:** Eigenverlag, Technologie- und Förderzentrum

**Erscheinungsort:** Straubing

**Erscheinungsjahr:** 2019

**Gestaltung:** Lena Förster

**Fotonachweis:** Trauner (22, 23, 24, 57, 58, 59, 60, 60, 61, 62), Neumann (37, 81), Brunner (44, 51, 63, 64, 79, 115, 123), Eberl (48), Förster (115)

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>9</b>
<b>Tabellenverzeichnis.....</b>	<b>13</b>
<b>1 Einleitung.....</b>	<b>17</b>
<b>2 Stand des Wissens.....</b>	<b>19</b>
2.1 Biogasproduktion und Spurenelemente .....	19
2.2 Vorstellung und Botanik von Amarant.....	21
2.3 Amarant für die menschliche Ernährung.....	24
2.4 Potenzial von Amarant für die Biogaserzeugung .....	25
2.4.1 Spurenelemente .....	26
<b>3 Problemstellung und Zielsetzung.....</b>	<b>29</b>
<b>4 Material und Methoden .....</b>	<b>31</b>
4.1 Zuchtgarten: Screening und Selektion verschiedener Amarantlinien .....	31
4.1.1 Charakteristik der Versuchsstandorte .....	31
4.1.2 Witterungsverläufe.....	31
4.1.3 Saatgut .....	36
4.1.4 Aufbau der Zuchtgärten und Datenerhebung .....	37
4.1.4.1 Bonituren und vegetationsbegleitende Datenerhebungen .....	41
4.1.4.2 Trockensubstanzgehalt und Trockenmasseertrag .....	41
4.1.4.3 Selektion .....	42
4.2 Kreuzungen .....	43
4.3 Silageproduktion .....	45
4.4 Spurenelementaufnahme von Amarant in Abhängigkeit des Standorts .....	45
4.5 Produktionstechnische Versuche.....	46
4.5.1 Saatstärke.....	46
4.5.2 Stickstoffdüngerversuch .....	47
4.5.2.1 Analyse wertgebender und ungewollter Inhaltsstoffe.....	49
4.5.2.2 Biogas- und Methanausbeute.....	50
4.5.3 Mischanbau von Mais und Amarant .....	51
4.5.4 Durchwuchsverhalten von Amarant.....	52
4.5.5 Keimfähigkeit von Amarant nach unterschiedlichen Expositionszeiten im Fermenter .....	54
4.6 Multielementanalysen (Spurenelemente).....	54
4.6.1 Pflanzenproben .....	54
4.6.2 Bodenproben .....	55
4.7 Statistische Auswertung.....	56
<b>5 Ergebnisse und Diskussion .....</b>	<b>57</b>

<b>5.1</b>	<b>Zuchtgarten: Screening und Selektion verschiedener Amarantlinien .....</b>	<b>57</b>
5.1.1	Bestandsentwicklung im Zuchtgarten von 2015 bis 2018.....	57
5.1.2	Trockensubstanzgehalte und Trockenmasseertrag.....	64
5.1.3	Spurenelementgehalte .....	74
5.1.4	Selektion .....	76
<b>5.2</b>	<b>Kreuzungen .....</b>	<b>80</b>
<b>5.3</b>	<b>Spurenelementaufnahme von Amarant in Abhängigkeit des Standorts .....</b>	<b>82</b>
<b>5.4</b>	<b>Produktionstechnische Versuche .....</b>	<b>86</b>
5.4.1	Saatstärke .....	86
5.4.2	Stickstoffdüngerversuch .....	88
5.4.2.1	GPS-Typ zur Ernte.....	89
5.4.2.2	Korntyp zur Ernte .....	95
5.4.2.3	Batchtests .....	99
5.4.2.4	Berechnete Biogasausbeuten und Biogasertrag .....	100
5.4.2.5	Spurenelemente.....	102
5.4.2.6	Diskussion des Düngerversuchs.....	111
5.4.3	Mischanbau von Amarant und Mais.....	114
5.4.3.1	Ertragsleistung .....	115
5.4.3.2	Wertgebende Inhaltsstoffe und ihr Einfluss auf Silagequalität und Biogaspotenzial.....	116
5.4.3.3	Spurenelementgehalte .....	120
5.4.4	Durchwuchsverhalten von Amarant .....	121
5.4.5	Keimfähigkeit von Amarantsamen nach unterschiedlichen Expositionszeiten im Fermenter.....	122
<b>6</b>	<b>Einordnung in die Praxis .....</b>	<b>125</b>
	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>127</b>
	<b>Abstract .....</b>	<b>129</b>
	<b>Dauererhebung im Durchflussfermenter (Hartel <i>et al.</i>, LfL) .....</b>	<b>131</b>
	<b>Quellenverzeichnis .....</b>	<b>133</b>
	<b>Anhang .....</b>	<b>143</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Phänotypische Vielfalt im Amarant-Zuchtgarten 2015 .....	22
Abbildung 2:	Gehäckselte Biomasse verschiedener Amarantlinien .....	23
Abbildung 3:	Amarant: unbehandeltes Korn (links), gepufftes Korn (rechts).....	24
Abbildung 4:	Witterungsverlauf am Standort Straubing in der Vegetationsperiode 2015 im Vergleich zum langjährigen Mittel; Daten des Agrarmeteorologischen Messnetzwerks Bayern, LfL, Wetterstation Piering.....	34
Abbildung 5:	Witterungsverlauf am Standort Straubing in der Vegetationsperiode 2016 im Vergleich zum langjährigen Mittel; Daten des Agrarmeteorologischen Messnetzwerks Bayern, LfL, Wetterstation Piering.....	34
Abbildung 6:	Witterungsverlauf am Standort Straubing in der Vegetationsperiode 2017 im Vergleich zum langjährigen Mittel; Daten des Agrarmeteorologischen Messnetzwerks Bayern, LfL, Wetterstation Piering.....	35
Abbildung 7:	Witterungsverlauf am Standort Straubing in der Vegetationsperiode 2018 im Vergleich zum langjährigen Mittel; Daten des Agrarmeteorologischen Messnetzwerks Bayern, LfL, Wetterstation Piering.....	35
Abbildung 8:	Mit Tomatenvlies isolierte Rispe der Linie AMA 204 im Zuchtgarten 2017 .....	37
Abbildung 9:	Erzeugung von Amaranthybriden im Gewächshaus mit Elternpaaren zum Zeitpunkt der Blüte (links) und Mutterpflanze mit Samentrichter zum Zeitpunkt der Einkörnung (rechts) .....	44
Abbildung 10:	Lager im Stickstoffdüngerversuch, Korntyp 08.08.2017 .....	48
Abbildung 11:	Weender Analyse und erweiterte Weender Analyse nach van Soest, verändert nach [115].....	50
Abbildung 12:	Mischanbauversuch 13.07.2018.....	51
Abbildung 13:	Versuchsschema Durchwuchsversuch.....	53
Abbildung 14:	Verzögerter Auflauf von Amarantsämlingen im Zuchtgarten 2015.....	57
Abbildung 15:	Amarantbestand nach 60 Tagen Vegetationsdauer 2015 .....	58
Abbildung 16:	Amarantbestand kurz vor der Ernte 2015.....	59
Abbildung 17:	Verschlämmtes Saatbett im Amarant-Zuchtgarten 2016 eine Woche nach der Aussaat.....	60
Abbildung 18:	Amarantbestand nach 14 Tagen Vegetationsdauer in 2016 .....	60
Abbildung 19:	Hagelschaden an Amarantpflanzen im Jahr 2016.....	61

Abbildung 20:	Lagernder Amaranthbestand in Anlage 1 nach Regenschauer und Wind kurz vor der Ernte 2016 .....	62
Abbildung 21:	Zuchtgarten zur Ertragsfassung kurz vor Reihenschluss, 23.06.2017 .....	63
Abbildung 22:	Ungleichmäßiger Aufgang, 06.07.2018.....	64
Abbildung 23:	Trockensubstanzgehalte der im Zuchtgarten selektierten Sorten 2015 .....	65
Abbildung 24:	Verlauf des Trockensubstanzgehalts der Linie Gelber Amaranth für Silageproduktion 2015.....	66
Abbildung 25:	Trockensubstanzgehalte und Trockenmasseerträge der Linien im Zuchtgarten 2016, Anlage 1.....	67
Abbildung 26:	Trockensubstanzgehalte und Trockenmasseerträge der Linien im Zuchtgarten 2016, Anlage 2.....	68
Abbildung 27:	Verlauf des Trockensubstanzgehalts des Gelben Amaranths für Silageproduktion 2016.....	69
Abbildung 28:	Trockensubstanzgehalte und Trockenmasseerträge der Linien im Zuchtgarten 2017 .....	70
Abbildung 29:	Mittelwerte der Trockensubstanzgehalte und Trockenmasseerträge der Linien im Zuchtgarten 2018, Fehlerbalken stellen die Standardabweichung dar .....	71
Abbildung 30:	Streumatrix mit Pearson Korrelationskoeffizienten für Trockensubstanzgehalt, Frischmasseertrag sowie Trockenmasseertrag, Zuchtgarten 2018 .....	72
Abbildung 31:	Trockensubstanzgehalt und Trockenmasseertrag im Zuchtgarten 2018 .....	73
Abbildung 32:	Physiologische Cobaltgehalte der Amaranthpflanzen im Zuchtgarten über die vier Versuchsjahre .....	76
Abbildung 33:	Blick auf den Amaranth-Zuchtgarten, 07.09.2017 .....	79
Abbildung 34:	Hybridsorten H17_17 und H17_38 im Zuchtgarten 2017 .....	81
Abbildung 35:	Cobaltkonzentrationen im Gelben Amaranth auf den Standorten Rosenau und Straubing, jede Säule stellt eine einzelne Pflanze dar, von links nach rechts nach Größe sortiert.....	83
Abbildung 36:	Kaliumkonzentrationen im Gelben Amaranth auf den Standorten Rosenau und Straubing, jede Säule stellt eine einzelne Pflanze dar, von links nach rechts nach Größe sortiert.....	84
Abbildung 37:	Cadmiumkonzentrationen im Gelben Amaranth auf den Standorten Rosenau und Straubing, jede Säule stellt eine einzelne Pflanze dar, von links nach rechts nach Größe sortiert.....	85
Abbildung 38:	Nickelkonzentrationen im Gelben Amaranth auf den Standorten Rosenau und Straubing. Jede Säule stellt eine einzelne Pflanze dar, von links nach rechts nach Größe sortiert. ....	86

---

Abbildung 39: Ertragsleistung der beiden Amaranttypen im Saatstärkenversuch, Fehlerbalken zeigen Standardabweichungen .....	87
Abbildung 40: N <sub>min</sub> -Gehalt Boden für drei Bodenschichten im GPS-Typ nach Ernte, 2017 .....	89
Abbildung 41: Mittelwerte des Trockenmasseertrags und Trockensubstanzgehalts des Gelben Amarants für fünf unterschiedliche Düngestufen, unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikant unterschiedliche Gruppen, 2017 .....	90
Abbildung 42: N <sub>min</sub> -Gehalte im Boden für drei Bodenschichten im GPS-Typ nach Ernte, 2018 .....	92
Abbildung 43: Mittelwerte des Trockenmasseertrags und Trockensubstanzgehalts des Gelben Amarants für fünf unterschiedliche Düngestufen, unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikant unterschiedliche Gruppen, 2018 .....	94
Abbildung 44: N <sub>min</sub> -Gehalt im Boden für drei Bodenschichten im Korntyp nach Ernte, 2017 .....	95
Abbildung 45: N <sub>min</sub> -Gehalt im Boden für drei Bodenschichten im Korntyp nach Ernte, 2018 .....	97
Abbildung 46: Mittelwerte des Korn-Trockenmasseertrags und - Trockensubstanzgehalts des Korntyps für fünf unterschiedliche Düngestufen, unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikant unterschiedliche Gruppen, 2018 .....	98
Abbildung 47: Biogas- und Methanausbeute von Amarantlinien AMA 182 (Ganzpflanze) und AMA 186 (Stroh, ohne Korn), Düngestufe 170 kg N/ha, 2017 .....	100
Abbildung 48: Cobaltgehalt des Gelben Amarants für fünf unterschiedliche Düngestufen, unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikant unterschiedliche Gruppen, 2017 .....	103
Abbildung 49: Cobaltgehalt des Korntyps für fünf unterschiedliche Düngestufen für unterschiedliche Fraktionen der Pflanze, 2017 .....	103
Abbildung 50: Nickelgehalt des Gelben Amarants für fünf unterschiedliche Düngestufen, unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikant unterschiedliche Gruppen, 2017 .....	104
Abbildung 51: Nickelgehalt des Korntyps für fünf unterschiedliche Düngestufen für unterschiedliche Fraktionen der Pflanze, 2017 .....	105
Abbildung 52: Cadmiumgehalt des Gelben Amarants für fünf unterschiedliche Düngestufen, unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikant unterschiedliche Gruppen, 2017 .....	106
Abbildung 53: Cadmiumgehalt des Korntyps für fünf unterschiedliche Düngestufen für unterschiedliche Fraktionen der Pflanze, 2017 .....	106
Abbildung 54: Cobaltgehalt des Gelben Amarants für fünf unterschiedliche Düngestufen, unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikant unterschiedliche Gruppen, 2018 .....	107

Abbildung 55: Cobaltgehalt des Korntyps für fünf unterschiedliche Düngestufen für unterschiedliche Fraktionen der Pflanze, 2018 ..... 108

Abbildung 56: Nickelgehalt des Gelben Amarants für fünf unterschiedliche Düngestufen, unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikant unterschiedliche Gruppen, 2018 ..... 109

Abbildung 57: Nickelgehalt des Korntyps für fünf unterschiedliche Düngestufen für unterschiedliche Fraktionen der Pflanze, 2018 ..... 109

Abbildung 58: Cadmiumgehalt des Gelben Amarants für fünf unterschiedliche Düngestufen, unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikant unterschiedliche Gruppen, 2018 ..... 110

Abbildung 59: Cadmiumgehalt des Korntyps für fünf unterschiedliche Düngestufen für unterschiedliche Fraktionen der Pflanze, 2018..... 111

Abbildung 60: Misanbauversuch von links oben nach unten rechts: Amarant, Amarant und Mais (spät), Amarant und Mais, Mais, 2018..... 115

Abbildung 61: Drohnenaufnahme des Misanbauversuchs, 06.09.2018..... 115

Abbildung 62: Trockenmasseertrag und Trockensubstanzgehalt im Misanbauversuch, unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikant unterschiedliche Gruppen, Fehlerbalken stellen Standardabweichung dar, 2018 ..... 116

Abbildung 63: Inhaltsstoffe nach van Soest des Misanbaus für vier verschiedene Varianten; NDF: Neutral-Detergenz-Faser, NFC: Nicht-Faser-Kohlenhydrate, ADF: Säure-Detergenz-Faser, ADL: Säure-Detergenz-Lignin ..... 118

Abbildung 64: Amarantdurchwuchs in Zuckerrüben bei nicht wendender Bodenbearbeitung und dunklen Samenschalen, 2018 ..... 122

Abbildung 65: Gekeimte Amarantsamen im Gärrest..... 123

Abbildung 66: Keimfähigkeit der Samen zweier Amarantlinien nach 1, 3, 5, 7 und 10 Tagen Verweildauer im Biogasfermenter, AMA 234 ist schwarzkörnig, AMA 182 (Gelber Amarant) hellkörnig, unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikant unterschiedliche Gruppen, Fehlerbalken stellen Standardabweichungen dar ..... 124

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Nährstoffgehalte von Amaranth im Vergleich zu Weizen, modifiziert nach Elmadfa (2015) [36] .....	25
Tabelle 2:	Physiologische Spurenelementgehalte in der oberirdischen Trockenbiomasse, Standort Sömmerling, Südniedersachsen, verändert nach [41].....	26
Tabelle 3:	Bewertung der Witterung in den Hauptwachstumsphasen von Amaranth in den Versuchsjahren 2015 bis 2018.....	33
Tabelle 4:	Aussaat, Ernte und Probennahme Zuchtgarten .....	41
Tabelle 5:	Mutter- und Vaterlinien der erzeugten Hybride im Gewächshaus.....	43
Tabelle 6:	Übersicht Standorte, Bodenarten und Termine der Probennahmen .....	46
Tabelle 7:	Aussaat, Düngung, Ernte und Probenname im Düngeversuch.....	48
Tabelle 8:	Reihenabstände und Saatedichten sowie Saatzeitpunkte der Varianten Amaranth, Mais, A&M-früh und A&M-spät im Mischbauversuch, M steht für Mais, A steht für Amaranth .....	52
Tabelle 9:	Versuchsplan zum Durchwuchsverhalten von Amaranth .....	53
Tabelle 10:	Vergleich der mittleren Elementgehalte der Amaranthpflanzen (n = 199) im Projekt mit Mais (n = 5) .....	75
Tabelle 11:	Übersicht über das erzeugte Hybridsaatgut im Kreuzungsversuch .....	80
Tabelle 12:	Elementgehalte in den Böden der zwei Versuchsstandorte in 2017: Straubing und Rosenau .....	82
Tabelle 13:	Trockensubstanzgehalt und Trockenmasseerträge von Buchweizen und Quinoa am Standort Straubing 2016 [31] .....	88
Tabelle 14:	Stickstoffentzug GPS-Typ Düngeversuch, unterschiedliche Buchstaben weisen auf signifikante Unterschiede hin, 2017 .....	89
Tabelle 15:	Mittelwerte und Mittelwertvergleich Inhaltsstoffe im GPS-Typ, unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikant unterschiedliche Gruppen, Jahr 2017 .....	91
Tabelle 16:	$N_{\min}$ -Gehalte im Boden auf dem Schlag „Auf der Platte“ für drei Bodenschichten im Verlauf der Vegetationsperiode, Daten von Ulrich Deuter, noch nicht veröffentlicht .....	92
Tabelle 17:	Stickstoffentzug GPS-Typ-Düngeversuch, unterschiedliche Buchstaben weisen auf signifikante Unterschiede hin, 2018 .....	93
Tabelle 18:	Mittelwerte und Mittelwertvergleich Inhaltsstoffe im GPS-Typ, unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikant unterschiedliche Gruppen, 2018 .....	94
Tabelle 19:	Mittelwerte und Mittelwertvergleich der Inhaltsstoffe im Kornotyp, unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikant unterschiedliche Gruppen, 2017 .....	96

Tabelle 20:	Mittelwerte und Mittelwertvergleich der Inhaltsstoffe im Korntyp, unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikant unterschiedliche Gruppen, 2018 .....	99
Tabelle 21:	Nach Dandikas [26] errechnete Biogas- und Methanausbeuten, unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikant unterschiedliche Gruppen .....	101
Tabelle 22:	Nach Dandikas [26] errechnete Biogas- und Methanerträge mit Versuchserträgen je ha für Gelben Amarant, unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikant unterschiedliche Gruppen .....	101
Tabelle 23:	Inhaltsstoffe Maissilage und Amarantsilage nach Haag et al. (2015) [49] und Herrmann et al. (2016) [52] .....	118
Tabelle 24:	Mittelwerte und Mittelwertvergleich der Inhaltsstoffe im Mischanbauversuch, unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikant unterschiedliche Gruppen .....	120
Tabelle 25:	Errechnete Biogas- und Methanausbeuten sowie -erträge im Mischanbauversuch, unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikant unterschiedliche Gruppen, 2018 .....	120
Tabelle 26:	Mittelwerte und Mittelwertvergleich der Spurenelemente im Mischanbauversuch, unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikant unterschiedliche Gruppen .....	121
Tabelle 27:	Vor- und Nachteile von Amarant .....	126
Tabelle 28:	Versuchsaufbau der untersuchten Varianten im Durchflussversuch ....	131
Tabelle 29:	Betrachtete Linien im Screening 2015 .....	143
Tabelle 30:	Bonitur- und Ertragsergebnisse Zuchtgarten 2015, für das Folgejahr selektierte Amarantlinien .....	148
Tabelle 31:	Boniturdaten Zuchtgarten 2015, alle Amarantlinien .....	151
Tabelle 32:	Boniturergebnisse der untersuchten Amarantlinien im Zuchtgarten 2016 (Anlagen 1 und 2) .....	162
Tabelle 33:	Boniturdaten Amarantlinien Zuchtgarten Selektion 2017 .....	164
Tabelle 34:	Boniturdaten Amarantlinien Zuchtgarten Selektion 2018 .....	166
Tabelle 35:	Spurenelementgehalte Zuchtgarten 2015 .....	168
Tabelle 36:	Spurenelementgehalte Zuchtgarten 2016 .....	170
Tabelle 37:	Spurenelementgehalte Zuchtgarten 2017 .....	172
Tabelle 38:	Spurenelementgehalte Zuchtgarten 2018 .....	173
Tabelle 39:	Spurenelementgehalte Düngerversuch 2017 .....	175
Tabelle 40:	Spurenelementgehalte Düngerversuch 2018 .....	177
Tabelle 41:	Spurenelementgehalte Standortversuch 2017 .....	179
Tabelle 42:	Spurenelementgehalte Mischanbau 2018 .....	180

Tabelle 43:	Trockensubstanzgehalte und Trockenmasseerträge Zuchtgarten 2016 .....	181
Tabelle 44:	Trockensubstanzgehalte und Trockenmasseerträge Zuchtgarten 2017 .....	183
Tabelle 45:	Trockensubstanzgehalte und Trockenmasseerträge Zuchtgarten 2018 .....	185
Tabelle 46:	Ergebnisse des Batchtests 2017 .....	189
Tabelle 47:	Trockensubstanzgehalte und Trockenmasseerträge Düngerversuch 2017 .....	189
Tabelle 48:	Trockensubstanzgehalte und Trockenmasseerträge Düngerversuch 2018 .....	190
Tabelle 49:	Trockensubstanzgehalte und Trockenmasseerträge Mischanbau 2018 .....	192
Tabelle 50:	Entwicklungsstadien der Reismelde, modifiziert nach Darwinkel (1997) [27].....	193



# 1 Einleitung

In Zeiten des Klimawandels haben erneuerbare Energien immer mehr an Bedeutung gewonnen. Der Anbau von Pflanzen zur Gewinnung von Energie in Biogasanlagen kann dazu beitragen, fossile Rohstoffe zu ersetzen. Da hierbei nur Kohlenstoff freigesetzt wird, der wenige Monate zuvor von der Pflanze mittels Fotosynthese aus der Atmosphäre aufgenommen wurde, schließt sich ein kurzfristiger Kreislauf. Zudem sind fossile Energieträger endlich, bei steigendem weltweiten Energieverbrauch [56].

Die Produktion von Biogas hat seit der Verabschiedung der ersten Fassung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) im Jahr 2000 stetig zugenommen. 2017 wurden in Deutschland 29,32 Mrd. Kilowattstunden Strom aus Biogas produziert und 13,99 Mrd. Kilowattstunden Wärme [10].

Biogasproduktion aus Energiepflanzen basiert größtenteils auf Mais, was die Nachhaltigkeit der Biogasproduktion infrage stellt. Um Probleme, die durch einen hohen Maisanteil in der Fruchtfolge entstehen, wie vermehrte Nährstoffverluste und zunehmender Krankheitsdruck, zu vermeiden und die Diversität in der Agrarlandschaft zu erhöhen, werden alternative Kulturen zur Biomasseproduktion gesucht. Eine Limitierung des Einsatzes von Maissubstrat nach EEG 2017 [15] macht den Anbau neuer Kulturpflanzen unumgänglich.

Tatsächlich können sich zusätzliche Kulturen positiv auf den Gärverlauf auswirken. In allein mit Mais betriebenen Anlagen kann es zu Mangelernährung der Fermenterbakterien kommen, da Mais einen sehr geringen Spurenelementgehalt hat [4]. Ein Mangel an einem einzelnen Spurenelement stellt bereits einen wachstumslimitierenden Faktor dar. In der Folge führt dieses eingeschränkte Wachstum der Mikroorganismen zu einer unzureichenden Umsetzung des Substrats und schließlich zu erheblichen Einbußen bei der Biogasausbeute [40]. Eine Mischung von Biogassubstraten unterschiedlicher Kulturen kann zur Optimierung der Spurenelementversorgung der Mikroorganismen im Fermenter beitragen [4].

Als interessante Kultur in vielerlei Hinsicht zeigt sich der Amarant. Amarant hat sowohl ein hohes Ertragspotenzial [6] [43] [65] [47] [20] als auch hohe Spurenelementgehalte, wie ein Vorprojekt im Jahr 2013 zeigen konnte. Die Kultur hat bei Versuchen gezeigt, dass sie im Vergleich zu anderen Pflanzen deutlich höhere Konzentrationen der für die Methan produzierenden Mikroorganismen essenziellen Elemente Cobalt und Nickel aufweist [35]. Die Zugabe von Amarant zu Maissubstrat könnte somit die Prozessstabilität im Biogasfermenter unterstützen.



## 2 Stand des Wissens

### 2.1 Biogasproduktion und Spurenelemente

Mit einem Anteil von 72 % der verwendeten Rohstoffpflanzen 2015 in Deutschland [101] stellt der Silomais die dominierende Fruchtart in der Biogasproduktion dar, da dieser sowohl ein hohes Ertragspotenzial als auch ein hohes Methanbildungsvermögen aufweist und als günstiges Substrat zur Verfügung steht. Es gibt jedoch eine Reihe von Gründen, die Dominanz des Maises zu verringern. Daher muss es Ziel sein, mit der Gestaltung von ausgewogenen Fruchtfolgen die Biodiversität in der Agrarlandschaft zu verbessern und bei enger Fruchtfolgegestaltung verstärkt auftretendem Schädlingsdruck (z. B. Westlicher Maiswurzelbohrer) im Sinne der guten fachlichen Praxis auf diese Weise entgegenzuwirken.

Im Zuge des Klimawandels wird die Zunahme extremer Witterungsereignisse, wie Starkregen und Phasen ausgeprägter Trockenheit, erwartet [17] [57] [48]. Daher rücken die Aufrechterhaltung bzw. Verbesserung der Bodengesundheit [17] [48] und damit die Sicherung des Ertragspotenzials der Ackerflächen in den Fokus, wobei der Humusgehalt des Bodens eine entscheidende Rolle spielt [17]. Enge Silomaisfruchtfolgen bergen Risiken, wie eine Verschlechterung der Bodenstruktur und eine Verringerung des Humusgehalts. Gerade die humuszehrende Wirkung von Silomais sollte durch entsprechende Anbaumaßnahmen und ausgewogene Fruchtfolgegestaltung ausgeglichen werden [17].

Die Herstellung von Biogas aus pflanzlicher Biomasse ist ein mikrobiologischer Prozess. Organische Substanz verschiedener Herkunft wird dabei unter anaeroben Bedingungen, d. h. in Abwesenheit von Sauerstoff, überwiegend in das nutzbare Methan ( $\text{CH}_4$ ) sowie Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ) abgebaut. Des Weiteren fallen Reststoffe wie Ammoniak und Schwefelwasserstoff an [102]. Der Abbau der organischen Masse erfolgt in unterschiedlichen Schritten, die insofern voneinander abhängig sind, als ein Schritt den Ausgangsstoff für den nächsten produziert. Bei den verschiedenen Einzelreaktionen im Biogasfermenter sind jeweils unterschiedliche Bakterien und Archaeen beteiligt [80].

Im ersten Schritt (Hydrolyse) werden vor allem komplexere Verbindungen aus den Stoffgruppen der Kohlenhydrate, Proteine und Fette aufgespalten. Im folgenden Schritt der Acidogenese (Versäuerung) werden aus den Ausgangsstoffen der Hydrolyse einfache Bausteine wie Zucker, Fettsäuren und Aminosäuren aufgebaut. In der dritten Phase, der Acetogenese (Essigsäurebildung), entsteht überwiegend Essigsäure, aber auch Wasserstoff und Kohlendioxid. Hierfür sind acetogene Mikroorganismen verantwortlich. Im letzten, entscheidenden Schritt der Methanbildung (Methanogenese) wird die Essigsäure in Methan und Kohlenstoffdioxid umgewandelt. Die Essigsäure dient dabei als Nahrungsmittel für die methanogenen Archaeen [102].

Silomais ist sehr arm an den für die Methanproduktivität wichtigen Spurenelementen Cobalt und Nickel [68] [93]. Bei einer ausschließlichen Fütterung der Biogasanlage mit Maissubstrat (sogenannte Monofermentation) tritt somit ein Spurenelementmangel auf. Dies zeigt sich typischerweise in der Hemmung der Methanogenese. Erkennbar ist diese

Reaktion durch eine Versäuerung des Fermenterinhalt [64], da die Essigsäure nicht von den methanogenen Archaeen in Biogas umgesetzt werden kann. Neben den Makronährstoffen aus Kohlenhydraten, Proteinen und Fetten benötigen die Mikroorganismen, die bei der Biogassynthese beteiligt sind, für einen funktionfähigen Stoffwechsel auch Mikronährstoffe wie Spurenelemente und Vitamine [40]. Dabei werden die Elemente Eisen, Mangan, Cobalt, Nickel, Zink, Molybdän, Wolfram und Selen immer wieder genannt [29] [62]. Ein Mangel an einem einzelnen Spurenelement stellt bereits einen wachstums-limitierenden Faktor dar. In der Folge führt dieses eingeschränkte Wachstum der Mikroorganismen zu einer unzureichenden Umsetzung des Substrats und schließlich zu erheblichen Einbußen bei der Biogasausbeute [42].

Vor allem für die methanogenen Archaeen sind Spurenelemente lebensnotwendig. Insbesondere Cobalt und Nickel [81] [42] [103] haben sich für die im Prozess der Methanogenese beteiligten Mikroorganismen als essenziell erwiesen. Da Nickel und Cobalt häufig nicht in ausreichender Konzentration vorliegen, stellen diese beiden Spurenelemente den limitierenden Faktor im Biogasprozess dar [62]. Eine verminderte Biogasausbeute kann dann zu finanziellen Einbußen und verminderten Umweltleistungen durch suboptimale Gewinnung von Biogasstrom und -wärme führen.

Weitere wichtige Elemente für Bakterien im Biogasprozess sind Molybdän, Eisen, Kupfer, Mangan und Natrium [81]. Diese Mikronährstoffe sind Bausteine von Enzymen, die bestimmte Stoffwechselvorgänge im Abbau der Biomasse durchführen [102]. Um eine ausreichende Konzentration von Spurenelementen im Fermenter einzustellen, ist jedoch nicht nur die Menge an den Spurenelementen im Fermenter entscheidend, sondern auch deren Verfügbarkeit.

Essenzielle Spurenelemente gelangen in der Regel durch das zugeführte Biogassubstrat in den Fermenter. Bei Verwendung spurenelementarmer Substrate wie Mais, Verwendung von nahezu nur einer Pflanzenart als Biogassubstrat oder Verzicht auf Gülle im Fermenter fehlen in der Regel die für eine optimale Biogasausbeute notwendigen Spurenelemente [54] [64] [72]. Eine manuelle Zugabe von Hilfsstoffen oder Spurenelementen kann demzufolge notwendig sein, um einem Mangel entgegenzuwirken. Lebuhn und Effenberger (2012) nennen Richtwerte für Spurenelementkonzentrationen für einen effizienten Biogasprozess mit nachwachsenden Rohstoffen [69]. Eine andere Möglichkeit, für eine ausreichende Spurenelementversorgung zu sorgen, besteht darin, mehrere verschiedene Pflanzenarten als Substratlieferanten zu verwenden, und zwar solche, die dem Mais bezüglich der Aufnahme von Spurenelementen überlegen sind [96]. Neben der Anwesenheit von Spurenelementen im Substrat ist jedoch auch deren Verfügbarkeit im Fermentationsprozess entscheidend. Sowohl physikalische (z. B. Temperatur, Verwendung möglichst kleinen Häckselguts) als auch chemische (z. B. pH-Wert) und biologische Maßnahmen können die Verfügbarkeit der Spurenelemente erhöhen [102], während eine Überdosierung sogar toxisch wirken kann bzw. nicht mit der Düngemittelverordnung vereinbar ist [55].

Generell müssen bei der Verwendung spurenelementreicher Substrate oder industriell erzeugter Gärhilfsstoffe die Vorgaben der Düngemittelverordnung berücksichtigt werden.

Denn sämtliche im Biogasprozess anfallenden Gärprodukte, die wieder auf landwirtschaftlichen Flächen ausgebracht werden, fallen unter das Düngerecht. Je nachdem welche Substrate verwendet wurden, enthalten die Gärreste verschiedene Inhaltsstoffe, die analysiert und bei Abgabe an Dritte deklariert werden müssen. In der aktuellen Düngemittelverordnung ist nur Nickelsulfathexahydrat als Unterstützungsprodukt bei der Vergärung zugelassen [14]. Sämtliche Präparate, die Nickel in einer anderen Verbindung bereitstellen, verhindern nach dem aktuellen Wortlaut streng genommen ein Inverkehrbringen der Gärreste als Dünger. Auch für weitere Elemente existieren Grenzwerte [55], deren Überschreitung im Gärrest unter Umständen eine Ausbringung auf den Äckern untersagt.

## 2.2 Vorstellung und Botanik von Amaranth

Amaranth (*Amaranthus*) gehört zur Familie der *Amaranthaceae* (Fuchsschwanzgewächse) und besteht aus circa 50 bis 75 Arten [98] [21] [105] [99] [22]. Die exakte systematische Einteilung der Pflanzengattung ist noch nicht endgültig geklärt [92] [22] [63], eine aktuelle Auflistung der Arten inklusive bekannter Synonyme findet sich in Assad *et al.* [5]. Die Gattung *Amaranthus* wird in die drei Untergattungen *Acnida*, *Amaranthus* und *Albersia* gegliedert [79] [22]. Amaranth gehört zu den C<sub>4</sub>-Pflanzen [99]. Als primärer CO<sub>2</sub>-Akzeptor dient bei C<sub>4</sub>-Pflanzen nicht das Ribulose-1,5-Biphosphat, sondern das Phosphoenolpyruvat (PEP-Carboxylase), welches eine höhere Affinität zu CO<sub>2</sub> hat als Rubisco. Es betreibt den CO<sub>2</sub>-Einbau sehr viel effektiver und es kommt zu CO<sub>2</sub>-Anreicherung in den Bündelscheidenzellen. Dadurch wird CO<sub>2</sub> nicht zum limitierenden Faktor der Photosynthese und Transpirationsverluste können verhindert werden, weil bei Wassermangel die Stomata weniger weit geöffnet werden müssen [83].

Amaranth wird weltweit in tropischen Regionen zu verschiedenen Zwecken angebaut. Als Nahrungsmittel wird Amaranth außer als Korn auch als Blattgemüse verwendet. Bekannte Arten zur Kornnutzung sind *A. hypochondriacus*, *A. caudatus*, und *A. cruentus* [45] [108] [86] [28]. Als Gemüse verwendet werden *A. tricolor* und *A. blitum* sowie auch *A. cruentus* [28]. Des Weiteren findet Amaranth als Heilpflanze, zum Färben und als Zierpflanze Verwendung [19] [18] [97] [5] [28]. Einige Amarantharten sind als Unkräuter bekannt, dazu gehören *A. retroflexus*, *A. spinosus*, *A. viridis*, *A. blitum*, *A. albus*, *A. powellii*, *A. rudis* und *A. palmeri* [24] [85] [23].

Verglichen mit den dominierenden Getreidearten sind Pseudogetreidearten, wie der Amaranth, in Europa züchterisch bisher nur marginal bearbeitet worden. Es gibt zahlreiche Landsorten, die durch langandauernde, natürliche Selektion in einem bestimmten geografischen Gebiet entstanden sind. Im Gegensatz zu den züchterisch intensiv bearbeiteten Hochleistungssorten sind Landsorten weniger ertragsreich und weisen häufig eine gewisse Inhomogenität im Phänotyp auf.

In den USA begann der kommerzielle Anbau von Körneramaranth in den späten 1970er Jahren [13]. Einige Linien unseres Forschungsprojekts stammen aus den USA. Dort wurden sie im Rahmen erster intensiverer Züchtungsbemühungen in den 1990er Jahren

entwickelt und zugelassen. So wurde beispielsweise die im Screening unter der Bezeichnung MT 3 („Montana 3“) geführte Linie zu dieser Zeit durch Selektion aus mexikanischen Landsorten des Rispenfuchsschwanzes, *A. cruentus*, geschaffen. Ein weiterer Schritt war die Kreuzung von Vertretern des roten Hybridfuchsschwanzes, *A. hypochondriacus*, mit niedrigwüchsigen und kurzlebigen Vertretern der Arten *A. hybridus* und *A. cruentus*. Dieses Vorgehen steht beispielhaft für die Bemühungen, die Kulturpflanze Amarant auch unter den Bedingungen des Langtags nutzbar zu machen. Im vorliegenden Fall, wie er von Aufhammer [6] in der Literatur geschildert wird, wurde es so möglich, die hervorragende Kornqualität des *A. hypochondriacus* auch unter den klimatischen Bedingungen im Mittleren Westen der USA nutzbar zu machen. Unter dem Einfluss der in den Kreuzungspartnern enthaltenen Gene für Niedrigwüchsigkeit und Frühreife entstanden entsprechend modifizierte *A.-hypochondriacus*-Sorten. Durch die sehr hohe Selbstbestäubungsrate, die fehlende räumliche Trennung von männlichen und weiblichen Blüten sowie die hohe Anzahl an Blüten pro Pflanze wird die Züchtung von Amarant zusätzlich erschwert [106].

Die phänologischen Unterschiede der verschiedenen Amarantarten und -linien sind beträchtlich. Dies ist vor allem in der Pflanzen- und Rispenfarbe, in der Wuchshöhe und im Habitus der Pflanze zu erkennen. Die Farbpalette der Blütenstände wie auch der Gesamtpflanzen der angebauten Linien reicht von Hellgrün, gelblich über Orange bis hin zu Dunkelpurpur (siehe dazu auch Abbildung 1).



Abbildung 1: Phänotypische Vielfalt im Amarant-Zuchtgarten 2015

Das Farbspektrum ist auch bei der gehäckselten Biomasse zu sehen (Abbildung 2).



Abbildung 2: Gehäckselte Biomasse verschiedener Amaranthlinien

Hinsichtlich der Pflanzenhöhe gibt es sowohl sehr niedrige Typen bis maximal 50 cm als auch Pflanzen, die Höhen von 250 cm deutlich überschreiten. Die verwendeten Herkünfte entsprechen verschiedenen Wuchstypen mit einem ganz unterschiedlichen Erscheinungsbild: Zwergformen mit überhängenden Rispen, die im Zierpflanzenbau Verwendung finden; gedrungene, kompakte Pflanzen mit einem hohen Rispenanteil; hohe, schlanke Typen mit lockerer Rispe, die durch ihren hohen Schwerpunkt am oberen Ende des Stängels leicht zum Lagern neigen.

Da Amaranth bisher jedoch überwiegend zu Zwecken der Nahrungsmittelproduktion genutzt wird, und dies vorrangig außerhalb Europas, ist die Pflanze noch nicht an die Bedingungen hier angepasst. Beim Anbau im gemäßigten Klima kann es dadurch zu einigen Schwierigkeiten kommen. Durch die Kälteempfindlichkeit ist keine frühe Aussaat als Hauptfrucht möglich. Die Mindestwachstumstemperatur für den Zuwachs an Trockenmasse beträgt 15 °C. Zudem wird durch die notwendige Vegetationszeit von mehr als 120 Tagen eine ausreichende Abreife mit den gewünschten Trockensubstanzgehalten (TS-Gehalt) von 28 % meist nicht erreicht [6], sodass eine Aussaat Mitte bis Ende Juni nach der Abernte von Ganzpflanzensilage-Getreide oft schon zu spät ist. Im Hinblick auf ausreichende Abreife und Trockenmassebildung für die Energiepflanzennutzung ist zudem zu beachten, dass Amaranth in Abhängigkeit von der Art eine mehr oder weniger ausgeprägte Kurztagsempfindlichkeit aufweist, d. h., erst wenn die Tage kurz genug sind, kommt es zur Blüte und Samenbildung [6]. Arten mit ausgeprägter Kurztagsempfindlichkeit (*A. hypochondriacus*, *A. powellii*, *A. caudatus*) besitzen somit unter mitteleuropäischen und damit auch bayerischen Langtagbedingungen eine verlängerte vegetative Entwicklungsphase [6] [35]. Die notwendige Abreife und Standfestigkeit für einen großflächigen Anbau werden somit nicht erreicht.

### 2.3 Amaranth für die menschliche Ernährung

Amaranth zählt neben Quinoa zu den ältesten Nutzpflanzen Mittel- und Südamerikas. Schon bei den Azteken und Inka [6] wurden die Samen aus den Rispen der beiden Pflanzen neben Mais als Grundnahrungsmittel verwendet. Ähnlich wie bei Hirse werden die eher kleinen Samenkörner von Amaranth als Getreideersatz verwendet, daher auch die Eingruppierung als „Pseudogetreide“ oder „Pseudocerealie“ [33]. Da Mehl aus Amaranth kein Gluten enthält [13], eignet es sich auch für Menschen, die das Klebereiweiß Gluten nicht vertragen (Zöliakie). Dadurch sind die Nachfrage in Europa und auch das Angebot durch Importe vergleichsweise hoch. Die Backeigenschaften von Amaranth- und Quinoamehl hingegen sind wegen des fehlenden Klebers nur mäßig.

Der Anbau von Amaranth findet in Mittel- und Südamerika, Afrika und Südostasien statt [38]. Von dort aus wird Amaranth nach Europa exportiert und weiterverarbeitet. Man findet die verschiedenen Produkte aus Amaranth vorwiegend im Naturkosthandel bzw. in den Naturkostregalen von Supermärkten und neuerdings sogar in Discountern. Ein Hauptprodukt ist sogenannter gepoppter oder gepuffter Amaranth, der in Müslimischungen, Riegeln oder in Form von Puffamaranth (Abbildung 3) angeboten wird.



Abbildung 3: Amaranth: unbehandeltes Korn (links), gepufftes Korn (rechts)

Hinsichtlich der Nährwerte zeichnet sich Amaranth durch einen beträchtlichen Gehalt an Proteinen (13 bis 19 % [33]) mit hoher biologischer Wertigkeit aus.

Daneben weist er einen hohen Gehalt an Calcium (Ca), Magnesium (Mg), Eisen (Fe) sowie Ballaststoffen [33] und mehrfach ungesättigte Fettsäuren [36] auf. Detaillierte Angaben zu den Inhaltsstoffen von Amaranth im Vergleich zu Weizen sind in Tabelle 1 aufgelistet.

*Tabelle 1: Nährstoffgehalte von Amaranth im Vergleich zu Weizen, modifiziert nach Elmadfa (2015) [36]*

Inhaltsstoffe	Einheit	Amarant	Weizen (Vollkorn)
Einheit	je 100g verzehrbaren Anteil		
Energie	kcal	370	302
Eiweiß	g	14,6	12,1
Fett	g	8,8	2,0
Kohlenhydrate	g	56,8	59,7
Ballaststoffe	g	10,3	11,7
Kalium	mg	484	378
Kalzium	mg	214	28
Magnesium	mg	308	130
Eisen	mg	9,0	4,7
Zink	mg	3,7	3,4
Vitamin E	mg	1,4	2,1
Vitamin B1	mg	0,80	0,47
Vitamin B2	mg	0,19	0,17
Vitamin B6	mg	0,40	0,46

## 2.4 Potenzial von Amaranth für die Biogasproduktion

Derzeit werden am TFZ neue Kulturen getestet, die möglichst eine schnelle Entwicklung aufweisen und bereits nach kurzer Vegetationszeit gute Erträge mit ausreichend hohen Trockensubstanz-Gehalten erzielen. In bisherigen Projekten und diversen Vorversuchen ist dabei Amaranth als Kultur mit hohem Ertragspotenzial und sehr gutem Nährstoffaneignungsvermögen aufgefallen [35]. Zwar erfolgt die Abreife von Amaranth langsamer als bei anderen Zweitfrüchten, wie beispielsweise Quinoa, sein Ertragspotenzial ist dafür, vor allem bei ausgeglichener Stickstoffversorgung, deutlich höher.

Studien, die Amaranth als Energiepflanze im Fokus hatten, sind nur in einem sehr geringen Umfang vorhanden. Bestehende Forschungsarbeiten lassen jedoch vermuten, dass Amaranth gerade in überwiegend mit Mais beschickten Biogasanlagen ein wertvolles Co-substrat darstellen und zur Stabilisierung des Biogasprozesses beitragen kann [4] [70] [93]. Jedoch sind die Methanerträge von Amaranth aufgrund höherer Asche- und Ligningehalte niedriger als die von Mais [20] [52] [53].

Als Ergänzung zu Silomais hat sich in der Praxis die Nutzung von Wintergetreide als Ganzpflanzensilage (GPS) etabliert, da damit ebenfalls hohe Methanerträge je Flächeneinheit erzielt werden können. Nach der Ernte des GPS-Getreides, die in der Regel zwischen Anfang Juni (Wintergerste) und Ende Juni (Wintertriticale und Winterweizen) erfolgt, steht noch ein mehr oder weniger langes Vegetationszeitfenster für eine Zweit-

frucht zur Verfügung. In verschiedenen Untersuchungen hat sich dabei gezeigt, dass Mais und Sorghum bei einer Saat nach Mitte Juni nicht silierreif werden, wenn nicht ausgesprochene frühe Linien gewählt werden [114]. Auch viele andere bekannte Kulturen reifen in der verfügbaren kurzen Zeitspanne nicht ausreichend ab und/oder sind bezüglich ihrer Biomasseleistung unzureichend. Die Einordnung von Amaranth ist hier noch unklar.

### 2.4.1 Spurenelemente

*Autor des Unterkapitels: Dr. Benedikt Sauer, IZNE*

Wie in Unterkapitel 2.1 beschrieben sind ausreichende Spurenelementkonzentrationen für eine optimale Prozessbiologie bei der Vergärung von Biomasse notwendig. Vorhergehende Untersuchungen [41] konnten zeigen, dass Mais und die Wintergetreide Roggen und Triticale sehr arm an den Elementen Cobalt, Mangan und Nickel sind (Tabelle 2). Für Molybdän zeigt Mais vergleichbare Gehalte wie andere Energiepflanzen. Lediglich bei einer hohen Futtermenge an Rüben, die sehr arm an Molybdän sind (0,05 mg Molybdän pro kg TS), wäre ein Molybdänmangel für den Biogasprozess zu befürchten [93].

*Tabelle 2: Physiologische Spurenelementgehalte in der oberirdischen Trockenbiomasse, Standort Sömmerling, Südniedersachsen, verändert nach [41]*

Kultur	Co	Mn	Mo	Ni
in mg/kg TS				
Winter Ackerbohne	0,15	40	0,4	0,4
Amarant	0,13	50	0,4	0,2
Durchwachsene Silphie	0,04	33	0,1	0,3
Weidelgras	0,03	78	1,3	0,4
Triticale	0,01	20	0,5	0,1
Mais	0,01	17	0,3	0,1

Sehr hohe Cobaltgehalte weisen in Fahlbusch *et al.* (2018) [41] neben der Winterackerbohne auch die anderen untersuchten Leguminosen, die Sommerackerbohnen und die Zottelwicke, auf. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Pflanzen in Symbiose mit Rhizobien leben, die viel Cobalt benötigen. Die untersuchte Amaranthsorte Bärnkrafft liegt mit den Cobaltgehalten um ein Vielfaches höher als Mais. Auch die Spurenelemente Mangan, Molybdän und Nickel sind im Amaranth deutlich höher konzentriert als im Mais. Weidelgras erreichte in den Untersuchungen die höchsten Gehalte an Mangan und Molybdän und wäre somit eine gute Idee, um einem möglichen Molybdänmangel durch hohen Rübeninput entgegenzuwirken.

Betrachtet man die dargestellten vier Spurenelemente in Tabelle 2, so fällt weiter auf, dass Cobalt das Element mit der niedrigsten Konzentration ist. Gleichzeitig zeigen hier

die unterschiedlichen Kulturen auch die höchsten Konzentrationsunterschiede zueinander auf. Somit stellt Cobalt ausgehend von diesen Betrachtungen das kritische Element in der Spurenelementversorgung Methan produzierender Mikroorganismen durch Energiepflanzen dar.

Neben den im Biogasprozess positiv wirkenden Spurenelementen wurde in einem Forschungsprojekt zur Bioenergienutzung schwermetallbelasteter landwirtschaftlicher Standorte festgestellt [94], dass Amarant stark erhöhte Konzentrationen an Cadmium aufweist. Auf demselben Standort Ohrum wurden für Amarant Cadmiumgehalte von 9,1 mg/kg TS gemessen. Die möglichen Energiepflanzen Durchwachsene Silphie, Winterroggen und Mais wiesen hingegen Gehalte von 0,1 bis 0,8 mg Cadmium pro kg in der oberirdischen Trockensubstanz auf. Auch auf dem nicht kontaminierten Vergleichsstandort gehörte Amarant zu den Kulturen, die am meisten Cadmium aufnahmen. Allerdings wurde dort der Futtermittelgrenzwert für Cadmium nur zur Hälfte erreicht (0,5 mg/kg TS).



### 3 Problemstellung und Zielsetzung

Zur Maximierung des Methanertrags gibt es für den Landwirt bis dato nur wenige Alternativen zum Anbau von Mais als Biogassubstrat. Durch den unzureichenden Gehalt an essenziellen Spurenelementen, die für einen störungsfreien Prozessablauf benötigt werden, ist die ausschließliche Beschickung des Fermenters mit Mais jedoch nicht zu empfehlen. Hier gilt es nach alternativen Kulturen zu suchen, die streng nach Ertragsleistung bewertet nicht überzeugen, aber andere bisher nicht bekannte Vorteile bergen, die auf indirektem Weg ebenfalls wirtschaftliche Verbesserungen mit sich bringen können.

Eine dieser alternativen Pflanzen stellt Amarant dar, der deutlich höhere Gehalte der für den Biogasprozess essenziellen Spurenelemente aufweist. Probleme bereitet der Ursprung der Pflanze im Kurztag, der einen erfolgreichen Anbau der Kultur unter den in Bayern vorherrschenden Langtagbedingungen erschwert. Ziel des Projekts ist es deshalb, Wege für den Anbau, die Selektion und die Vermehrung von Amarantlinien als spurenelementreiches Biogassubstrat zu erarbeiten sowie die stoffliche Kaskadennutzung, d. h. die getrennte Verwertung von Rispe bzw. Korn und Restpflanze, zu untersuchen und zu bewerten.

Ausgehend von den Erkenntnissen des im Jahr 2013 durchgeführten Amarantsortenscreenings sollen ausgewählte Linien durch wiederholte Selektion an hiesige Klimabedingungen angepasst und so ein erfolgreicher Anbau in unseren Breitengraden vorbereitet werden. Die wichtigsten Selektionskriterien sind dabei wie folgt:

- Trockenmasseertrag und Trockensubstanzgehalt,
- frühe Abreife,
- Standfestigkeit,
- möglichst hoher Gehalt an Spurenelementen,
- hoher Rispenanteil zur Kaskadennutzung,
- hoher Gehalt weiterer wertvoller Inhaltsstoffe.

Mit ersten Fortschritten soll zur Fortführung der Züchtungsarbeiten im privatwirtschaftlichen Sektor motiviert werden, um den Züchtungsvorsprung etablierter Kulturen wie Mais zu verringern und Amarant an die in Mitteleuropa herrschenden Langtagbedingungen zu adaptieren. Dadurch sollen verbesserte und an bayerische Anbaubedingungen angepasste Amarantlinien entwickelt werden.

Sobald der Praxis entsprechend verbessertes Sortenmaterial zur Verfügung steht, kann mit der Zugabe von Amarant zu Maissubstrat die Prozessstabilität im Biogasfermenter unterstützt werden [35] [93] [100]. Dies kann möglicherweise den insgesamt erzeugten Methanertrag positiv beeinflussen und den potenziell risikobehafteten Zukauf von Additiven vermindern oder überflüssig machen. Gleichzeitig besteht die Chance, das Landschaftsbild zu bereichern sowie durch abwechslungsreichere Fruchtfolgen die Bodenfruchtbarkeit zu erhalten.

Verschiedene produktionstechnische Versuche zu Saatstärke, Standort, Düngung, Mischanbau sowie Durchwuchs in Folgekulturen und der verbliebenen Keimfähigkeit des Amarants im Biogasgärrest sollen Fragestellungen zum praktischen Amarantanbau für die Praxis beantworten.

Eng verknüpft ist das hier vorgestellte Projekt mit dem Forschungsvorhaben der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft „Amarant als spurenelementreiches Biogassubstrat: Dauererhebung in Durchflussfermenter“ mit dem Förderkennzeichen BE/16/01. Projektnehmer sind hier das Institut für Landtechnik und Tierhaltung (ILT) unter der Leitung von Dr. Fabian Lichti sowie die Abteilung für Qualitätssicherung und Untersuchungswesen (AQU), vertreten durch Dr. Michael Lebuhn. Vom ILT wird der Bereich Verfahrenstechnik und Fermenterbetrieb bearbeitet. Mittels Langfristbetriebs von Durchflussfermentern wird die Umsetzungsstabilität von Reinmais- und Mais-Amarant-Mischungen mit und ohne Spurenelementzugabe untersucht. Die AQU betrachtet die Bereiche der Mikro- und Molekularbiologie. Mit laufenden Erhebungen zur Mikro- und Makrobiologie in den Durchflussfermentern werden die Effekte der Spurenelementverarmung abgebildet und die erwartete Stabilisierung des Fermentationsprozesses durch Amarantsubstrat evaluiert. Hierzu wird vom TFZ die Amarantsilage zur Verfügung gestellt. Geldgeber dieses Projekts ist das Bayerische Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie (StMWi).

## **4 Material und Methoden**

### **4.1 Zuchtgarten: Screening und Selektion verschiedener Amarantlinien**

#### **4.1.1 Charakteristik der Versuchsstandorte**

Der Standort des Zuchtgartens im Anbaujahr 2015 befand sich auf einem für das Gäubodengebiet typischen Lössstandort bei Straubing (Flurstück Lehnerfeld). Besonders günstig bei dieser Bodenart wirkt sich der gute Wasserhaushalt (Wasserkapazität) auf das Pflanzenwachstum aus. Als Vorfrucht stand auf der Anbaufläche Winterweizen mit anschließender Brache und Herbstfurche.

In den Anbaujahren 2016 und 2017 befanden sich die Zuchtgärten auf dem Brunnenfeld bei Straubing, einem vergleichbaren Standort wie in 2015. Als Vorfrucht wurde ebenfalls Winterweizen zum Anbau gebracht. Die Grundbodenbearbeitung erfolgte mittels Pflugs im Herbst, um eine gute Frostgare des Bodens zu erzielen.

2018 wurden die Zuchtgärten und Versuche auf dem Schlag „Auf der Platte“ angelegt. Dieser Standort weist ähnliche Bedingungen auf wie die Standorte Brunnenfeld und Lehnerfeld, mit gleicher Bodenart und gleichem Bodentyp (Parabraunerde und schluffiger Lehm). Vorfrucht war in diesem Jahr Sommerweizen.

#### **4.1.2 Witterungsverläufe**

Bereits der Winter 2014/15 war gekennzeichnet durch sehr milde Temperaturen und deutlich geringere Niederschlagsmengen, sodass der Wasservorrat im Boden niedriger war als sonst üblich. Wegen der Gefahr von Spätfrösten, die auch im Jahr 2015 teilweise noch im Mai auftraten, erfolgte die Aussaat erst gegen Ende Mai am 28.05.2015. Zum Zeitpunkt der Aussaat herrschte eine kurze Hitze- und Trockenphase, sodass die abgelegten Samen trotz Bewässerung erst nach einem ausgiebigem Regen Anfang Juni auf-liefen. Ab Ende Juni bis weit in den August hinein kam es erneut zu einer anhaltenden Hitze- und Trockenphase. Mitte August bis Anfang September fielen dann ausreichend Niederschläge, während der September wieder deutlich zu trocken blieb. Für den wär-meliebenden Amarant sind diese Bedingungen insgesamt als günstig zu betrachten (Abbildung 4, Tabelle 3).

Wie bereits im Jahr zuvor war auch der Winter 2015/16 gekennzeichnet durch milde Temperaturen. Ausreichend Niederschläge im Frühjahr erhielten die Bodenfeuchte bis zur Aussaat. Große Regenmengen einige Tage nach der Aussaat führten zu Ver-schlämmung und nachfolgender Verkrustung des Bodens. Trotz der erschwerten Auf-laufbedingungen zeigten sich jedoch keine nennenswerten Ausfälle im Aufgang der Amarantpflanzen. Auch im nachfolgenden Vegetationsabschnitt traten zwei Starkregen-Ereignisse am Standort Straubing auf, in deren Verlauf bis zu 100 mm Niederschlag in-nerhalb kurzer Zeit zu verzeichnen waren. Vor allem im Monat Juni zur Phase der Ju-gendentwicklung gab es deutlich mehr Niederschläge als im langjährigen Mittel und die Sonnenscheinstunden lagen unter dem langjährigen Mittel. Warme Temperaturen im

Verlauf der Sommermonate Juli bis September 2016 und ausreichend Niederschläge während dieser Periode boten optimale Voraussetzungen für die Entwicklung der Kultur, was sich in einem hohen Biomasseertrag zeigte. Kräftige Regenschauer mit stärkeren Windböen Ende September wirkten sich jedoch negativ auf die weitere Entwicklung der mittlerweile sehr hoch gewachsenen Amaranbestände aus. Durch die schwere Last der regennassen Rispen brach ein Großteil der Pflanzen ab und ging ins Lager (Abbildung 5, Tabelle 3).

Der Winter 2016/17 hinterließ aufgrund anhaltender Fröste im Januar und Februar und der damit verbundenen Frostgare eine gute Bodenstruktur. Die Witterung im Vegetationszeitraum war von etwas wärmeren Temperaturen als im langjährigen Mittel gekennzeichnet. Zudem herrschte eine erhöhte Vorsommertrockenheit, wie in Abbildung 6 zu sehen ist. Für den Aufgang und die Massebildung des Amarants bot das Jahr 2017 gute Bedingungen. Zur Blüte und Reife im August und September gab es unterdurchschnittlich viele Sonnenstunden und zur Reife waren die Temperaturen unter dem langjährigen Mittel (Abbildung 6, Tabelle 3).

Das Frühjahr 2018 war ausgesprochen trocken mit unterdurchschnittlichen Niederschlägen besonders im April, was zu einem sehr trockenen Saatbett führte. Im Juni fielen ausreichend Niederschläge, gefolgt von einer weiteren Trockenperiode bis September. Die Temperaturen lagen konstant über dem langjährigen Mittel. Dies führte zu einer besseren Standfestigkeit und auch zu einer besseren Abreife im August und September (Abbildung 7, Tabelle 3).

Tabelle 3: *Bewertung der Witterung in den Hauptwachstumsphasen von Amaranth in den Versuchsjahren 2015 bis 2018*

Jahr		Mai	Juni/Juli	August	September
		Aufgang	Massebildung	Blüte, Kornansatz	Reife, Ernte
2015	Temperatur	-	+	++	o
	Niederschlag	o	-	-	--
	Sonnenschein- stunden	--	+	++	o
	Klimatische Wasserbilanz	o	-	--	--
	Bewertung	ungünstig	günstig	günstig	günstig
2016	Temperatur	o	o	o	++
	Niederschlag	o	++	o	++
	Sonnenschein- stunden	o	o	++	++
	Klimatische Wasserbilanz	o	++	-	+
	Bewertung	günstig	ungünstig	günstig	sehr ungünstig aufgrund des Starkregener- eignisses im September
2017	Temperatur	o	+	+	-
	Niederschlag	--	-	o	-
	Sonnenschein- stunden	++	+	+	-
	Klimatische Wasserbilanz	--	--	o	-
	Bewertung	sehr günstig	günstig	günstig	ungünstig
2018	Temperatur	++	+	++	+
	Niederschlag	--	-	--	o
	Sonnenschein- stunden	++	++	++	++
	Klimatische Wasserbilanz	--	--	--	-
	Bewertung	sehr ungünstig	günstig	günstig	sehr günstig
o	vergleichbar mit mehrjährigem Mittel		++	deutlich über mehrjährigem Mittel	
+	über mehrjährigem Mittel		--	deutlich unter mehrjährigem Mittel	
-	unter mehrjährigem Mittel				

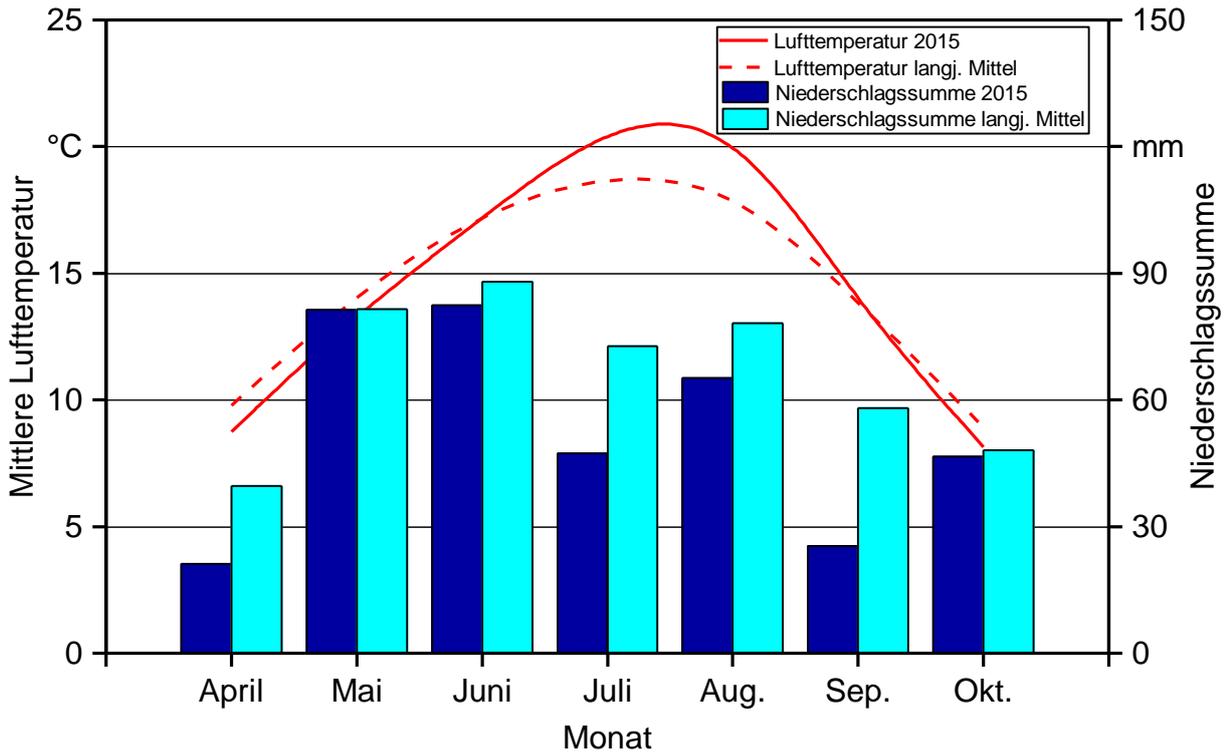


Abbildung 4: Witterungsverlauf am Standort Straubing in der Vegetationsperiode 2015 im Vergleich zum langjährigen Mittel; Daten des Agrarmeteorologischen Messnetzwerks Bayern, LfL, Wetterstation Piering

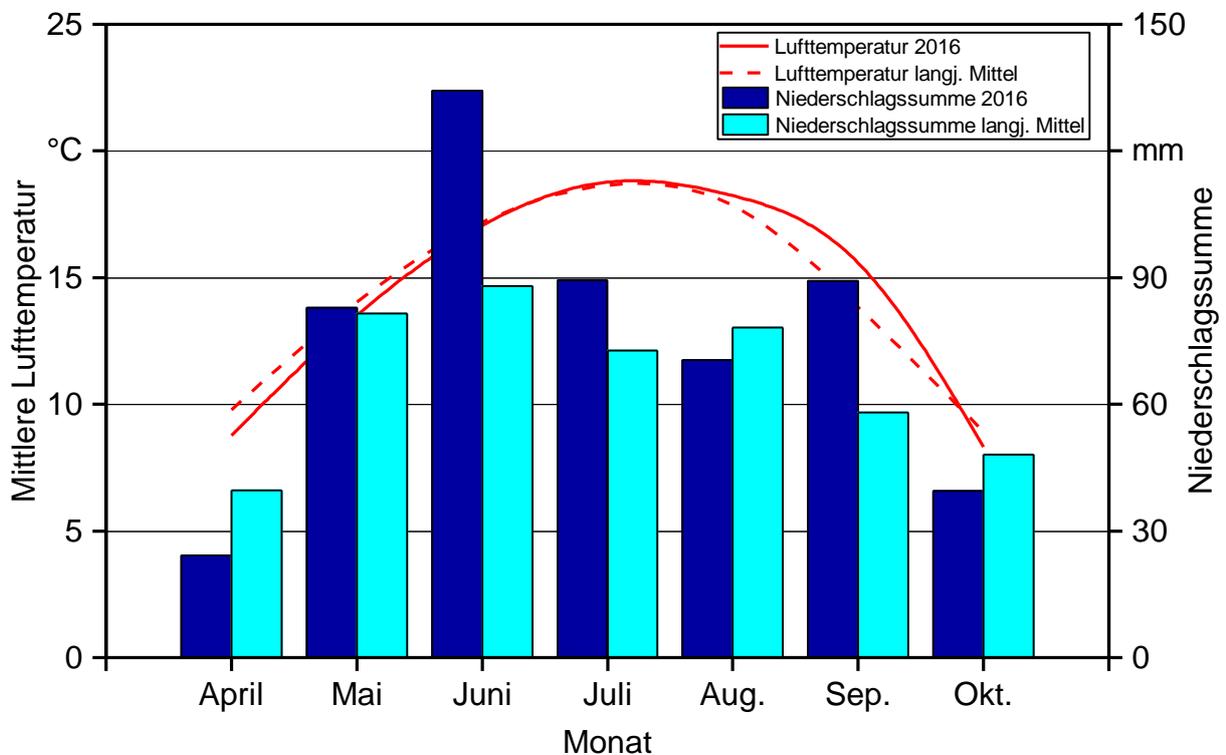


Abbildung 5: Witterungsverlauf am Standort Straubing in der Vegetationsperiode 2016 im Vergleich zum langjährigen Mittel; Daten des Agrarmeteorologischen Messnetzwerks Bayern, LfL, Wetterstation Piering

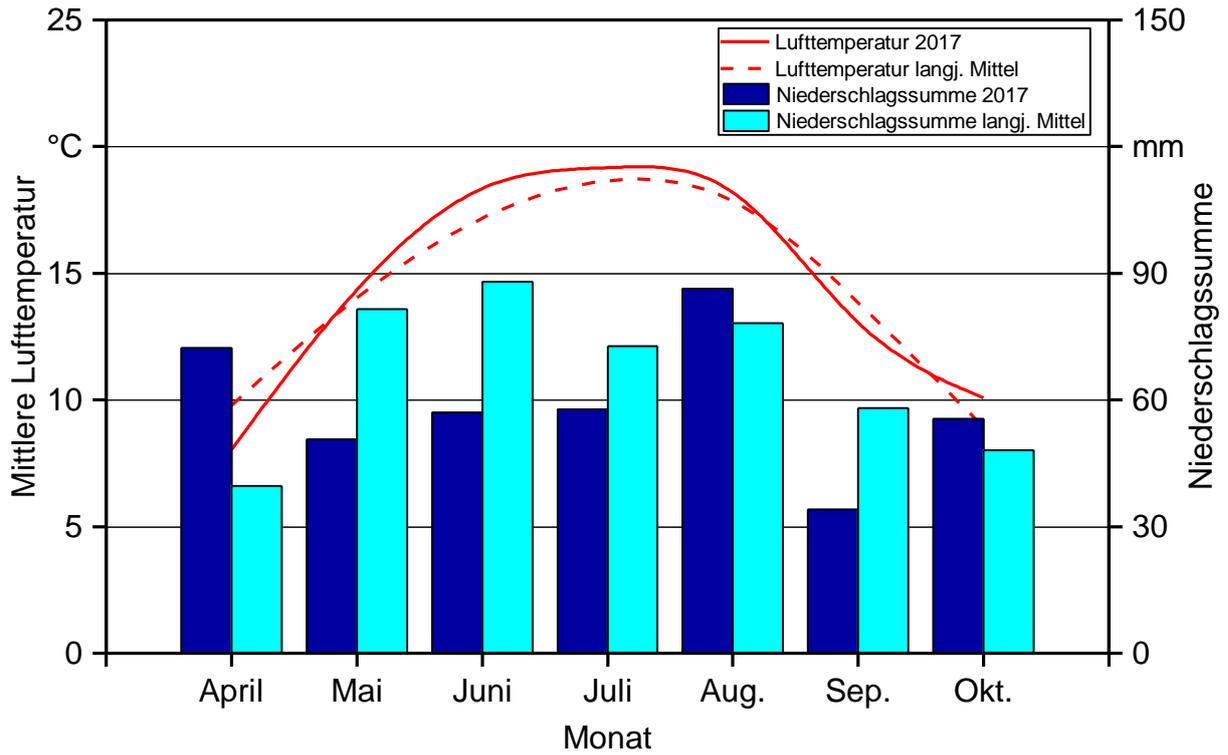


Abbildung 6: Witterungsverlauf am Standort Straubing in der Vegetationsperiode 2017 im Vergleich zum langjährigen Mittel; Daten des Agrarmeteorologischen Messnetzwerks Bayern, LfL, Wetterstation Piering

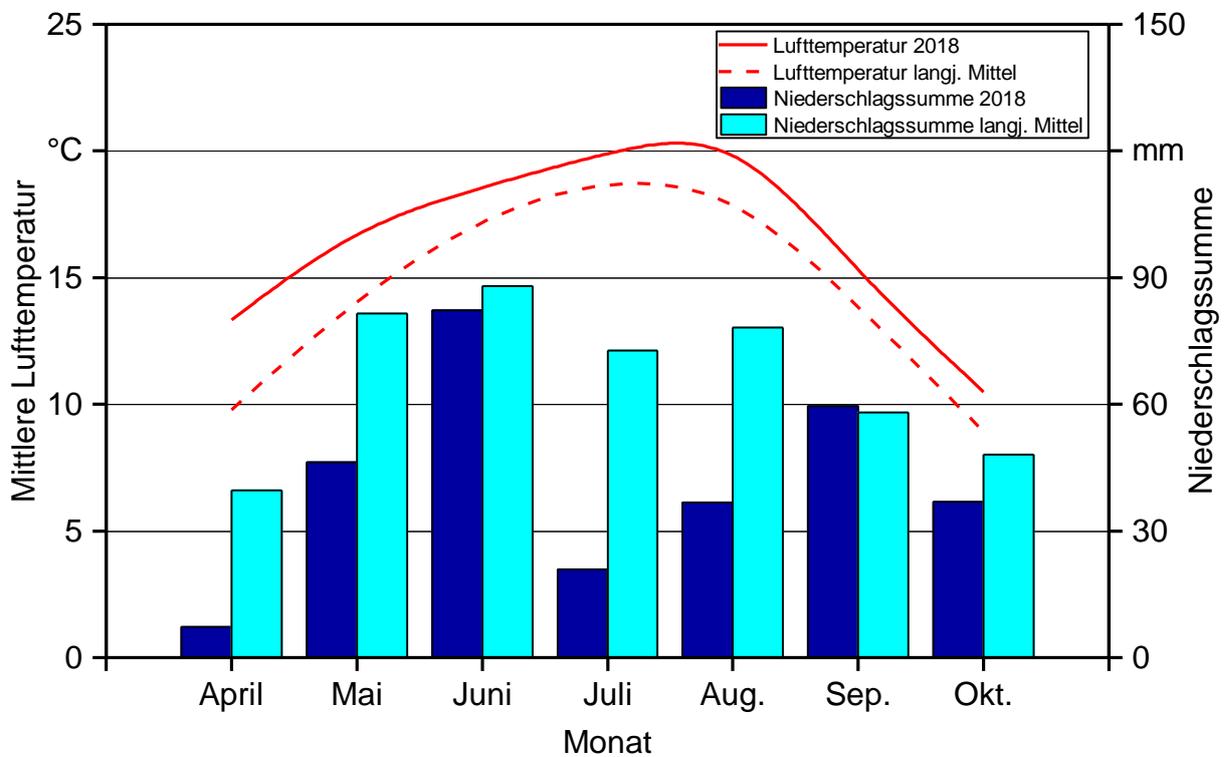


Abbildung 7: Witterungsverlauf am Standort Straubing in der Vegetationsperiode 2018 im Vergleich zum langjährigen Mittel; Daten des Agrarmeteorologischen Messnetzwerks Bayern, LfL, Wetterstation Piering

### 4.1.3 Saatgut

Das Saatgut für das Jahr 2015 wurde aus dem Vorprojekt „Screening und Selektion von Amarantsorten und -linien als spurenelementreiches Biogassubstrat“ [35] aus dem Jahr 2013 übernommen. In dem Akzessionspanel befanden sich zahlreiche Landsorten, die durch langandauernde natürliche Selektion in einem bestimmten geografischen Gebiet entstanden waren. Landsorten sind genetisch sehr heterogen [9]. Im Jahr 2013 stammte dieses Saatgut aus den Gendatenbanken des Leibniz-Instituts für Pflanzengenetik und Pflanzenforschung in Gatersleben und dem Gewächshaus für tropische Nutzpflanzen der Universität Kassel. Andere Linien im Screening stammten aus Züchtungen in den USA aus den 1990er Jahren. Der Ursprung weiterer Sorten liegt im österreichischen Züchterhaus Zeno-Projekte unter der Leitung von Dr. Georg Dobos. Bei einem Teil des Materials handelte es sich um Zuchtstämme, die aktuell noch in Bearbeitung stehen. Zusammen mit dem Saatgutmaterial des Züchters Hans Bär und weiteren Einzelsorten aus deutschen Herkünften dürfte das dem mitteleuropäischen Raum entstammende Material nahezu komplett im Screening vertreten gewesen sein [35]. Das Saatgut für die Linie AMA 182, im Folgenden auch Gelber Amarant genannt, wurde von Prof. Dr. Bernd Honermeier, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung I der Justus-Liebig-Universität Gießen, zur Verfügung gestellt. Drei weitere Linien wurden aus dem Saatgutbestand der Universität Hohenheim zur Verfügung gestellt. Sämtliche Linien sind in Tabelle 29 im Anhang aufgelistet.

Das Saatgut der selektierten Linien wurde in jedem Jahr vermehrt, indem eine Rispe der Linie isoliert wurde. Dies erfolgte 2015 und 2016 mittels Crispac, 2017 und 2018 mittels Tomatenvlies (Abbildung 8). Bis zur Aufbereitung und Saatgutreinigung wurde die eingepackte (oder isolierte) Rispe unter einem ständigen Luftstrom in der Biomassetrocknung bei 35 bis 40 °C getrocknet. Die Samen dieser Rispe wurden im nächsten Jahr als Saatgut für den Zuchtgarten genutzt. In Abschnitt 4.1.4.3 befindet sich eine ausführliche Beschreibung der Selektionskriterien für die Wahl der Einzelpflanzen.

Nach der Trocknung der selektierten Rispen wurden diese per Hand ausgedroschen. Dann erfolgten Aufbereitung und Reinigung des Saatguts mithilfe eines Probenreinigers (Hersteller Pfeuffer, Probenreiniger Typ SLN), in dem über mehrere Siebebenen das Saatgut von Grobteilen und Spelzen getrennt wurde. Zur Bestimmung der Saatgutqualität wurde von jeder Partie ein Keimtest in Petrischalen mit angefeuchtetem Filterpapier durchgeführt.



Abbildung 8: Mit Tomatenvlies isolierte Rispe der Linie AMA 204 im Zuchtgarten 2017

#### 4.1.4 Aufbau der Zuchtgärten und Datenerhebung

##### Jahr 2015

Ausgehend vom vorab erfolgten Screening 2013 standen im Anbaujahr 2015 insgesamt 308 Linien zur Verfügung. Von einigen Stämmen aus 2013 wurde bereits Saatgut von frei abgeblühten (Zusatz  $F_1$  bei Liniennummern) und geselbsteten (Zusatz  $S_1$  bei Liniennummern) Rispen gewonnen, sodass von den ursprünglichen Stämmen teilweise drei Linien oder Populationen ausgesät und getestet werden konnten.

Aufgrund verschiedener Pflanzhöhen, die aus dem Screening 2013 bereits bekannt waren, wurden die Linien in zwei Blöcke eingeteilt, sodass niedrige Pflanzen nicht durch hohe Nachbarn beeinträchtigt wurden. Zur Vermeidung eines Randeffekts wurden an den äußeren Rändern der Blöcke jeweils vier Reihen *Sorghum bicolor* (mittelhohe Körnersorte) ausgesät. Eine detaillierte Aufstellung der im Zuchtgarten stehenden Linien findet sich im Anhang in Tabelle 29.

Die Aussaat im Zuchtgarten erfolgte am 28.05.2015 mit der handgeschobenen Sämaschine Haldrup SH-20. Der Reihenabstand betrug dabei 37,5 cm. Zur Vereinfachung der Aussaat wurde das Amarantsaatgut vorher mit handelsüblichen Semmelbröseln gestreckt, da das Saatgut von Amarant sehr fein ist und eine Aussaatstärke von 150 keimfähigen Körnern pro  $m^2$  angestrebt wurde. In der Regel wurden von jeder Linie zwei Rei-

hen von 3 m Länge ausgesät. Bei einigen Linien reichte das Saatgut jedoch nur für eine Reihe.

Eine Behandlung gegen Unkräuter war sowohl im Zuchtgarten als auch auf der Produktionsfläche für Amaranthsilage (vgl. Unterkapitel 4.3) nicht notwendig. Einzelne größere Unkrautpflanzen wurden bei Bedarf per Hand entfernt.

Die Stickstoffdüngung erfolgte sowohl für den Zuchtgarten als auch auf der Fläche für die Substratproduktion zu BBCH 25 bis 30 mittels Kalkammonsalpeter (KAS) in einer Menge von 80 kg N/ha. Der Sollwert für die Stickstoffversorgung wurde auf 150 kg N/ha festgelegt. Für die Berechnung der Düngermenge wurde von diesem der  $N_{\min}$ -Gehalt zum Zeitpunkt der Aussaat abgezogen.

Im Zuchtgarten wurden während der Vegetationszeit nach vorher festgelegten Parametern (Abschnitt 4.1.4.3) ca. 50 Linien/Pflanzen selektiert (jeweils eine Rispe aus den Einzel- bzw. Doppelreihen) und vor der Öffnung der Blüten mit Crispac-Beuteln (Super-Micro-Lochung 0,5 mm, Größe 33 mal 75 cm) eingetütet, um eine Fremdbestäubung von Nachbarpflanzen zu verhindern. Durch die unmittelbare Nachbarschaft anderer Linien und deren zeitlich paralleles Abblühen wäre eine Einkreuzung fremder Merkmale möglich und nicht gewünscht gewesen. Am 09.10.2015 wurden die selektierten Rispen von Hand geerntet.

Da von den Linien in der Regel nur zwei Reihen ausgesät wurden und die Anbaufläche für aussagekräftige Ergebnisse zu klein war, erfolgte keine Ertragserfassung bei der Ernte.

### **Jahr 2016**

Aus dem Jahr 2015 wurden insgesamt 60 Selektionen für die weitere Betrachtung im Zuchtgarten 2016 ausgesät. 50 Linien wurden aus dem Jahr 2015 weitergeführt, sieben waren Einzelpflanzenselektionen aus vorherigen Linien und drei zusätzliche kamen aus dem Saatgutbestand der Universität Hohenheim hinzu. Im blockweisen Anbau standen im zweiten Selektionsjahr vier Reihen pro Linie zur Verfügung.

Da Amaranth auf Tageslänge reagiert und zudem ertragreiche Kulturpflanzen für den Anbau nach GPS-Getreide mit Aussaaten ab Ende Juni gesucht wurden, wurde der Zuchtgarten im gleichen Schema Ende Juni ein weiteres Mal ausgesät (Anlage 2). Eine Aufstellung der im Zuchtgarten stehenden Linien findet sich im Anhang in Tabelle 32.

Die Aussaat der Anlage 1 im Zuchtgarten erfolgte am 23.05.2016 mittels Parzellendrimmaschine mit Accord-Scheibenschar, auch hier wurde das Saatgut mit Semmelbröseln gestreckt, um eine Aussaatstärke von 90 keimfähigen Körnern pro  $m^2$  zu erreichen. Die Saatstärke wurde im Vergleich zum vorherigen Jahr reduziert, da der Feldaufgang des Amaranthsaatguts im Vorjahr deutlich besser gewesen war als erwartet. Der Reihenabstand betrug 37,5 cm. Um im zweiten Selektionsjahr zusätzlich Aussagen zum Ertragspotenzial treffen zu können, wurden pro Linie vier Reihen auf einer Netto-Särlänge von 7,2 m ausgesät. Die Parzellenfläche betrug somit 10,8  $m^2$  und es stand ausreichend Fläche zur Erfassung des Parzellengewichts zur Verfügung.

Zum Zeitpunkt der ortsüblichen GPS-Ernte Ende Juni erfolgte die Aussaat der Anlage 2 des Zuchtgartens am 24.06.2016. Aussaattechnik, Reihenabstand und Saatstärken wurden dabei wie in Anlage 1 beibehalten.

Die Stickstoffdüngung erfolgte zu BBCH 25 bis 30 mittels Kalkammonsalpeter (KAS) in einer Menge von 100 kg N/ha. Eine Behandlung gegen Unkräuter war sowohl im Zuchtgarten als auch auf der Produktionsfläche nicht notwendig.

Zur Weiterführung der Selektionen wurde am 22.09.2016 von jeder Herkunft aus der Anlage 1 eine Rispe geschnitten. Aus Anlage 2 wurden keine Rispen geschnitten, da hier eine ausreichende Ausreife des Saatguts nicht gewährleistet werden konnte.

Beide Zuchtgarten-Anlagen wurden am 26.09.2016 mit dem reihenunabhängigen Häcksler „Kemper Champion 2200“ beerntet. Durch den im Heck angebauten Haldrup-Probennehmer wurden sowohl die Frischmassegewichte der Parzellen erfasst als auch repräsentative Proben zur Bestimmung der Trockensubstanz genommen. Diese wurden bei 105 °C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. Der Erntevorgang war in den Jahren 2016, 2017 und 2018 identisch.

### **Jahr 2017**

Im Versuchsjahr 2017 wurden zwei Zuchtgärten angelegt. Während ein Zuchtgarten ausschließlich der Erfassung des Ertrags diente, wurden im zweiten Pflanzen für verschiedene Probezwecke entnommen, einzelne Pflanzen zur weiteren züchterischen Nutzung selektiert sowie die phänotypische Homogenität bestimmt. Im Zuchtgarten zur Ertragsfeststellung wurden 40 Phänotypen aus dem Zuchtgarten 2016, die hinsichtlich der erzielbaren Trockensubstanzgehalte und Trockenmasseertragsleistung am meisten Potenzial aufwiesen, angesät. Diese Phänotypen wurden auch im Zuchtgarten zur Selektion, zusammen mit den im Winter 2016/17 durch Kreuzung erzeugten Einfachhybriden, gesät. Die Anzahl in diesem Zuchtgarten belief sich damit auf 47 Linien.

Beide Zuchtgärten wurden am 22.05.2017 mit einer vierreihigen Parzellendruckmaschine mit Accord-Scheibenschar gesät, wobei der Reihenabstand 37,5 cm betrug. Vor der Saat wurde das abgezählte Saatgut mit handelsüblichem Paniermehl gestreckt, um eine Saatedichte von 90 Pflanzen/m<sup>2</sup> möglichst exakt zu erreichen. Die Netto-Sälänge betrug im Selektionszuchtgarten 3 m und im Zuchtgarten zur Ertragsfeststellung 10,75 m, was zu Parzellenflächen von 4,5 m<sup>2</sup> bzw. 16,125 m<sup>2</sup> führte.

Um die einzelnen Amarantlinien vor Lagerbildung durch Wind zu schützen, wurden zwischen den Parzellen, die in Nord-Süd-Richtung angelegt worden waren, jeweils zwei Maisreihen quer zur Hauptwindrichtung, die in Ost-West-Richtung verläuft, angelegt. Diese Maisreihen wurden erst am 01.06.2017 mit einer Accord-Einzelkornsämaschine gesät, um dem Amarant einen gewissen Wachstumsvorsprung zu geben. Dabei wurde die Sorte Stacey (FAO 220) verwendet und mit einem Abstand von 8 cm in der Reihe gelegt.

Um auflaufendes Unkraut zu bekämpfen, wurde am 12.06.2017 mittels eines vierreihigen Hackgeräts im Heckanbau gehackt. Einzelne Unkräuter, die dabei nicht erfasst wurden, konnten ohne großen Aufwand mit der Hand entfernt werden.

Am 21. und 22.09.2017 wurden im Selektionszuchtgarten Pflanzenproben für die Spurenelementanalyse genommen. Dazu wurden ein bis zwei Pflanzen mit einem sauberen Messer kurz über dem Boden abgeschnitten, mit dem Laborhäcksler zerkleinert und bei 105 °C getrocknet.

Von jeder im Selektionszuchtgarten stehenden Amarantlinie wurde kurz vor der Blüte eine Rispe mit einem handelsüblichen Tomatenvliesschlauch isoliert und am 27.09.2017 geschnitten. Die Beerntung des Zuchtgartens zur Ertragserfassung fand am 16.10.2017 statt.

### **Jahr 2018**

Auch im Versuchsjahr 2018 wurden zwei Zuchtgärten angelegt, einer für die Ertragserfassung und einer für die Probenentnahme sowie Bonitierung. Es wurden dieselben 40 Linien wie im Jahr 2017 ausgesät, die Einfachhybriden wurden aufgrund großer Heterogenität der Linien nicht weitergeführt. Der Zuchtgarten zur Ertragserfassung enthielt in diesem letzten Anbaujahr alle Linien in dreifacher Wiederholung, um die Daten möglichst gut abzusichern.

Beide Zuchtgärten wurden am 28.05.2018 mit einer vierreihigen Parzellendrillmaschine mit Accord-Scheibenschar gesät, wobei der Reihenabstand 37,5 cm betrug. Vor der Saat wurde das abgezählte Saatgut mit handelsüblichem Paniermehl gestreckt, um eine Saatedichte von 90 Pflanzen/m<sup>2</sup> möglichst exakt zu erreichen. Die Netto-Sälänge betrug im Selektionszuchtgarten 3 m und im Zuchtgarten zur Ertragsfeststellung 9 m, was zu Parzellenflächen von 4,5 m<sup>2</sup> bzw. 13,5 m<sup>2</sup> führte.

Um die einzelnen Amarantlinien vor Lagerbildung durch Wind zu schützen, wurden wie bereits 2017 doppelte Maisreihen zwischen den Parzellen angelegt. Diese Maisreihen wurden wiederum etwas später, am 01.06.2018 mit einer Accord-Einzelkornsämaschine gesät. Anders als im Versuchsjahr 2017 konnten diese Maisreihen aufgrund der Lage des Versuchs und der Ausrichtung des Felds nicht quer der Hauptwindrichtung gesät werden, sondern dienten lediglich einer sauberen Abgrenzung der Amarantparzellen und verhinderten ein gegenseitiges Umdrücken bei eventuell auftretendem Lager.

Am 12.06.2018 wurde mittels eines vierreihigen Hackgeräts im Heckanbau gehackt. Einzelne Unkräuter, die dabei nicht erfasst wurden, konnten ohne großen Aufwand mit der Hand entfernt werden.

Wie im Jahr 2017 wurde auch 2018 von jeder im Selektionszuchtgarten stehenden Amarantlinie kurz vor der Blüte eine Rispe mit einem handelsüblichen Tomatenvliesschlauch isoliert. Diese selektierten Rispen wurden am 25.09.2018 händisch abgeschnitten und auf der Biomassetrocknung getrocknet, um Saatgut für weitere Projekte oder interessierte Züchter zu erhalten. Die Ernte des Zuchtgartens zur Ertragserfassung erfolgte am 18.09.2018.

Tabelle 4: Aussaat, Ernte und Probennahme Zuchtgarten

Jahr	2015	2016	2017	2018
Versuchsfläche	Lehnerfeld	Brunnenfeld	Brunnenfeld	Platte
1. Aussaat	28.05.	23.05.	22.05.	29.05.
2. Aussaat	–	24.06.	–	–
1. Ernte	–	26.09.	16.10.	18.09.
2. Ernte	–	17.10.	–	–
Handernte Rispen	09.10.	22.09.	27.09.	25.09.
Probenahme für Spurenelementanalysen	28.09.	22.09.	21./22.09.	11.09.

#### 4.1.4.1 Bonituren und vegetationsbegleitende Datenerhebungen

Zur Ernte fand eine abschließende Bonitur aller Linien statt. Bonitiert wurden Lager und Homogenität, weiterhin wurde der Rispenanteil in Prozent geschätzt sowie Rispenform, Rispenfarbe und Kornfarbe festgehalten. Auch das letztendlich erreichte BBCH-Stadium wurde bestimmt. Im Jahr 2016 wurden nur die Parameter BBCH-Stadium, Pflanzenhöhe und Lager bestimmt. Da es für Amarant keinen einheitlichen BBCH-Code gibt, erfolgte die Festlegung der Entwicklungsstadien auf Grundlage der BBCH-Skala der Reismelde [27] (siehe Tabelle 50 im Anhang).

Die Bonituren wurden durchgeführt nach den Vorgaben des Bundessortenamts (2000) [16]. Die Noten 1 bis 9 bedeuten dabei:

- 1 = fehlende oder sehr geringe Ausprägung einer Eigenschaft,
- 2 = sehr geringe bis geringe Ausprägung einer Eigenschaft,
- 3 = geringe Ausprägung einer Eigenschaft,
- 4 = geringe bis mittlere Ausprägung einer Eigenschaft,
- 5 = mittlere Ausprägung einer Eigenschaft,
- 6 = mittlere bis starke Ausprägung einer Eigenschaft,
- 7 = starke Ausprägung einer Eigenschaft,
- 8 = starke bis sehr starke Ausprägung einer Eigenschaft,
- 9 = sehr starke Ausprägung einer Eigenschaft.

#### 4.1.4.2 Trockensubstanzgehalt und Trockenmasseertrag

Die Trockensubstanzgehalte zur Ernte für die verschiedenen Linien wurden in allen Versuchsjahren bestimmt. In den Selektionszuchtgärten wurden dafür ein bis zwei Pflanzen

bodennah abgeschnitten, mit dem Laborhäcksler gehäckselt und bei 105 °C im Trockenschrank getrocknet. Aus dem Quotienten zwischen Ein- und Auswaage, jeweils abzüglich Tara, lässt sich der Trockensubstanzgehalt berechnen.

Aufgrund der großen Anzahl an Linien in 2015 wurde in diesem Jahr keine Ertragsbestimmung durchgeführt. In den Jahren 2016, 2017 und 2018 wurde eine Ertragserfassung durchgeführt, 2016 im Selektionszuchtgarten, 2017 und 2018 in einem zusätzlich angelegten Zuchtgarten für die Ertragserfassung. Die geerntete Frischmasse pro Parzelle wurde erfasst, aus dem Häckselgutstrom eine Trockensubstanzprobe genommen und ebenfalls bei 105 °C getrocknet. Diese Trockensubstanzgehalte wurden der Ertragsberechnung zugrunde gelegt. Der Ertrag der Frischmasse wurde von der Parzellengröße auf dt/ha hochgerechnet und mit dem Trockensubstanzgehalt (TS-Gehalt) der Trockenmasseertrag (TM-Ertrag) bestimmt.

#### **4.1.4.3 Selektion**

Zwischen den Linien wurde 2015 auf mehrere Merkmale selektiert. Frühe Abreife und Standfestigkeit waren die wichtigsten Selektionsmerkmale. Die frühe Abreife ist wichtig, damit der Amarant ausreichende TS-Gehalte bei der Ernte aufweist. Standfestigkeit bzw. geringe Lageranfälligkeit bedingt eine problemlose, verlustfreie Ernte. In diesem Zusammenhang war der Rispenanteil ein weiteres Selektionskriterium. Hohe, sehr schlanke Pflanzen mit hohem Rispenanteil neigten deutlich mehr zum Umfallen und wurden aussortiert. Da im Anbaujahr 2015 keine Ertragsdaten festgehalten wurden, diente die Pflanzenhöhe als Anhaltspunkt für eine Einschätzung des Ertragspotenzials einer Linie. Farbige Linien wurden aufgrund ihrer positiven Ästhetik im Landschaftsbild bei sonst gleichen Eigenschaften bei der Selektion besonders berücksichtigt. Innerhalb der Linien wurden von den Pflanzen, die in ihrem Erscheinungsbild vollständig der Linienbeschreibung entsprachen, besonders kräftige Pflanzen für die Saatgutproduktion selektiert. Fremdbefruchtung wurde durch das Eintüten der Rispen vor der Blüte verhindert und somit Selbstbefruchtung sichergestellt.

2015 wurden sieben der Pflanzen, die interessante Merkmale aufwiesen, selektiert und 2016 als neue Linie parallel zu der ursprünglichen weitergeführt (SEL 1 bis 7). Im Jahr 2015 wurden von über 300 Linien 50 selektiert, die 2016 angebaut wurden. Drei weitere Linien kamen aus einer Samenbank hinzu (vgl. Abschnitt 4.1.3).

Im Jahr 2016 waren Standfestigkeit, frühe Abreife, hoher TS-Gehalt und hoher TM-Ertrag Selektionskriterien. Da vermutet wurde, dass die dunkelschaligen Amarantsamen ein höheres Unkrautpotenzial aufweisen, wurden hellchalige Amarantlinien bevorzugt. Auch die Spurenelementgehalte an Cobalt und Nickel aus dem Jahr 2015 wurden in die Entscheidung einbezogen. 2016 wurden weitere neun Einzelpflanzen ausgewählt (SEL 8 bis 16), die nicht der ursprünglichen Akzessionsbeschreibung entsprachen und anstatt der alten Linie im nächsten Jahr angebaut wurden. Insgesamt wurden 2016 damit 40 Linien selektiert. Diese 40 Linien wurden 2017 und 2018 weitergeführt und geselbstet, um homogenere Linien zu erhalten. Die 40 Linien beinhalten phänotypische Unterschiede, wie unterschiedlich hohe Pflanzen, unterschiedliche Blütenfarben und Rispenanteile

sowie Unterschiede in den TS-Gehalten und Trockenmasseerträgen. Es wurde nicht weiter selektiert, um ein ausreichend große Auswahl für unterschiedliche Zuchtziele bereitzustellen. Der Fokus in den Jahren 2017 und 2018 lag auf der weiteren Vereinheitlichung der Bestände.

## 4.2 Kreuzungen

Im Winterhalbjahr 2016/2017 konnten im Gewächshaus erstmals Hybriden erzeugt werden, die im Vegetationsjahr 2017 zusammen mit den Linien im Zuchtgarten zur Aussaat gebracht und geprüft wurden.

Als Elterngeneration dienten Linien aus dem Zuchtgarten 2015. Durch deren vorausgegangene Selbstung und die bewiesene Homogenität im Bestand wurde davon ausgegangen, dass die für die F<sub>1</sub>-Hybrid-Züchtung notwendige Homozygotie vorlag. Im Einzelnen wurden 14 weißkörnige Mutterlinien ausgewählt und mit bis zu vier, am besten passenden, schwarzkörnigen Vaterlinien kombiniert, sodass sich in der Summe 46 Elternpaare ergaben (vgl. Tabelle 5).

Tabelle 5: Mutter- und Vaterlinien der erzeugten Hybride im Gewächshaus

Mutterlinie	Vaterlinien			
AMA 134	AMA 033	AMA 108	AMA 110	
AMA 135 F <sub>1</sub>	AMA 247	AMA 218	AMA 033	AMA 108
AMA 136 spät	AMA 253	AMA 180	AMA 201	AMA 214
AMA 137	AMA 202 A	AMA 230	AMA 214	
AMA 141	AMA 223	AMA 230	AMA 180	
AMA 142	AMA 180	AMA 201	AMA 202 A	AMA 253
AMA 153	AMA 214	AMA 253	AMA 233	AMA 247
AMA 181 F <sub>1</sub>	AMA 201	AMA 202 A	AMA 218	AMA 233
AMA 182 A	AMA 233	AMA 247		
AMA 224	AMA 230	AMA 214	AMA 253	AMA 218
AMA 250	AMA 108	AMA 110	AMA 223	
AMA 257	AMA 110	AMA 223	AMA 230	
AMA 258	AMA 033			
AMA 260	AMA 218	AMA 247	AMA 180	AMA 201

Zur bestmöglichen Ausnutzung des Heterosiseffekts wurden Paarungen aus Genotypen mit möglichst unterschiedlichen Eigenschaften gebildet und beispielsweise eine niedrig gewachsene, standfeste Mutter mit einem ertragsstarken, aber lageranfälligeren Vater kombiniert.

Sowohl die Mutter- als auch die Vaterlinien wurden zunächst einzeln in Töpfen ausgesät. Nach Erreichen des 5-Blatt-Stadiums wurden die Pflanzen in den Töpfen vereinzelt, so dass pro Topf eine kräftige Pflanze verblieb. Nach dem Erscheinen der Rispenkegel und gleichzeitig deutlich vor dem Öffnen der ersten Blüten wurden die Elternpaare zusammengestellt und mit einem Crispac-Beutel (Hersteller: Sealed Air) umhüllt, um eine unerwünschte Bestäubung der Mutterpflanze durch benachbarte Genotypen zu vermeiden (Abbildung 9, links). Die erwünschte Fremdbestäubung der Mutterpflanze durch den Pollen der Vaterpflanze wurde hingegen gefördert, indem die Rispen über den gesamten Zeitraum der Blüte hinweg mehrmals täglich geschüttelt wurden. Nach Abschluss der Blüte wurden die Pflanzenpaare getrennt. Die Mutterlinien verblieben bis zum Zeitpunkt der Kornreife im Gewächshaus, wo der ausfallende Samen mittels speziell angefertigter Trichter aufgefangen wurde (Abbildung 9, rechts).



**Abbildung 9:** Erzeugung von Amaranthybriden im Gewächshaus mit Elternpaaren zum Zeitpunkt der Blüte (links) und Mutterpflanze mit Samentrichter zum Zeitpunkt der Einkörnung (rechts)

Eine erfolgreiche Befruchtung der ursprünglich weißkörnigen Mutterlinien durch die Vaterlinien lässt sich an der schwarzen Färbung der ausgebildeten Samen erkennen, da diese dominant vererbt wird [77]. Die verbliebenen weißen Körner wurden aussortiert, da sie durch Selbstbefruchtung entstanden sind.

Die sieben aus diesen Kreuzungen entstandenen Hybridlinien wurden 2017 im Zuchtgarten Selektion ausgesät und bonitiert.

### **4.3 Silageproduktion**

Die Aussaat für die Substratproduktion für das Partnerprojekt (Laborfermenterversuche) in Freising erfolgte am 28.05.2015 mit einer Parzellendrillmaschine (mit Accord-Scheibenschar). Die Linie Gelber Amarant aus dem Screening von 2013 zeigte damals in der Summe viele pflanzenbaulich vielversprechende Eigenschaften gekoppelt mit sehr hohen Spurenelementgehalten. Daher wurde diese Linie für die Produktion des Silagematerials für die Durchflussfermenterversuche ausgewählt. Bei 30 Monaten Versuchszeit und einer durchschnittlichen Raumbelastung von 2,0 kg oTS/je Kubikmeter und Tag ergibt sich ein Bedarf von 200 g Frischmasse pro Tag, die dem Fermenter zugefüttert werden müssen. Da die Ausgangsqualität des Substrats über den gesamten Versuchszeitraum gleich bleiben sollte, wurden ca. 150 m<sup>2</sup> Amarant ausgesät.

Nach einer Vegetationsdauer von 124 Tagen erfolgte die Beerntung des Gelben Amarants für die Silageerzeugung im Verlauf des 29. und 30.09.2015. Damit nur frisches Material für das Einsilieren zur Verfügung stand, wurde jeweils so viel Frischmasse geerntet, wie am selben Tag noch verarbeitet werden konnte. Nach der Ernte mit dem Häcksler wurde das Amarantsubstrat portionsweise zu je 250 g mit einem handelsüblichen Vakuumiergerät (Hersteller la.va, Bad Saulgau) mit einem Unterdruck von 0,8 bar eingeschweißt. Der Siliervorgang im Vakuumbbeutel dauerte ca. fünf Wochen. Um die Proben über den gewünschten Zeitraum zu konservieren, wurden diese am 27.10.2015 bei -18 °C eingefroren.

Da die Gehalte an den Spurenelementen Nickel und Cobalt des für die Durchflussfermenterversuche an der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) ausgewählten Gelben Amarants 2015 auf dem Standort Lehnerfeld deutlich unter den erwarteten Werten und unter den Werten von 2013 (ebenfalls Brunnenfeld) gelegen hatten, wurden Anbau und Abpackung von Einzelportionen im Jahr 2016 wiederholt. Damit eröffnete man sich die Option, im Falle von höheren Werten als 2015 das Substrat austauschen zu können. Dies wurde allerdings nicht durchgeführt, da die Spurenelementgehalte in einem ähnlichen Bereich wie 2015 lagen.

### **4.4 Spurenelementaufnahme von Amarant in Abhängigkeit des Standorts**

Zur Klärung der Frage, ob es Zusammenhänge von Bodenunterschieden und Spurenelementgehalten bei Amarantpflanzen gibt, wurde im Versuchsjahr 2017 die Linie Gelber Amarant an zwei unterschiedlichen Standorten gesät. Diese Standorte waren Straubing (Lössboden) und Rosenau (anmooriger Boden).

Der Versuchsstandort Straubing befindet sich im fruchtbaren „Gäuboden“, einem flachen und intensiv landwirtschaftlich geprägten Gebiet im Schwemmland der Donau. Der

Standort ist geprägt durch sehr fruchtbare, lehmige Böden mit einer guten Wasserspeicherfähigkeit und repräsentiert eine Hohertragslage. Das Klima ist im Vergleich zum anderen Versuchsstandort gemäßigt mit ausreichend Niederschlägen [51].

Der im Isartal gelegene Standort Rosenau ist ein fruchtbarer Auenboden mit hohem Humusgehalt. Im Frühjahr hat der dunkel gefärbte Boden den Vorteil, sich schnell zu erwärmen. Bei reichlichen Niederschlägen im Herbst erschwert dies jedoch die Bodenbearbeitung. Das Klima am Standort ist mild, die Temperaturunterschiede zwischen Sommer und Winter sind allerdings größer als auf den meisten anderen Standorten. Es fällt ausreichend Niederschlag, der gut gespeichert wird [51].

Im Versuch wurden Doppelparzellen angelegt mit jeweils 90 keimfähigen Körnern/m<sup>2</sup> und auf einen Sollwert von 150 kg N/ha und 20 kg S/ha gedüngt. An den in Tabelle 6 gelisteten Terminen wurde eine Probe zur Ermittlung des Spurenelementgehalts genommen.

*Tabelle 6: Übersicht Standorte, Bodenarten und Termine der Probennahmen*

Standort	Bodenart	Saat	Aufgang	Probennahme
Straubing	Löss	22.05.2017	26.05.2017	22.09.2017
Rosenau	Anmoor	24.05.2017	27.05.2017	31.08.2017

Dabei wurden je Standort acht verschieden große Pflanzen mit einem sauberen Messer so abgeschnitten, dass die Proben nicht den Boden berührten, um den Anteil anhaftender Bodenpartikel möglichst gering zu halten und die Biomasse nicht durch Bodenteilchen zu verunreinigen. Außerdem wurden vor der Aussaat Mischbodenproben der Gesamtfläche für eine Grundbodenanalyse genommen sowie am Ende des Versuchs parzellenscharfe Bodenproben. Für die Elementuntersuchungen des Bodens wurde zur Ernte eine Mischprobe der Ackerkrume am Standort Rosenau entnommen. Am Standort Straubing wurden insgesamt zehn Proben verteilt im Zuchtgarten gezogen.

## 4.5 Produktionstechnische Versuche

Die produktionstechnischen Versuche wurden immer auf derselben Fläche wie die Zuchtgärten angelegt. Das waren im Jahr 2017 der Schlag „Brunnenfeld“ und 2018 der Schlag „Auf der Platte“. Die Standorteigenschaften sind in Abschnitt 4.1.1 beschrieben.

### 4.5.1 Saatstärke

Da in der Literatur unterschiedliche Angaben zur optimalen Aussaatstärke von Amarant zu finden sind und in der Praxis Erfahrungen überwiegend zum Anbau von Amarant als Körnerfrucht und weniger als Biomasse-Pflanze vorliegen, wurde im Vegetationsjahr

2016 ein begleitender produktionstechnischer Versuch zu dieser Problematik durchgeführt.

Zur Aussaat kamen am 23.05.2016 ein Korntyp (AMA 184, helle, großkörnige Auslese, kleinwüchsig) und als Biomasse-Typ die Herkunft Gelber Amarant. Die Aussaat erfolgte ebenfalls vierreihig in Doppelparzellen mit einem Abstand von 37,5 cm und einer Netto-Sälänge von 7,2 m in einer Block-Spalt-Anlage mit vier Wiederholungen und Trennparzellen zwischen den Amaranttypen. Mittels Kernbeerntung von jeweils vier Pflanzenreihen pro Variante wurde die Biomasse jeder Parzelle erfasst. Die beerntete Fläche betrug dabei 10,8 m<sup>2</sup>. Als unterschiedliche Saatstärken wurden 30, 60, 90, 120 und 150 keimfähige Körner/m<sup>2</sup> ausgewählt.

#### 4.5.2 Stickstoffdüngerversuch

Zur Überprüfung der optimalen Stickstoffdüngung von Amarant wurde 2017 und 2018 je ein Stickstoffdüngerversuch angelegt. Je zwei Amarantlinien standen in vierfacher Wiederholung in fünf N-Düngestufen. Das waren die Linie Gelber Amarant (AMA 182) als Energietyp und eine Konsumsorte (AMA 186) als Korntyp für die menschliche Ernährung. Die Düngestufen waren 70 kg N/ha, 120 kg N/ha, 170 kg N/ha, 220 kg N/ha und 270 kg N/ha.

Die Stufen verstehen sich für 2017 als Sollwerte, d. h., zum im Frühjahr (17.03.2016) gemessenen  $N_{\min}$ -Gehalt wurde mineralisch mit ENTEC<sup>®</sup> 26 (26 %  $N_{\text{Gesamt}}$ , 13 % S) gedüngt, bis die gewünschte Düngestufe erreicht war. Bei dem gemessenen  $N_{\min}$  im Frühjahr vor der Aussaat von 68 kg  $N_{\min}$ /ha musste für die niedrigste Düngestufe also nicht gedüngt werden, für die 120 kg N/ha mussten 52 kg N/ha zum Erreichen des Sollwerts gedüngt werden. Im Frühjahr 2018 lag der  $N_{\min}$  Wert bei 28 kg  $N_{\min}$ /ha.

Um Randeffekte ausschließen zu können, wurde der Versuch in Dreifachparzellen mit 1,5 m Stirrand und einer Sälänge von 10 m angelegt. Somit wurde für die Ertragsfeststellung von einer Parzellenfläche von 45 m<sup>2</sup> nur die Kernparzelle von 10,5 m<sup>2</sup> geerntet.

Zusätzlich wurden die Spurenelementaufnahme und Inhaltsstoffe nach Soest in den verschiedenen Düngestufen untersucht. Dafür wurden parzellenscharfe Ganzpflanzenproben des GPS-Typs zur Ernte und des Korntyps zur GPS-Reife in BBCH 65 genommen sowie Korn- und Strohproben des Korntyps zur Ernte. Es wurden vier Bodenproben zur Spurenelementbestimmung gezogen mit einer Tiefe von etwa 30 cm. Die Korn- und Strohproben wurden entnommen, um eine mögliche Kaskadennutzung zu bewerten.

Gesät wurde mit einer vierreihigen Parzellendillmaschine bei einem Reihenabstand von 37,5 cm und einer Saatedichte von 90 kf. Kö./m<sup>2</sup> im Jahr 2017 und 70 kf. Kö./m<sup>2</sup> im Jahr 2018. Gedüngt wurde zu BBCH 24. Zur Messung der tatsächlichen Stickstoffaufnahme wurden vor der Saat eine  $N_{\min}$ -Probe über die Fläche und nach der Ernte parzellenscharfe  $N_{\min}$ -Proben genommen. Der GPS-Typ wurde mit dem Parzellenhäcksler geerntet. Die Frischmasse der Parzelle wurde mit der internen Waage des Haldrup-Probennehmers bestimmt. Der Korntyp konnte nur im Jahr 2018 geerntet werden, da er 2017 zu stark im

Lager lag (Abbildung 10). Er wurde mit dem Parzellendrescher gedroschen und das Korn gewogen. Aussaat-, Dünge-, Ernte- und Probenetermine stehen in Tabelle 7.



Abbildung 10: Lager im Stickstoffdüngerversuch, Korntyp 08.08.2017

Tabelle 7: Aussaat, Düngung, Ernte und Probenname im Düngerversuch

Linie	Pflanzenteil	Aussaat	Düngung	Probenahme Spurenelement- analyse	Probenahme Inhaltsstoff- analyse	Ernte
<b>2017</b>						
Jahr						
Korntyp	GP	22.05.	09.06.	04.08.	03.08.	–
	Stroh und Korn			22.08.		–
GPS-Typ	GP	22.05.	09.06.	20.09.	17.10.	17.10.
<b>2018</b>						
Jahr						
Korntyp	GP	29.05.	04.07.	20.08.	16.08.	
	Stroh und Korn			13.09.	12.09.	12.09.
GPS-Typ	GP	29.05.	04.07.	10.09.	13.09.	13.09.

GP: Ganzpflanze

#### 4.5.2.1 Analyse wertgebender und ungewollter Inhaltsstoffe

Um Aufschluss über die Zusammensetzung des Pflanzenmaterials und dessen Verdaulichkeit zu erhalten, wurden in Anlehnung an die Futtermittelanalytik die wertgebenden Inhaltsstoffe bestimmt. Neben der Quantifizierung von Rohasche, Rohprotein, Rohfett, Rohfaser und N-freien Extraktstoffen nach dem Weender Verfahren erfolgte eine Erweiterung der Analyse nach van Soest (NDF, ADF und ADL). Zusätzlich analysiert wurden Stärke und Nitrat. Im Rahmen der Mineralstoffanalyse wurden die Gehalte von Phosphor, Kalium und Magnesium im Erntegut bestimmt. Zur Analyse des Kornes werden die Rohproteingehalte sowie Gehalte des Mykotoxins Deoxynivalenol (DON) gemessen. Hemicellulose, Cellulose und die Nichtfaser-Kohlenhydrate können aus den analysierten Werten berechnet werden. Die Inhaltsstoffe der Weender Analyse sind in Abbildung 11 grafisch dargestellt.

Die Analysen werden vom Landeskontrollverband Brandenburg e. V. unter Verwendung der nachfolgenden Standardprozeduren durchgeführt:

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

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

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

**Rohfaser (XF):** VDLUFA MB Bd. 3, Abschnitt 6.1.1,

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

**NDF (van Soest):** *neutral detergent fibre*; Gehalt an pflanzlichen Zellwandgerüstsubstanzen; VDLUFA MB Bd. 3, Abschnitt 6.5.1, dabei handelt es sich vor allem um Hemicellulose, Cellulose und Lignin,

**ADF (van Soest):** *acid detergent fibre*; VDLUFA MB Bd. 3, Abschnitt 6.5.2, Fraktion enthält Cellulose und Lignin,

**ADL (van Soest):** *acid detergent lignin*; VDLUFA MB Bd. 3, Abschnitt 6.5.3, Lignin,

**Stärke:** VDLUFA MB Bd. 3, Abschnitt 7.2.1,

**Nitrat:** akkreditierte Hausmethode WSD MET 215 2006-12, Verfahren hinsichtlich Aussagefähigkeit gleichwertig zu VDLUFA MB Bd. 3, Methoden 4.9.1 und 4.9.2,

**Mineralstoffe:** VDLUFA MB Bd. 3, Abschnitt 10.8.2,

**Mykotoxin Deoxynivalenol (DON):** DIN EN 15791 2009-12; Analyseprinzip identisch mit VDLUFA MD Bd. 3, Methode 16.12.1,

**NFC (van Soest):** *non-fibre carbohydrate*; indirekte rechnerische Bestimmung aus der Differenz zwischen Trockenmasse und der Summe aus Rohfett-, Rohprotein-, Rohasche und NDF; die Nichtfaser-Kohlenhydrate stellen die löslichen Kohlenhydrate wie Stärke, Zucker und Pektine dar,

**Hemicellulose:** Differenz zwischen NDF und ADF,

**Cellulose:** Differenz zwischen ADF und ADL.

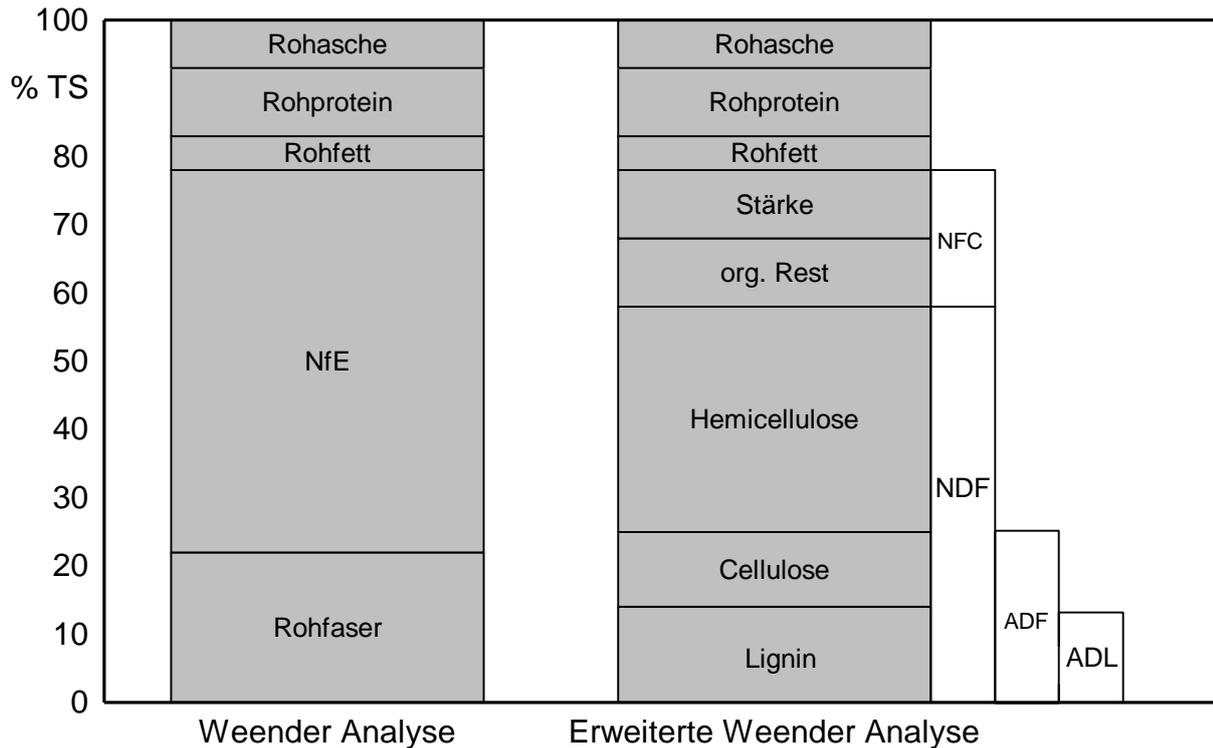


Abbildung 11: Weender Analyse und erweiterte Weender Analyse nach van Soest, verändert nach [115]

#### 4.5.2.2 Biogas- und Methanausbeute

Die Biogas- und Methanausbeuten wurden 2017 von dem Institut für Landtechnik und Tierhaltung der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL-ILT) gemessen. Dafür wurden Batchversuche nach VDI 4630 der VDLUFA [109] durchgeführt. Getestet wurden die Ganzpflanze (GP) des Energietyps (AMA 182) und das Stroh des Korntyps (AMA 186) von der 170-kg-N/ha-Variante.

Zur Berechnung des Gasertrags wurde die Gleichung von Dandikas *et al.* 2014 [26] verwendet. Diese ist artübergreifend auf verschiedene Kulturen anwendbar und nutzt nur ADL und Hemicellulose (HC) als Parameter in der Regressionsgleichung. Berechnet werden damit die Gasausbeute in L/kg oTM und die Methanausbeute in L/kg oTM. Die genaue Berechnung ist in den Formeln 4.1 und 4.2 zu sehen. Die Gasausbeute ist dabei mit  $Y_B$  (*Yield Biogas*) abgekürzt, die Methanausbeute mit  $Y_M$  (*Yield Methane*) und die Hemicellulose mit HC.

$$Y_B[L/kg \text{ oTM}] = 727 + 0,25HC[g/kg] - 3,93ADL[g/kg] \quad (4.1)$$

$$Y_M[L/kg \text{ oTM}] = 371 + 0,13HC[g/kg] - 2,00ADL[g/kg] \quad (4.2)$$

### 4.5.3 Mischanbau von Mais und Amarant

Um den praktischen Nutzen eines Mischanbaus von Amarant und Mais abzuschätzen, wurde zu dieser Fragestellung am 29.05.2018 ein Versuch in Blockanlage mit vier Varianten in vier Wiederholungen angelegt. Amarant und Mais wurden jeweils in Reinkultur angebaut sowie auch in zwei Mischanbauvarianten. Diese unterschieden sich im Säzeitpunkt des Mais. Dieser wurde in einer Variante 13 Tage (11.06.2018) nach dem Amarant gesät, in der anderen Variante gleichzeitig mit dem Mais. Für den Amarant wurde die Linie AMA 182 (Gelber Amarant) gewählt, die Maissorte war Stacey. Im Mischanbau kamen auf eine Reihe Amarant zwei Reihen Mais, der Maisanteil überwog also. Die genauen Reihenabstände und Saaddichten sind in Tabelle 8 zu sehen, der Versuchsaufbau in Abbildung 12. Im Weiteren wird der Mischanbau von Amarant und Mais als „A&M-früh“ bezeichnet und die Mischanbauvariante mit verzögerter Maisaussaat als „A&M-spät“.

Am 13.09.2018 wurde der Versuch mit dem Parzellenhäcksler geerntet. Die geerntete Frischmasse pro Parzelle wurde durch den Haldrup-Probennehmer bestimmt und die Proben für Spurenelementgehalte und Weender-Proben entnommen. Die Weender-Proben wurden anschließend bei 60 °C im Trockenschrank getrocknet, die Spurenelementprobe bei 105 °C jeweils bis zur Gewichtskonstanz. Die Spurenelementprobe diente hierbei auch zur Bestimmung der Trockensubstanz.



Abbildung 12: Mischanbauversuch 13.07.2018

*Tabelle 8: Reihenabstände und Saaddichten sowie Saatzeitpunkte der Varianten Amarant, Mais, A&M-früh und A&M-spät im Mischanbauversuch, M steht für Mais, A steht für Amarant*

Varianten	Kultur	Amarant	Mais	A&M-früh	A&M-spät
Reihen/Parzelle		4	2	3: M-A-M	3: M-A-M
Reihenabstand in cm		37,5	75	50	50
Saaddichte: Körner/m <sup>2</sup>	Mais		10,3	7,8	7,8
	Amarant	70		25	25
Saatzeitpunkt	Mais		29.05.2018	29.05.2018	11.06.2018
	Amarant	29.05.2018		29.05.2018	29.05.2018
Abstand in der Reihe in cm	Mais		13	17	17
	Amarant	3,8		2,4	2,4

#### 4.5.4 Durchwuchsverhalten von Amarant

Zur Überprüfung des Durchwuchsverhaltens des Amarants wurde 2017 ein mehrjähriger Versuch zum Einfluss der Linie, der Bodenbearbeitung und der Nachfrucht auf das Aufkommen und die Bekämpfung auflaufenden Durchwuchsamarants etabliert. Dazu wurden auf einer Länge von 57 m eine hellchalige (SON 2) und eine dunkelchalige (A-MA 234) Linie gesät. Es wurden jeweils drei Parzellen einer Linie nebeneinander angelegt und alternierend wiederholt. Nach der Ernte wurde bei einer Wiederholung eine nicht wendende Bodenbearbeitung mit dem Grubber, bei der anderen Wiederholung eine wendende Bodenbearbeitung mit dem Pflug praktiziert. In den jeweiligen Blöcken wurden die in Biogasfruchtfolgen üblichen Nachfrüchte Winterweizen, Mais und Zuckerrüben gesät. Dadurch ergaben sich zwölf mögliche Kombinationen wie in Tabelle 9 und Abbildung 13 erkenntlich.

Tabelle 9: Versuchsplan zum Durchwuchsverhalten von Amaranth

Variante	Amarantlinie	Bodenbearbeitung	Nachfrucht
1	SON 2	Nicht wendend	Winterweizen
2	SON 2	Nicht wendend	Silomais
3	SON 2	Nicht wendend	Zuckerrübe
4	SON 2	Wendend	Winterweizen
5	SON 2	Wendend	Silomais
6	SON 2	Wendend	Zuckerrübe
7	AMA 234	Nicht wendend	Winterweizen
8	AMA 234	Nicht wendend	Silomais
9	AMA 234	Nicht wendend	Zuckerrübe
10	AMA 234	Wendend	Winterweizen
11	AMA 234	Wendend	Silomais
12	AMA 234	Wendend	Zuckerrübe

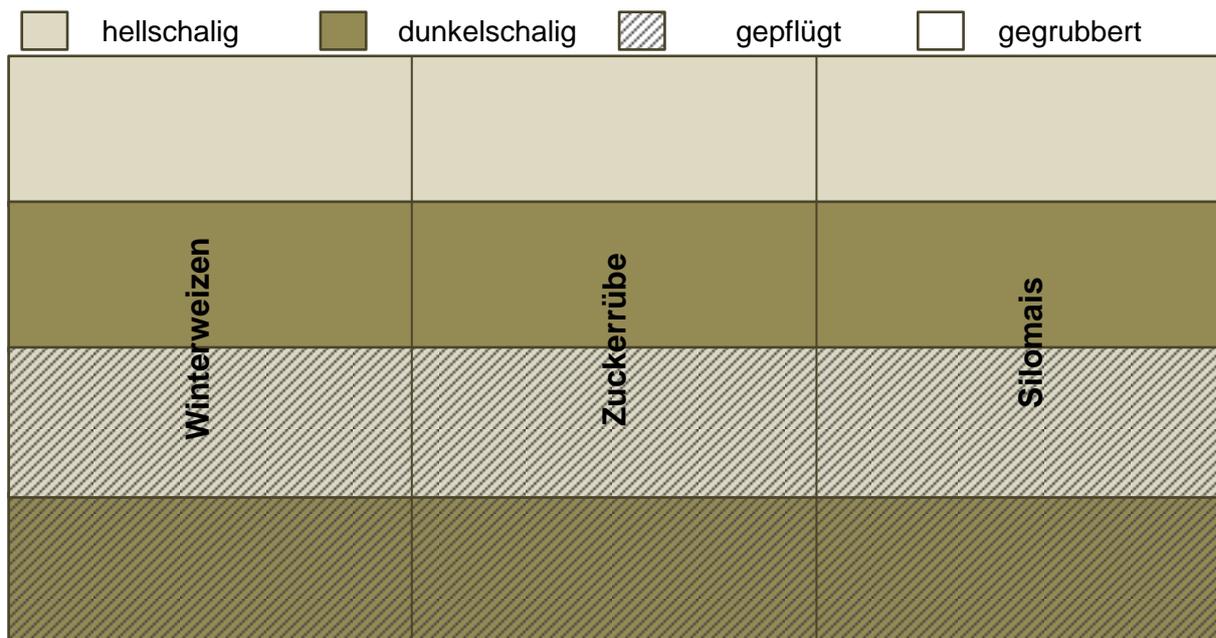


Abbildung 13: Versuchsschema Durchwuchsversuch

Im Jahr 2018 wurden die Nachfrüchte des Durchwuchsversuchs gesät und mit praxisüblichen Herbizidstrategien der auflaufende Ausfallamarant bekämpft. Bei Winterweizen wurden bei einer Frühjahrsbehandlung 150 g/ha Broadway + 0,6 l/ha FHS appliziert. Bei den Zuckerrüben wurde eine Standardherbizidstrategie mit drei Nachauflaufbehandlungen im Keimblatt (NAK) durchgeführt. Zwischen der zweiten und der dritten NAK erfolgte jedoch eine Stoppspritzung mit 30 g/ha Debut. Eine Stoppspritzung ist eine Notfallmaßnahme bei stark auftretendem Unkrautbefall. Der Mais wurde im Vierblattstadium mit

1,6 l/ha Clio super behandelt. Es wurde eine regelmäßige Versuchskontrolle durchgeführt. Dabei war die Lage so eindeutig, dass eine dezidierte Auszählung des Durchwuchses nicht nötig war.

#### **4.5.5 Keimfähigkeit von Amarant nach unterschiedlichen Expositionszeiten im Fermenter**

Um überprüfen zu können, wie sich unterschiedliche Expositionszeiten auf die Keimfähigkeit von Amarantsamen im Gärrest auswirken, wurde vom 01.02.2017 bis zum 02.03.2017 ein Versuch mit fünf verschiedenen Verweildauern durchgeführt. Aufgrund der Vermutung, dass dunkelkörnige Samen im Gärrest höhere Keimfähigkeiten aufweisen könnten, wurde sowohl eine hellkörnige (Gelber Amarant, AMA 182) als auch eine dunkelkörnige (AMA 234) Amarantlinie getestet, indem mit speziellen Beuteln Samen in die Durchflussfermenter der LfL eingehängt wurden. Die Expositionszeiten waren für beide Linien jeweils ein, drei, fünf, sieben und zehn Tage. Die Proben wurden nach der jeweiligen Verweildauer im Probefermenter eingeschweißt und bis zum Versuchsende gekühlt. Anschließend wurden in zehnfacher Wiederholung Keimproben von jeweils 100 Körnern pro Expositionszeit in Petrischalen angelegt und nach sieben Tagen ausgezählt.

Darüber hinaus wurden zwei weitere Versuche angelegt, einmal ein Versuch mit Gärrest und einer mit Amarantsilage. Dafür wurden in vier 20-Liter-Töpfen jeweils 500 ml Gärrest aus den Durchflussfermentern auf der Bodenoberfläche verteilt. Auch die Amarantsilage wurde auf Keimfähigkeit getestet. Dafür wurden jeweils 250 g Silage auf vier 10-Liter-Töpfe aufgeteilt und auf die Bodenoberfläche verteilt. Beide Varianten wurden im Gewächshaus bei 17,1 °C Tagesdurchschnittstemperatur einer Keimprobe unterzogen. Beide Versuche wurden nach sieben Tagen ausgezählt, der Versuch mit Silage nochmals nach zwölf Tagen. Als Substrat im Topf wurde torfhaltige Blumenerde verwendet. Die Amarantsilage stammte vom Gelben Amarant, die auch für die Experimente im Durchflussfermenter genutzt wurde.

### **4.6 Multielementanalysen (Spurenelemente)**

*Autor des Unterkapitels: Dr. Benedikt Sauer, IZNE*

#### **4.6.1 Pflanzenproben**

Die Probenahme für die Spurenelementanalyse erfolgte jeweils im Herbst wenige Tage vor der pflanzenbaulichen Ernte des TFZ. In den Versuchsjahren 2015 und 2016 wurden je selektierte Linie jeweils drei bis vier Pflanzen mit einem sauberen Messer so abgeschnitten, dass die Proben nicht den Boden berührten, um den Anteil anhaftender Bodenpartikel möglichst gering zu halten und die Biomasse nicht durch Bodenteilchen zu verunreinigen. Spurenelementgehalte im Boden sind wesentlich höher konzentriert als im Pflanzenmaterial. Daher ist die Gefahr recht groß, die Konzentrationen der Pflanzenprobe durch anhaftendes Bodenmaterial zu verfälschen. Zum Beispiel liegt für Cobalt zwischen der Bodenkonzentration (ca. 10 mg/kg) und der Konzentration in der Pflanze

(ca. 0,05 mg/kg) der Faktor 200. Wenn an einer verunreinigten Pflanzenprobe von 1 kg Trockenmasse nur 500 mg Bodenmaterial anhaften, würde sich der gemessene Cobaltgehalt in der Pflanzenprobe um 10 % erhöhen. Nach einem kleinen erfolgreichen Vorversuch wurden in den Jahren 2017 und 2018 die Amarantpflanzenproben für die Spurenelementanalytik analog der oben beschriebenen pflanzenbaulichen Probenernte durchgeführt. Somit wurden ab 2017 im Labor gehäckselte Pflanzenproben, die deutlich besser als Einzelpflanzen den Bestand repräsentieren, zur Elementanalytik genutzt.

Die Analysen der Spurenelemente wurden für die selektierten Linien aus dem Zuchtgarten, den Düngeversuchen, den Standortversuchen sowie dem Mischanbau durchgeführt. Die für den Biogasprozess wichtigsten Zielelemente der Analyse waren Cobalt, Nickel, Eisen, Kupfer, Mangan, Molybdän, Natrium und Zink.

Die Proben wurden am TFZ gehäckselt und bei 105 °C im Trockenschrank bis zur Gewichtskonstanz getrocknet und danach an Dr. Sauer übergeben. An der Universität Göttingen wurden die Proben mit der Schneidmühle (Fritsch Pulverisette) analysefein gemahlen und dabei weiter homogenisiert. Im Zuge der Probenvorbereitung für die Bestimmung der Elementkonzentrationen wurden die pulverisierten Pflanzenproben zusammen mit Blind- und Referenzproben im seriellen Säuretotalaufschlussverfahren in Anlehnung an Sauer und Ruppert [95] unter Einsatz eines hochreinen Gemischs aus 65%iger Salpetersäure (HNO<sub>3</sub>), 40%iger Flusssäure (HF) und 70%iger Perchlorsäure (HClO<sub>4</sub>) vollständig in Lösung gebracht. Die Multielementanalysen erfolgten über die Methoden *Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometry* (ICP-OES) am Gerät Agilent 5100 VDV sowie *Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry* (ICP-MS) am Gerät Thermo Scientific iCAP Q. Diese beiden Geräte zur Multielementanalytik im Haupt-, Spuren- und Ultraspurenelementbereich liefern für die meisten Elemente mehrere leicht voneinander abweichende Elementkonzentrationen für verschiedene Elementlinien und -massen, die zur Auswahl stehen. Für Nickel erhält man z. B. acht verschiedene Nickellinien und -massen, die unterschiedlich stark von Interferenzen, Peak-Überlagerungen, Oxidbildungsraten, Intensitätsdrift, Isotopenhäufigkeiten und der Nachweisgrenze abhängig sind. Durch eine immer wiederkehrende Messung und Auswertung internationaler und hausinterner Referenzproben als unbekannte Probe in jedem Probenstich ist es möglich, die Nickellinie bzw. -masse auszuwählen, die der mutmaßlich „wahren“ Konzentration in der Probenlösung am nächsten kommt.

Um eine verfälschte Darstellung der Elementkonzentrationen in den Pflanzen durch anhaftendes Bodenmaterial am Pflanzenmaterial zu vermindern, wurden die Elementgehalte der Pflanzenproben über ein mathematisches Korrekturverfahren von anhaftendem Bodenmaterial bereinigt. Die so erhaltenen Elementdaten können als physiologische Gehalte angesehen werden [88] [95].

#### 4.6.2 Bodenproben

Um Aussagen über die Aufnahme von Spurenelementen aus dem Boden treffen zu können, wurde in regelmäßiger Verteilung auf der Fläche für die Substratproduktion und dem Zuchtgarten Bodenmaterial aus der Tiefe von 0 bis 30 cm entnommen. Dies stellt

den hauptsächlichen Durchwurzelungsbereich der Amarantpflanzen dar. Die Bodenproben wurden an der Universität Göttingen gesiebt (< 2 mm), bei 105 °C getrocknet und mit der Achatkugelmühle (Fritsch Pulverisette) analysefein gemahlen. Danach erfolgten wie bei den Pflanzen beschrieben ein Säuretotalaufschluss (für Böden zusätzlich mit 20%iger Salzsäure HCl) und die anschließende Elementmessung und -auswertung.

An ausgewählten Bodenproben von den Versuchsjahren wurden Ammoniumnitratextraktionsversuche (nach DIN 19730) durchgeführt. Diese Extraktionsmethode ist ein Versuch, die potenziell pflanzenverfügbaren Spurenelemente im Boden zu bestimmen. In Vorhaben, bei denen jeweils die gleiche Pflanzensorte an diversen Standorten angebaut wird, bietet diese Methode die Chance zur Entwicklung einer Elementprognosemethode des Ernteguts anhand einer vorangehenden Bodenprobe. Dies konnte in dem hier beschriebenen Projekt allerdings nicht realisiert werden.

#### **4.7 Statistische Auswertung**

Für die statistische Auswertung des Datenmaterials wurde SAS 9.3 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) verwendet. Varianzanalysen wurden mit der Prozedur GLM als einfaktorielle Blockanlage durchgeführt, mit anschließendem Mittelwertvergleich mit dem Tukey-Test. Als Signifikanzniveau wurde immer  $\alpha = 0,05$  angenommen. Im Düngeversuch wurde aufgrund fehlender Werte der „least square mean“ der Mittelwert der kleinsten Quadrate berechnet und der Standardfehler anstelle der Standardabweichung ausgegeben. Bei der Varianzanalyse geht man von einheitlichen Restfehlern aus, somit ist dann der berechnete Standardfehler gleich für alle Stufen, die keine Fehlstellen hatten. Daher wurde er in Grafiken und Tabellen nicht dargestellt.

Für die Zuchtgärten konnte nur im Jahr 2018 eine Varianzanalyse durchgeführt und Korrelationen berechnet werden, da nur in diesem Jahr Wiederholungen angelegt wurden.

## 5 Ergebnisse und Diskussion

### 5.1 Zuchtgarten: Screening und Selektion verschiedener Amarantlinien

#### 5.1.1 Bestandsentwicklung im Zuchtgarten von 2015 bis 2018

##### Jahr 2015

Bedingt durch eine kurze Hitzeperiode und fehlenden Niederschlag direkt nach der Aussaat liefen die Pflanzen im Zuchtgarten verzögert und leicht ungleichmäßig auf. Erst durch ergiebigeren Regen zwei Wochen nach der Aussaat kamen viele Nachaufläufer zur Keimung (siehe Abbildung 14), wodurch sich für die größeren Pflanzen ein Wachstumsvorsprung von einigen Tagen ergab.



Abbildung 14: Verzögerter Auflauf von Amarantsämlingen im Zuchtgarten 2015

Bei zu großem Vorsprung gegenüber später gekeimten Pflanzen wurden einzelne große Pflanzen aus der Reihe/den Reihen entfernt, sodass hier keine Bevorteilung bezüglich der Abreife einzelner Pflanzen erfolgen konnte. Im Laufe der Vegetation hat sich dieser Unterschied jedoch weitestgehend verwachsen (Abbildung 15), sodass letztendlich eine verhältnismäßig hohe Gleichmäßigkeit der Pflanzenentwicklung innerhalb der Linien gegeben war.



*Abbildung 15: Amaranthbestand nach 60 Tagen Vegetationsdauer 2015*

Die Entwicklung der Kultur verlief anschließend normal, der Reihenschluss erfolgte zügig. Ein nennenswerter Unkrautdruck trat nicht auf. Ab Ende Juni bis weit in den August hinein kam es erneut zu einer anhaltenden Hitze- und Trockenphase. Aufgrund der guten Wassereffizienz von Amaranth waren trotz dieses enormen Wassermangels keine gravierenden Trockenstresssymptome an den Pflanzen erkennbar. Obwohl ab Ende August Niederschläge einsetzten, blieb ein größerer Massenzuwachs aus und die meisten Pflanzen blieben deutlich niedriger als im Screening-Versuch des Jahres 2013. Ein bedeutsames Ausmaß an Lager konnte bei den Pflanzen nicht beobachtet werden, was auch auf das trockene Vegetationsjahr und die geringere Pflanzenhöhe zurückzuführen sein dürfte. Um speziell deutliche Unterschiede in der Lagerneigung zwischen den Linien feststellen zu können, hätte es womöglich höherer Niederschlagsmengen bedurft, da die Pflanzen durch schnelleres und höheres Wachstum instabiler werden und somit leichter umfallen.

Auch der September blieb deutlich zu trocken. Trotz der fehlenden Niederschläge zum Ende der Vegetationsperiode hatte dies jedoch keine positiven Auswirkungen auf die Abreife-Geschwindigkeit der Amaranthpflanzen (Abbildung 16).



Abbildung 16: Amaranthbestand kurz vor der Ernte 2015

Aufgrund der trockenen Witterung während der gesamten Vegetationsperiode konnten im Vergleich zum Screening 2013 keine pilzlichen Schadbilder an den Pflanzen festgestellt werden. Ebenso traten keine nennenswerten Fraßschäden von Kohleulen auf.

### **Jahr 2016**

Im Gegensatz zu den Witterungsbedingungen 2015, welche sich durch hohe Temperaturen und Trockenheit ausgezeichnet hatten, war das Anbaujahr 2016 von vielen Niederschlägen und mehrmaligen Starkregenereignissen geprägt. Bedingt durch die nur kurze Hitzeperiode und den fehlenden Regen direkt nach der Aussaat liefen die Pflanzen im Zuchtgarten verzögert und leicht ungleichmäßig auf. Sieben Tage nach der Aussaat, als ein Großteil der Sämlinge die obere Bodenschicht noch nicht durchstoßen hatte, ging auf dem Versuchsfeld ein Regenschauer mit über 80 mm innerhalb weniger Stunden nieder, was, bedingt durch den hohen Schluffanteil im Lössboden, zum Verschlämmen des Saatbetts führte (Abbildung 17).



*Abbildung 17: Verschlämmtes Saatbett im Amarant-Zuchtgarten 2016 eine Woche nach der Aussaat*

Durch die warmen Bodentemperaturen und weitere Niederschläge während dieser Phase erfolgte dennoch ein problemloser Durchtritt der Keimlinge durch den Boden. Es waren keine nennenswerten Ausfälle im Bestand der jeweiligen Parzellen zu beobachten. Auch das anschließende rasche Abtrocknen und Verkrusten des Bodens konnte die Amarantsämlinge nicht in ihrem Wachstum behindern, es folgte eine zügige Jugendentwicklung des Bestands (Abbildung 18).



*Abbildung 18: Amarantbestand nach 14 Tagen Vegetationsdauer in 2016*

Weitere zwei Wochen später, als nochmals heftige Niederschläge (ca. 100 mm) mit Hagel und Sturmböen auftraten, zeigten sich an den noch jungen Amarantpflanzen Schäden am Blattapparat (vgl. Abbildung 19). Deutlich sind die zerrissenen Blätter zu erkennen. Einige Pflanzen, bei denen der Vegetationskegel beschädigt wurde, zeigten vermehrten Wiederaustrieb aus den Blattachseln, in Abbildung 19 zu erkennen an den roten jungen Blättern.



*Abbildung 19: Hagelschaden an Amarantpflanzen im Jahr 2016*

Sehr vereinzelt, an den Rändern der Anlage, konnten auch Pflanzen mit verfrüht einsetzender Blüte beobachtet werden. Für den Großteil des Bestands hatte das Witterungsereignis jedoch keine Auswirkungen auf den weiteren Vegetationsverlauf. Nach einem zügigen Reihenschluss der Bestände etwa sechs Wochen nach der Aussaat entwickelten sich diese vor dem Hintergrund optimaler Wachstumsbedingungen üppig und mit hohem Zuwuchs an Biomasse.

Gut eine Woche vor der Ernte zog am 17.09.2016 ein weiterer Regenschauer mit über 70 mm und heftigen Windböen über das Versuchsfeld hinweg. Ein Großteil der Linien der Anlage 1 des Zuchtgartens, die bis zu diesem Zeitpunkt noch alle aufrecht gestanden hatten, knickte in der Mitte ab oder ging ins Lager (Abbildung 20). Die Pflanzen in Anlage 2, welche zu diesem Zeitpunkt noch geringere Wuchshöhen aufwiesen, waren weniger stark betroffen als die Pflanzen in Anlage 1.



Abbildung 20: Lagernder Amaranthbestand in Anlage 1 nach Regenschauer und Wind kurz vor der Ernte 2016

Das Auftreten pilzlicher Schaderreger war während der Vegetationsphase nicht zu beobachten. Lediglich nach dem Hagel begannen die abgebrochenen Pflanzen, an den Bruchstellen rasch zu faulen. Fraßschäden von Kohleulen (*Mamestra brassicae*) traten vermehrt am Ende der Kulturzeit auf, was jedoch keine bedeutenden Ertragseinbußen zur Folge hatte.

### **Jahr 2017**

Im Versuchsjahr 2017 waren optimale Bedingungen für den Auflauf der Amaranthbestände gegeben. Nachdem in ein trockenes, gut abgesetztes Saatbett gesät werden konnte, brachte ein kurz darauf folgender geringer Niederschlag mit darauffolgender warmer Witterung den Amaranth schnell zum Auflaufen. Diese warme Witterung führte am 01.07.2017 zu einem schnellen und gleichmäßigen Reihenschluss (Abbildung 21). Durch die etwas spätere Saat des Mais konnte ein gleichschnelles Längenwachstum von Amaranth und Mais erreicht werden. Dadurch wurde eine Beeinträchtigung der Amaranthbestände durch eventuell höher wachsenden Mais ausgeschlossen. Hitzegewitter im Sommer führten dazu, dass einige Linien ins Lager gingen.



Abbildung 21: Zuchtgarten zur Ertragserfassung kurz vor Reihenschluss, 23.06.2017

### **Jahr 2018**

Im Jahr 2018 war der Frühling sehr warm und trocken. Bereits im April fehlten 32 mm Niederschlag im Vergleich zum langjährigen Mittel, was einherging mit hohen Temperaturen und in einer stark negativen Wasserbilanz resultierte. Dieses Muster setzte sich im Mai fort, wodurch für die Amarantsamen zur Aussaat am 29.05.2018 kaum Feuchtigkeit im Boden war und der Feldaufgang extrem unregelmäßig wurde. Die Pflanzen, die früher keimen und tiefe Wurzeln ausbilden konnten, hatten einen deutlichen Entwicklungsvorsprung gegenüber den anderen Pflanzen. Trotz hoher Niederschläge im Juni waren die Entwicklungsunterschiede Anfang Juli noch deutlich zu sehen (Abbildung 22) und in einigen Linien noch im September vorhanden. Die Trockenheit im Juli und August wirkte sich in einer geringeren Pflanzenhöhe aus als in den beiden Jahren zuvor, aber Trockenstresssymptome waren nicht erkennbar. Zur Reife und Ernte bewirkte die heiße und trockene Witterung höhere TS-Gehalte als in den Vorjahren.



Abbildung 22: *Ungleichmäßiger Aufgang, 06.07.2018*

### 5.1.2 Trockensubstanzgehalte und Trockenmasseertrag

#### Jahr 2015

Aufgrund der hohen Anzahl von Prüflinien und der geringen Parzellengröße wurde auf eine kostenintensive Ertragserhebung und -auswertung verzichtet, sodass dieses Merkmal im ersten Selektionszyklus nicht bewertet und somit keine Rückschlüsse auf die Ertragsleistung gezogen werden konnte. Da jedoch eine ausreichende Abreife für eine gute Silierbarkeit eines Biogassubstrats gegeben sein muss, wurde am Ende der Vegetation bei der Ernte von den selektierten Linien der TS-Gehalt bestimmt.

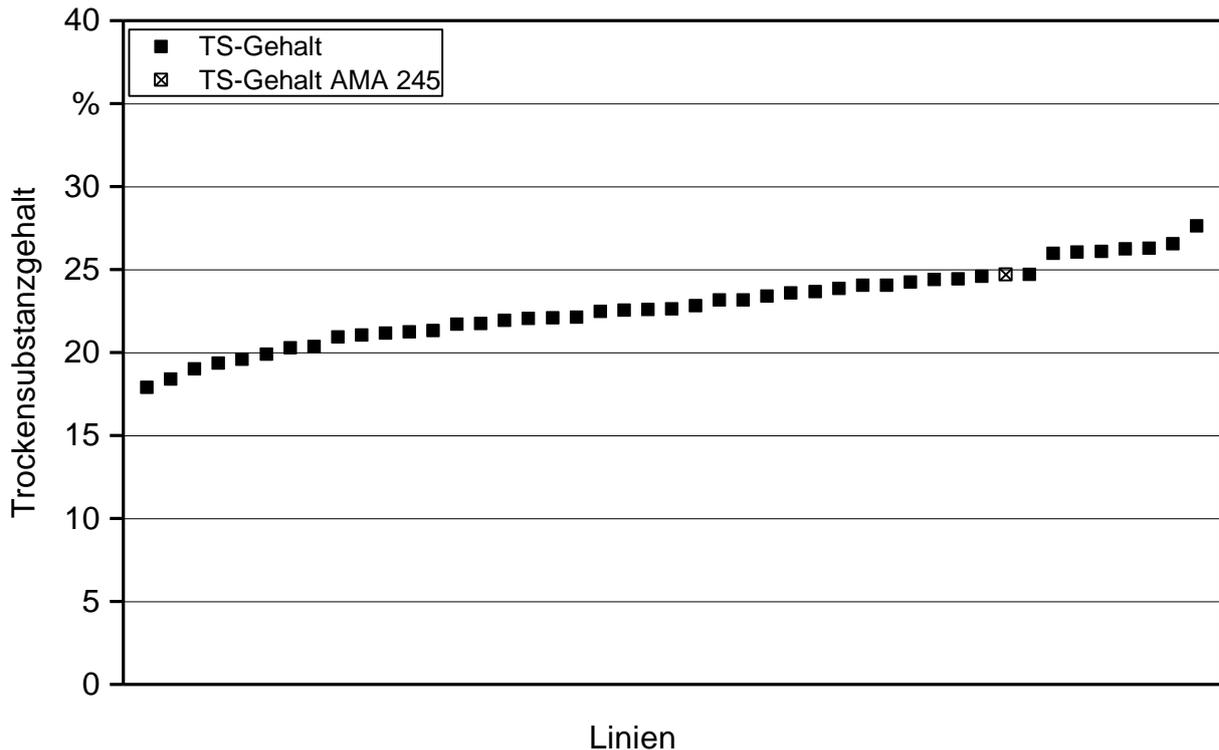


Abbildung 23: Trockensubstanzgehalte der im Zuchtgarten selektierten Sorten 2015

Eine Übersicht über die TS-Gehalte der für 2016 selektierten Pflanzen zeigt Abbildung 23, eine detaillierte Ansicht der Werte ist in Tabelle 30 im Anhang aufgeführt. Die meisten Linien lagen 2015 im Bereich zwischen 20 und 25 % TS-Gehalt, nur sehr wenige erreichten trotz einer Vegetationsdauer von 123 Tagen 25 % oder mehr (Abbildung 23). Der Mittelwert lag bei 22,45 % TS. Ein Zusammenhang von Reifegrad (BBCH-Stadium) und TS-Gehalt war näherungsweise erkennbar. So hatte die Linie AMA 192 den niedrigsten TS-Gehalt. Dies zeigte sich auch phänotypisch, da die Pflanze zum Erntezeitpunkt erst in der Blüte stand. Um Jahreseinflüsse bewerten zu können, wurde eine Linie, AMA 245, in Abbildung 23 markiert. Im Jahr 2018 lag ihr TS-Gehalt im oberen Bereich.

Bei einigen Pflanzen wurden zudem verschiedene Pflanzenteile auf den TS-Gehalt hin untersucht, um zu sehen, welchen Einfluss der Rispenanteil auf den TS-Gehalt der ganzen Pflanze hat. Während der TS-Gehalt des Stängels im Durchschnitt bei 18,1 % lag (Mittelwert aus drei verschiedenen Linien), betrug der TS-Gehalt der Rispen derselben Linien im Mittel 30,3 %. Ein hoher Rispenanteil einer Linie kann somit für einen geringeren Wassergehalt der Ganzpflanze sorgen.

Um die Reife für die Amarantsilage für die Dauerfermenter abschätzen zu können, wurde im wöchentlichen Abstand der TS-Gehalt des Gelben Amarants (AMA 182) überprüft (Abbildung 24).

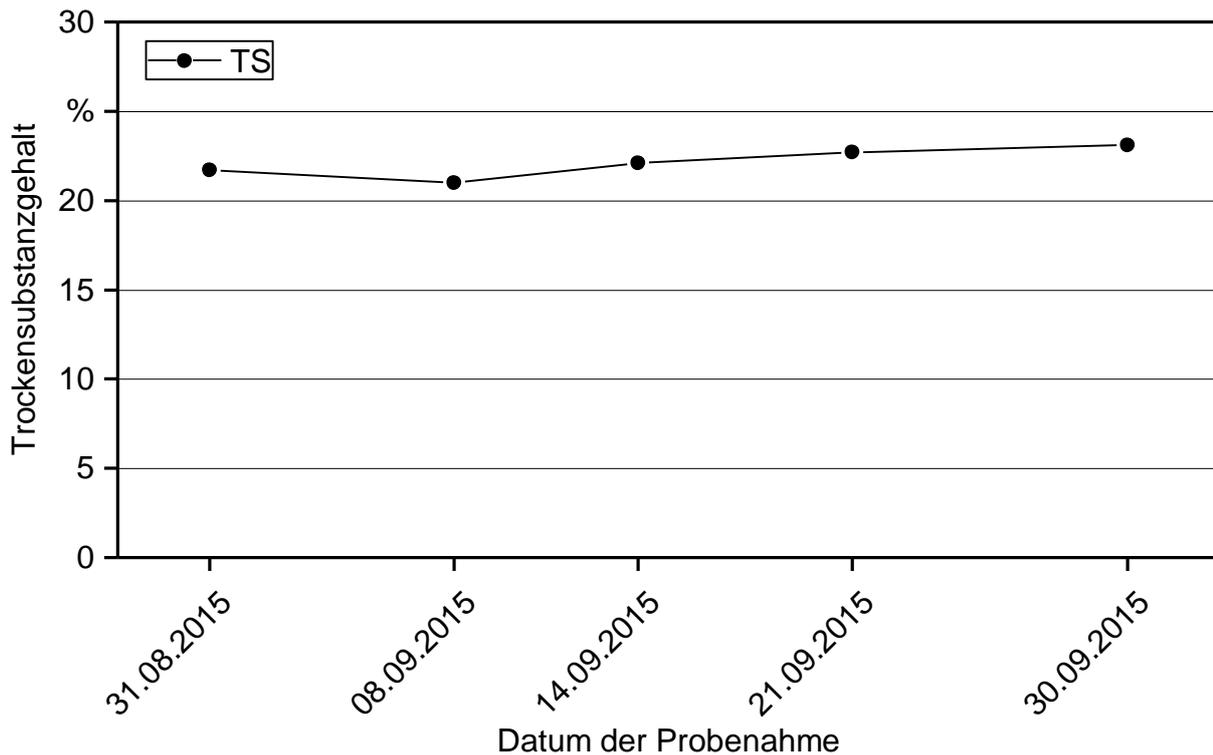


Abbildung 24: Verlauf des Trockensubstanzgehalts der Linie Gelber Amaranth für Silageproduktion 2015

Trotz der warmen Witterung zu Ende der Vegetation stieg der TS-Gehalt über den Beobachtungszeitraum nur noch geringfügig an und blieb deutlich unter dem angestrebten Wert von 28 %.

### Jahr 2016

Ein wichtiges Merkmal bei der Selektion von Amaranth für den Anbau unter den klimatischen Bedingungen Bayerns ist die ausreichende Abreife innerhalb der gewünschten Vegetationszeit von Mai bzw. Juni bis Anfang Oktober. Ziel war es, den Landwirten Sorten zur Verfügung zu stellen, die silierfähige TS-Gehalte aufweisen und gleichzeitig einen hohen Gesamtertrag erzielen. Daher wurde im Anbaujahr 2016 neben dem TS-Gehalt auch der Parzellenertrag jeder einzelnen Linie erhoben, um anschließend den TM-Ertrag zu ermitteln.

Einen Überblick über die realisierten TS-Gehalte und Trockenmasseerträge der zum Anbau gebrachten Linien vermitteln die Grafiken in Abbildung 25 und Abbildung 26. Die zugehörigen Werte sind Tabelle 43 im Anhang zu entnehmen.

Die meisten Linien der Anlage 1 lagen im Bereich zwischen 17 und 22 % TS-Gehalt, nur sehr wenige erreichten trotz einer Vegetationsdauer von 126 Tagen annähernd 25 % (Abbildung 25). Der durchschnittliche TS-Gehalt aller Linien lag im Versuchsjahr 2016 bei 19,7 %, während im Versuchsjahr 2015 im Mittel noch 22,6 % erzielt werden konnten. Diese doch sehr deutliche Differenz ist aller Wahrscheinlichkeit nach auf die unterschiedlichen Witterungsbedingungen zurückzuführen. Während 2016 durch sehr hohe Niederschlagsmengen gekennzeichnet war, stellte die Wasserversorgung im sehr hei-

ßen und trockenen Sommer 2015 den limitierenden Faktor dar. Eine Abhängigkeit der realisierbaren TS-Gehalte vom Aussattermin war unter den Witterungsbedingungen im Versuchsjahr 2016 kaum mehr wahrnehmbar. Trotz einer um vier Wochen späteren Aussaat lagen die TS-Gehalte der Herkünfte in Anlage 2 mit einem Mittelwert von 18,7 % TS nur geringfügig niedriger als in Anlage 1. Die längere Standzeit der Pflanzen bis Mitte Oktober ergab eine nur um neun Tage kürzere Vegetationszeit, sodass sie ein vergleichbares Niveau des Reifezustands wie die früher ausgesäten Pflanzen aufwiesen.

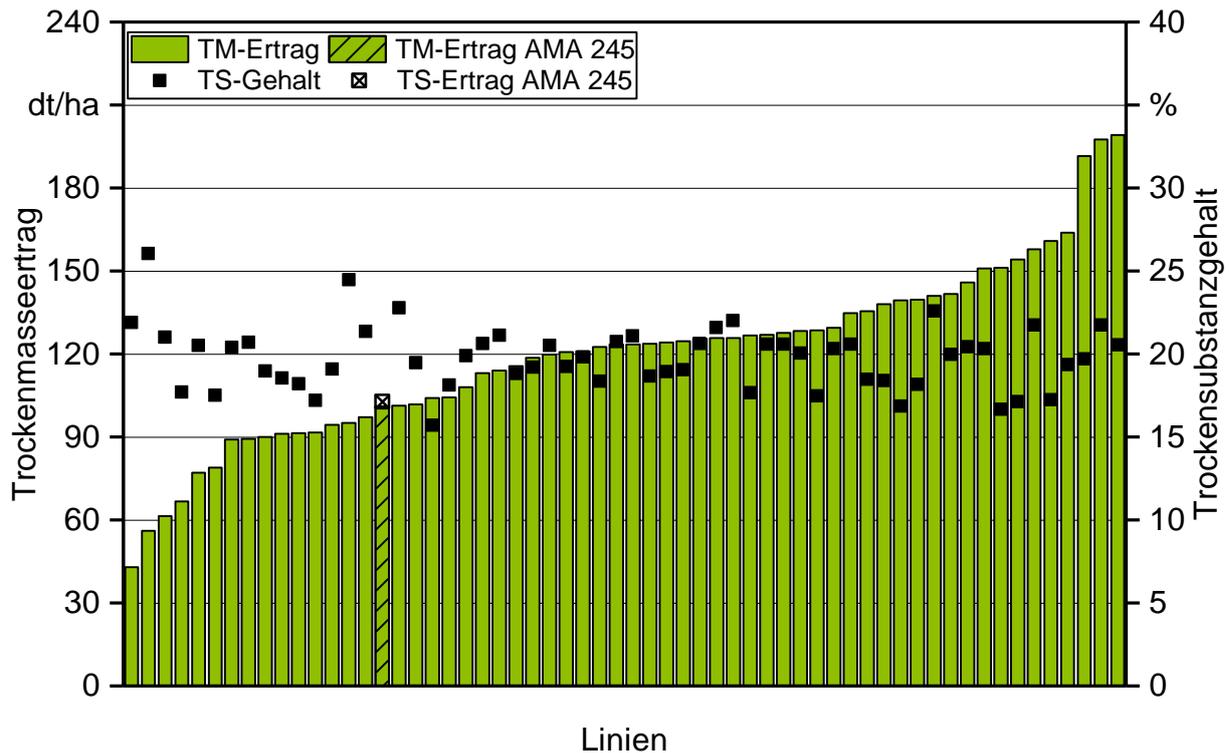


Abbildung 25: Trockensubstanzgehalte und Trockenmasseerträge der Linien im Zuchtgarten 2016, Anlage 1

Deutliche Unterschiede zeigten sich im Vergleich der Trockenmasseerträge der beiden Anlagen. Im Durchschnitt aller Herkünfte lagen die Erträge der Anlage 1 knapp 30 dt/ha über den Erträgen der Anlage 2. Die Linie AMA 245 hat in beiden Anlagen im Jahr 2016 vergleichsweise niedrige TM-Erträge sowie TS-Gehalte (Abbildung 26).

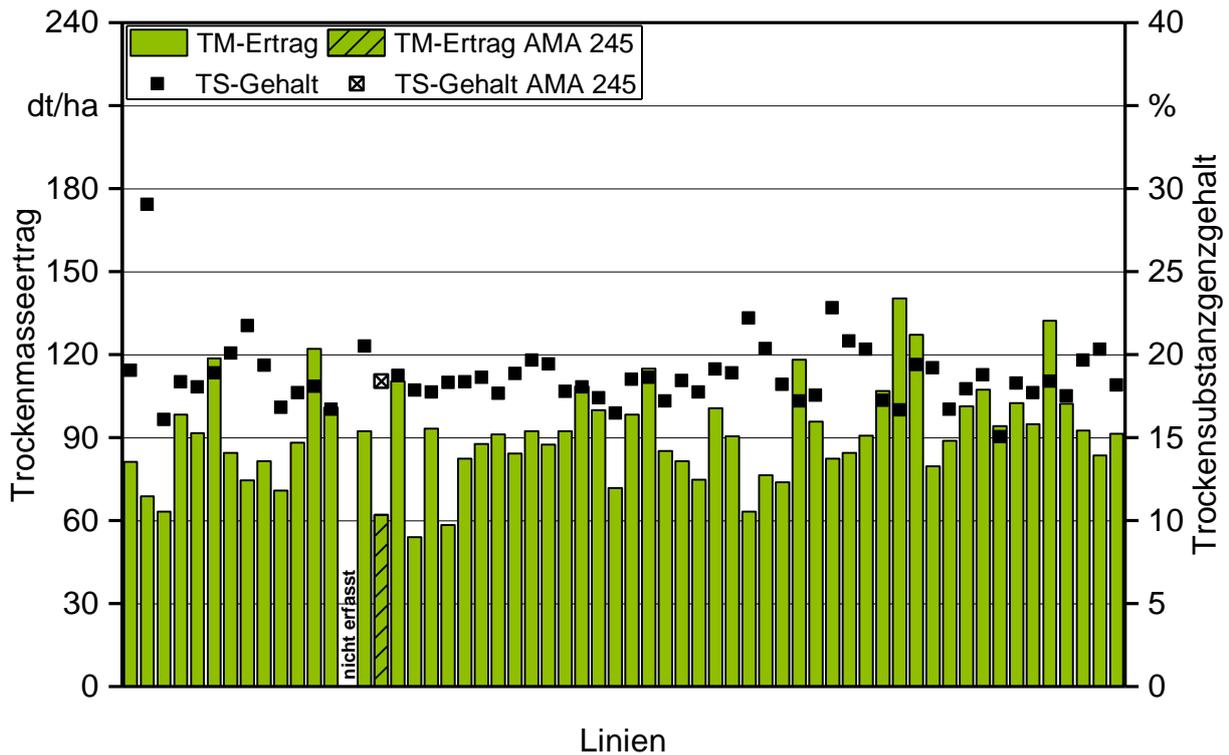


Abbildung 26: Trockensubstanzgehalte und Trockenmasseerträge der Linien im Zuchtgarten 2016, Anlage 2

Wesentliche Rückschlüsse auf das Abreifeverhalten von Amaranth konnten aus der wöchentlichen Ermittlung der TS-Gehalte im Bestand des Gelben Amaranths (AMA 182) gezogen werden. Die Beprobung wurde durchgeführt, um die optimale Silierreife der Pflanzen zur Silageproduktion für die Durchflussfermenter abschätzen zu können. Abbildung 27 zeigt den Verlauf des TS-Gehalts während der letzten acht Wochen der Vegetation. Die Grafik verdeutlicht, dass der angestrebte TS-Gehalt von 28 % nicht erreicht und ab September gleichzeitig kein Anstieg der Trockensubstanz mehr erzielt werden konnte. Diese Beobachtung bestätigte sich auch im Saatstärken-Versuch. Trotz fortschreitender Samenreife blieb der TS-Gehalt über einen längeren Zeitraum auf einem Niveau von ca. 22 %. Erst bei beginnendem Absterben der Rispe und der Blättern trocknete der Bestand weiter ab und erreichte einen TS-Gehalt von 28 %.

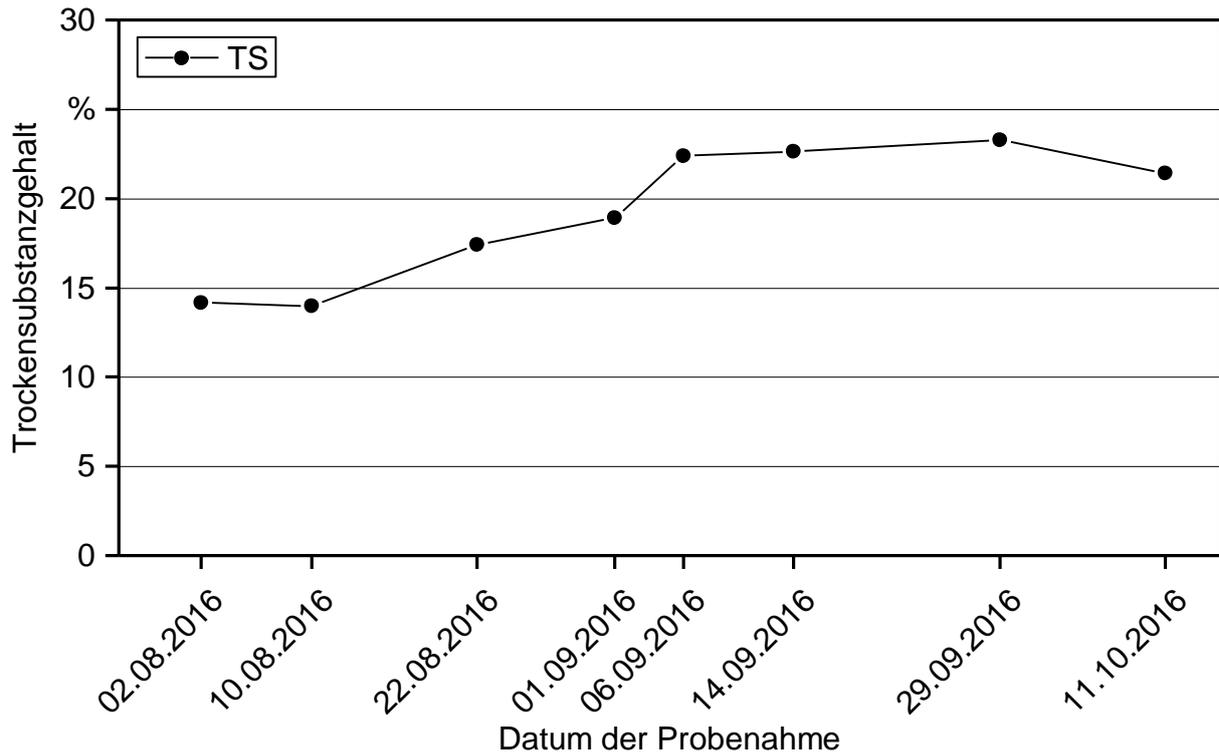


Abbildung 27: Verlauf des Trockensubstanzgehalts des Gelben Amarants für Silageproduktion 2016

### Jahr 2017

Im Zuchtgarten 2017 wurden die 40 selektierten Linien aus 2016 angebaut. Um die Ergebnisse aus dem Jahr 2016 abzusichern, wurden wieder der TS-Gehalt und der TM-Ertrag der Linien ermittelt. Bei einer Vegetationsdauer von 120 Tagen erreichte der Amaranth einen TS-Gehalt von 20,6 % TS. Die meisten Linien lagen im Bereich zwischen 19,0 und 22,2 % TS, nur einige wenige kamen über 24 % TS. Damit lag der TS-Gehalt über dem von 2016, aber unter dem von 2015. Der mittlere TM-Ertrag von 120,8 dt/ha ist vergleichbar mit dem von Anlage 1 in 2016, aber wie in Abbildung 28 im Vergleich zu Abbildung 25 zu sehen ist, war die Streuung der Daten im Jahr 2017 sehr viel geringer. Zwischen 2016 und 2017 hat sich der Zuchtgarten von 60 auf 40 Sorten verringert und einige Linien wurden durch Einzelpflanzenselektionen ausgetauscht. Dadurch sind gerade im unteren Ertragsbereich einige Linien weggefallen. Die Linie AMA 245 hatte 2017 einen niedrigen TM-Ertrag, der TS-Gehalt lag bei 20,7 % TS.

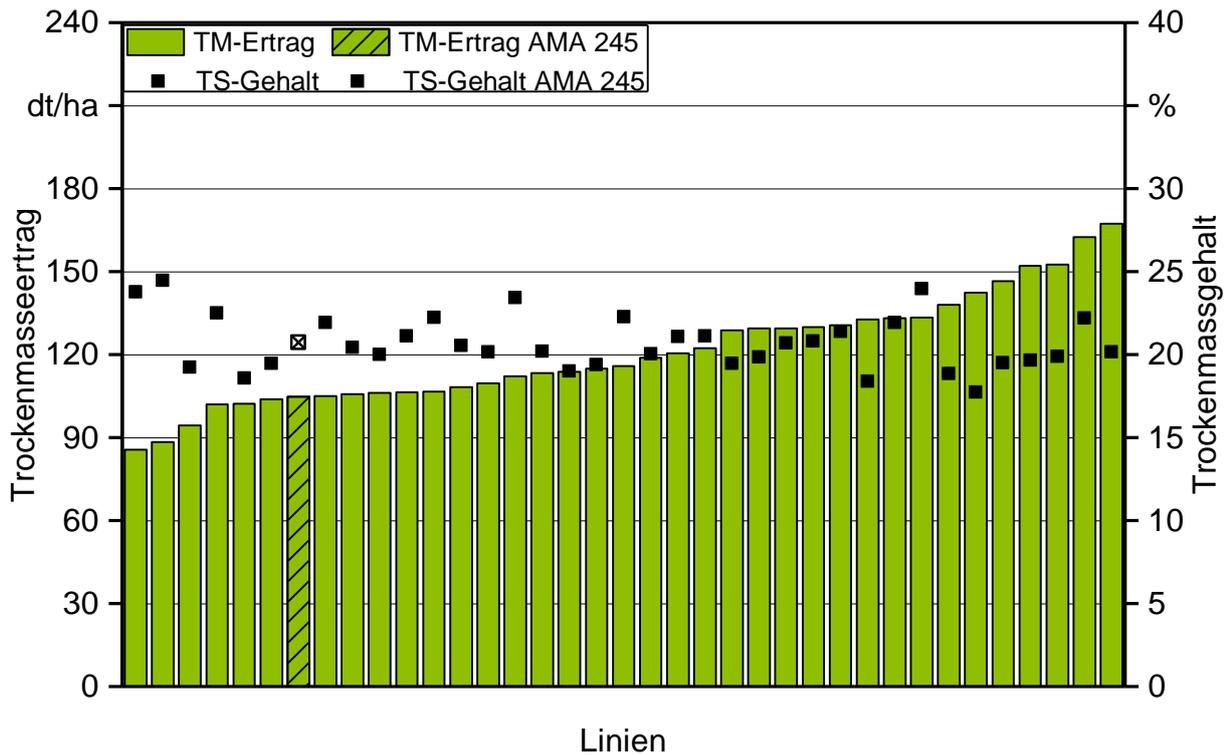


Abbildung 28: Trockensubstanzgehalte und Trockenmasseerträge der Linien im Zuchtgarten 2017

### Jahr 2018

Um eine präzise statistische Berechnung durchführen zu können, wurde der Zuchtgarten im Jahr 2018 in drei Wiederholungen angelegt. Die Ergebnisse sind in Abbildung 29 zu sehen. Die heiße Witterung mit vielen Sonnenstunden hat sich deutlich auf den TS-Gehalt und TM-Ertrag ausgewirkt. Der Mittelwert lag bei 22,9 % mit den meisten Werten zwischen 20,9 % TS und 24,9 % TS, wobei das Maximum bei 26,1 % TS lag. Für Amaranth sind das ausgesprochen gute Werte, auch wenn das Ziel von 28 % TS nicht erreicht wurde. Damit lag der TS-Gehalt für 2018 über den Werten für 2016 und 2017. Im Jahr 2015, auch ein trockenes und warmes Jahr, bewegten sich die TS-Gehalte in einem ähnlichen Bereich.

Die meisten Trockenmasseerträge in 2018 lagen zwischen 151,7 dt/ha und 187,3 dt/ha mit einem Mittelwert von 169,5 dt/ha. Hier zeigte sich die hohe Wassernutzungseffizienz [6] nach Reihenschluss von Amaranth, der trotz der Trockenheit in Juli und August zu hohem Biomasseaufwuchs fähig war. Als C4-Pflanze hat Amaranth einen höheren Wärmebedarf, dem die Temperaturen in 2018 entgegenkamen.

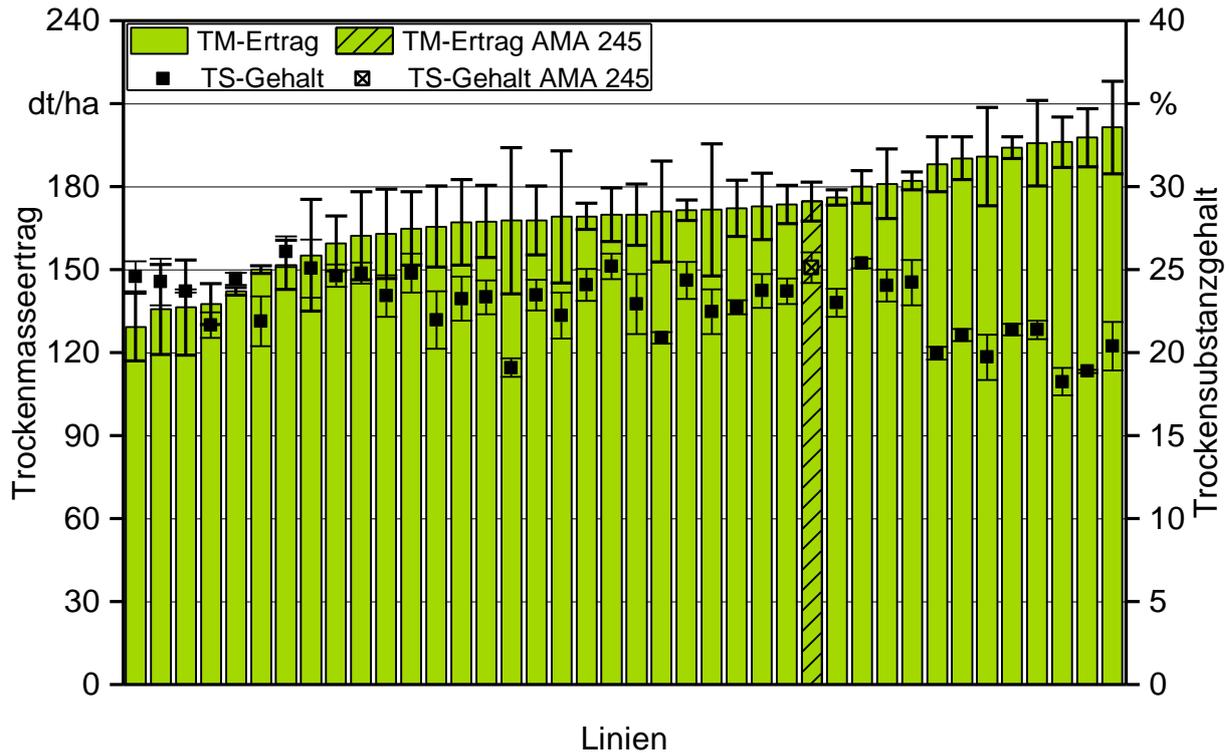


Abbildung 29: Mittelwerte der Trockensubstanzgehalte und Trockenmasseerträge der Linien im Zuchtgarten 2018, Fehlerbalken stellen die Standardabweichung dar

Sieht man sich das Verhältnis von TS-Gehalt zu TM-Ertrag an, fällt auf, dass die Linien mit einem hohen TM-Ertrag einen geringen TS-Gehalt haben. Daher wurden die Korrelationen zwischen TS-Gehalt (% TS), Frischmasseertrag (FM dt/ha) und TM-Ertrag (TM dt/ha) berechnet, zu sehen in der Streumatrix in Abbildung 30. In der oberen Hälfte sind die Streudiagramme abgebildet, in der unteren Pearsons Korrelationskoeffizienten mit Angabe zum Signifikanzniveau. Die positive Korrelation zwischen Frisch- und TM-Ertrag war zu erwarten. Linien mit sehr hohem Frischmasseertrag hatten einen niedrigeren TS-Gehalt (Korrelationskoeffizient  $-0,73859$ ). Es gab eine negative Korrelation zwischen TS-Gehalt und FM-Ertrag sowie zwischen TS-Gehalt und TM-Ertrag. Wie in Abbildung 31 zu sehen ist, hatten die besonders ertragreichen Linien einen besonders niedrigen TS-Gehalt. Ziel war es, einen hohen TM-Ertrag zu erhalten bei ausreichendem TS-Gehalt. Linien, die im Jahr 2018 dafür infrage kamen, sind AMA 245, SEL 16, AMA 205 und AMA 137. Auch eine Kreuzung aus Linien mit sehr hohem TS-Gehalt und Linien mit sehr hohem TM-Ertrag wäre eine erfolgversprechende Möglichkeit. Die Linie AMA 245, die 2018 einen guten Kompromiss darstellte aus hohem TS-Gehalt und noch gutem TM-Ertrag, hatte in den Jahren 2016 und 2017 ertragsmäßig im unteren Bereich gelegen und auch die TS-Gehalte waren niedriger gewesen. Das zeigt exemplarisch, dass Linien, die in einem Jahr gut abschneiden, im Folgejahr mit anderen klimatischen Bedingungen eine sehr viel geringere Leistung erbringen können.

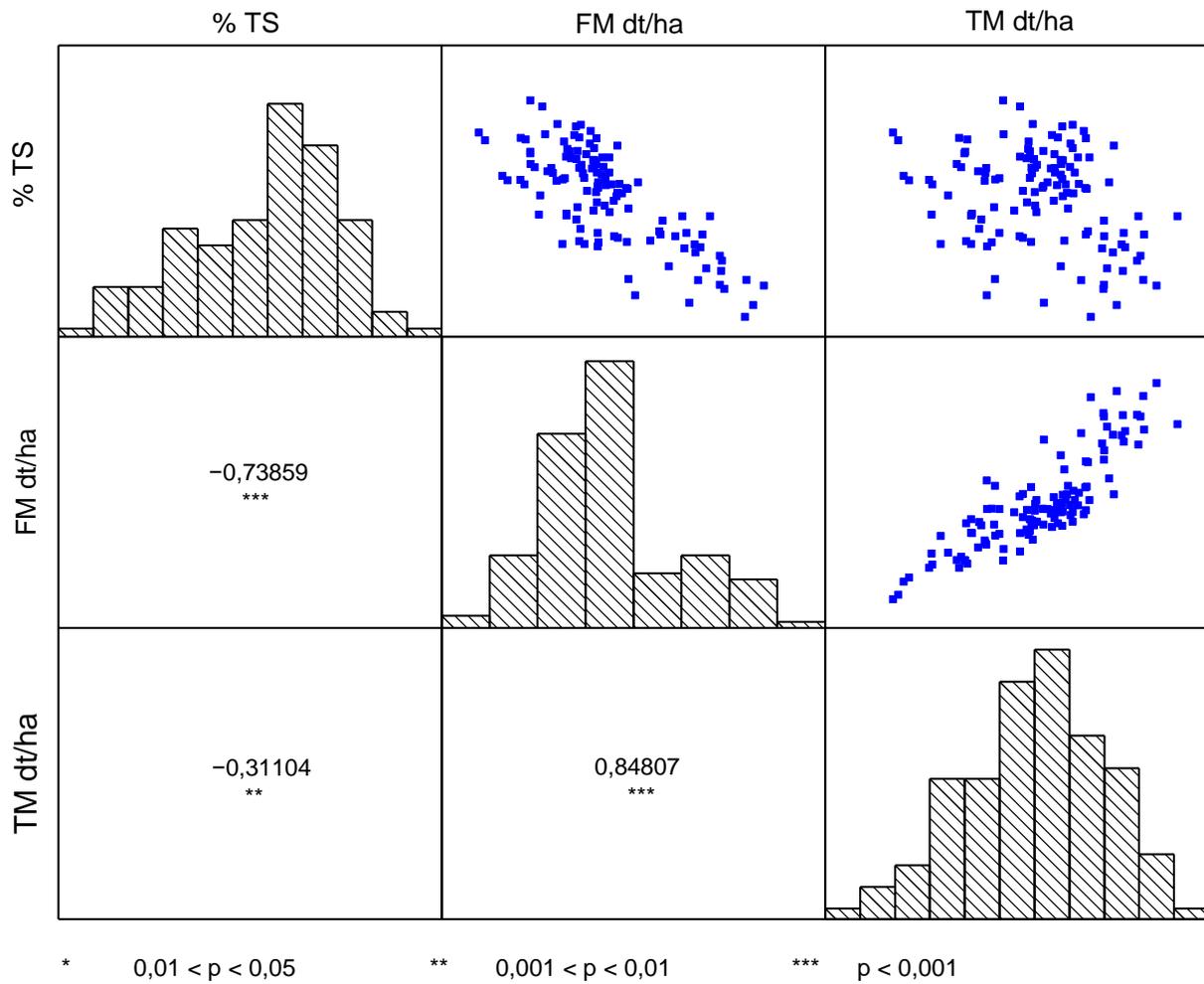


Abbildung 30: Streumatrix mit Pearson Korrelationskoeffizienten für Trockensubstanzgehalt, Frischmasseertrag sowie Trockenmasseertrag, Zuchtgarten 2018

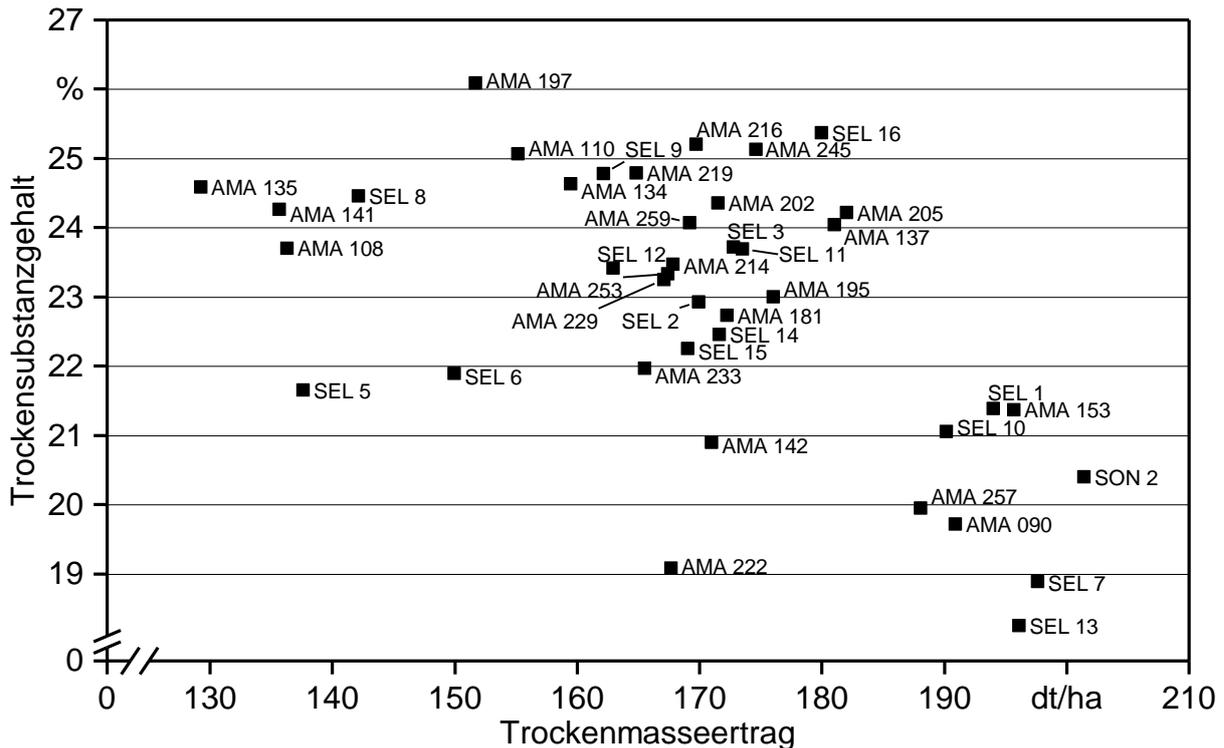


Abbildung 31: Trockensubstanzgehalt und Trockenmasseertrag im Zuchtgarten 2018

### Betrachtung über alle Jahre

Der Trockensubstanzgehalt von Amaranth liegt generell unter den für die Silierung angestrebten 28 %. In Versuchen in Deutschland wurden Gehalte von 15,6 % TS [49] bis 27,6 % TS [20] gemessen. Die TS-Gehalte der Zuchtgärten lagen im Mittel zwischen 19,7 und 22,9 %. Damit liegen sie im Vergleich im Mittelfeld. Das Minimum lag bei 15,7 % TS und das Maximum bei 26,1 % TS.

Im Ergebnis lässt sich damit nicht leugnen, dass bis dato keiner der betrachteten Genotypen einem Anspruch von 28 % TS, verbunden mit einer verlustarmen Silierbarkeit, genügt. In der Gesamteinschätzung als Biogaspflanze würde man der Kultur jedoch nicht gerecht werden, wenn man die aktuell erzielbaren TS-Gehalte als alleiniges Kriterium in Bezug auf die Anbauwürdigkeit von Amaranth heranziehen würde. Denn auch andere Kulturen, wie z. B. Mais, konnten nur durch umfangreiche Züchtungsarbeit an die heutige Ertragsleistung und Abreife herangeführt werden.

In der Literatur liegen die Trockenmasseerträge von Amaranth zwischen 85,5 dt/ha TM [65], 85,6 dt/ha TM [47] und 130 dt/ha TM [20]. Die Trockenmasseerträge im Zuchtgarten lagen in der sehr spät gesäten Anlage 2 im Jahr 2016 nur bei 90 dt/ha TM, in Anlage 1 im Jahr 2016 wurden 119,7 dt/ha TM erreicht. 2017 lag der TM-Ertrag bei 120 dt/ha M und 2018, bei warmen Temperaturen und viel Sonnenschein, sogar bei 169,5 dt/ha TM. Das zeigte das enorme Ertragspotenzial von Amaranth unter den richtigen klimatischen Bedingungen. Auch wenn Amaranth jetzt noch ertragsmäßig unter Mais liegt, kann er doch durch die gute Wassernutzungseffizienz in Zukunft interessant werden, sollten die Sommer heißer und trockener werden. Um auch in kälteren Jahren zuverlässig einen

hohen Ertrag zu liefern, bedarf es allerdings noch züchterischen Fortschritts. Zum jetzigen Zeitpunkt ist Amarant nicht ertragssicher genug, um eine Alternative zu Mais darzustellen.

### 5.1.3 Spurenelementgehalte

*Autor des Unterkapitels: Dr. Benedikt Sauer, IZNE*

Die Spurenelementanalyse wurde durch die Projektgruppe Bioenergie am Interdisziplinären Zentrum für Nachhaltige Entwicklung (IZNE) der Universität Göttingen durchgeführt. Zur Analyse standen die Linien im Zuchtgarten, da die Spurenelementgehalte ein wichtiges Selektionskriterium für die weitere züchterische Bearbeitung darstellen sollten. Ein besonderes Augenmerk galt dabei dem Gelben Amarant (AMA 182), der als Co-Substrat für den Langzeitgärversuch in den Durchflussfermentern der LfL angebaut wurde.

Als Bezug für die erzielten Ergebnisse dienen die Spurenelementgehalte von Silomais. Ergänzend wurden auch die Spurenelementgehalte im Oberboden des Versuchsstandorts ermittelt. Denn wie vorangegangene Versuche mit Buchweizen und Quinoa zeigen konnten, hängt die Spurenelementkonzentration im Pflanzenmaterial natürlich auch von der Spurenelementkonzentration im durchwurzelbaren Bereich des Bodens ab [107]. Welcher Anteil der Spurenelemente von den Pflanzen aufgenommen wird, wird beeinflusst von verschiedenen Faktoren. In erster Linie hängt die Aufnahme vom Element und der Kultur ab und kann mit dem Transferfaktor vom Boden in die Pflanze beschrieben werden. Weitere Einflussgrößen stellen der pH-Wert, die Düngung, die Bindungsform des Elements, die Witterung, Krankheiten und Schädlinge, die Bodenbearbeitung, der Wasserhaushalt und wahrscheinlich sogar die Symbiose mit Mykorrhiza dar.

Vor allem Cobalt (Co) ist als essenzielles Element für die Methan bildenden Archaeen in Biogasanlagen mit viel Maisinput besonders wichtig. Da Cobalt nicht zu den für Pflanzen essenziellen Mikronährelementen zählt (es wird lediglich als für Leguminosen günstig wirkendes Element betrachtet [76]), ist es sehr schwierig, dieses Element mittels Pflanzen den Methan bildenden Mikroorganismen in ausreichender Menge zur Verfügung zu stellen.

Wie bereits in Unterkapitel 4.6 beschrieben kann anhaftendes Bodenmaterial die Spurenelementgehalte in den Pflanzenproben stark beeinflussen. Daher werden für die Zielsetzung hier die um dieses anhaftende Material mathematisch bereinigten Elementdaten dargestellt.

Tabelle 10 zeigt die Elementmittelwerte der im Zuchtgarten gemessenen Amarantpflanzen ( $n = 199$ ) im Vergleich mit Elementgehalten von Mais ( $n = 5$ ). In der dritten Spalte ist der Faktor, wie weit das jeweilige Element im Amarant über dem von Mais liegt, aufgetragen. Es fällt auf, dass mit Ausnahme von Kupfer die Amarantpflanzen immer ein Vielfaches an den dargestellten Elementen gegenüber Mais besitzen. So enthalten die Amarantpflanzen mit 3,8 % Kalium und 1,6 % Calcium die vier- bis fünffache Konzentration gegenüber Mais. Das für den Biogasprozess nötige Cobalt ist im Amarant in achtfach

höherer Konzentration enthalten. Es muss aber darauf hingewiesen werden, dass auch die Schadelementkonzentration in Amaranth deutlich über der in Mais liegt. So zeigen die Analysen, dass Cadmium in vierfach und Thallium in neunfach höherer Konzentration als in Mais vorliegen.

Weitere wichtige Spurenelemente, die den Fermentationsprozess in der Biogasanlage positiv beeinflussen können, sind Eisen (Fe), Mangan (Mn), Kupfer (Cu), Molybdän (Mo), Natrium (Na) und Zink (Zn). Diese Elemente liegen im Vergleich zu Cobalt und Nickel generell in höheren Konzentrationen in Pflanzen und anderen verwendeten Biogassubstraten vor. Ein Mangel dieser Elemente im Biogasfermenter ist daher weniger wahrscheinlich.

*Tabelle 10: Vergleich der mittleren Elementgehalte der Amaranthpflanzen (n = 199) im Projekt mit Mais (n = 5)*

	Amarant	Mais	Faktor Amaranth über Mais
in mg/kg TS			
P	3352	2130	1,6
K	37.866	8830	4
Mg	4704	2129	2,2
S	2388	962	2,5
Ca	16.100	3403	5
Co	0,07	0,01*	7
Cr	0,7	0,4	1,6
Cu	4,3	4,8	0,9
Fe	69	53	1,3
Mn	42	25	1,7
Mo	0,8	0,3	2,4
Na	26	< 14	3,7
Ni	0,6	0,4	1,5
Zn	20	15	1,3
<b>Schadelemente</b>			
Cd	0,9	0,02	4
Tl	0,013	< 0,003	9
Sb	0,03	0,01	2
Cs	0,13	0,03	4

\* Cobaltgehalt von Mais kompiliert mit eigenen Daten und Literatur [41]

In Abbildung 32 werden die physiologischen Cobaltgehalte in den Amarantpflanzen der vier Versuchsjahre dargestellt. Die Streuung der Cobaltgehalte der Amaranproben über die vier Jahre ist recht ähnlich und reicht von einem Cobalt-Minimum von 0,02 mg/kg TS bis 0,16 mg/kg TS. In den Jahren 2015 und 2016 war AMA 182 nur knapp im oberen Drittel der Cobalt anreichernden Linien zu finden. Vergleicht man die Cobaltgehalte der Linie AMA 245 in den vier Versuchsjahren, sieht man auch in dieser Linie starke Jahreseinflüsse auf den Cobaltgehalt. So lag die Sorte im Jahr 2016 mit einem Cobaltgehalt von 0,1 mg/kg TS im oberen Bereich des Screeningpanels. In den Jahren 2015 und 2018 lag die Linie AMA 245 mit 0,07 mg/kg TS und 0,08 mg/kg TS auf den mittleren Rängen. 2017 hingegen wies sie nur einen Cobaltgehalt von 0,05 mg/kg TS auf. Nach den hier vorliegenden Daten bleibt es fraglich, ob verschiedene Amaranthgenotypen und -linien überhaupt nach unterschiedlich starkem Cobalt-Transferfaktor klar differenziert werden können. Somit konnte die Eigenschaft „sehr hohe Cobaltgehalte“ lediglich ein untergeordnetes Selektionskriterium darstellen. Andere pflanzenbauliche Eigenschaften, wie der Trockenmasseertrag, der Trockensubstanzgehalt zur Ernte sowie die Silierfähigkeit und der potenzielle Durchwuchs in der Folgefrucht, sind für die Landwirtschaft wichtigere Parameter. In jedem Fall ist die Kultur Amaranth in der Lage, im Vergleich zu Mais ein Vielfaches an Spurenelementen für den Biogasprozess bereitzustellen.

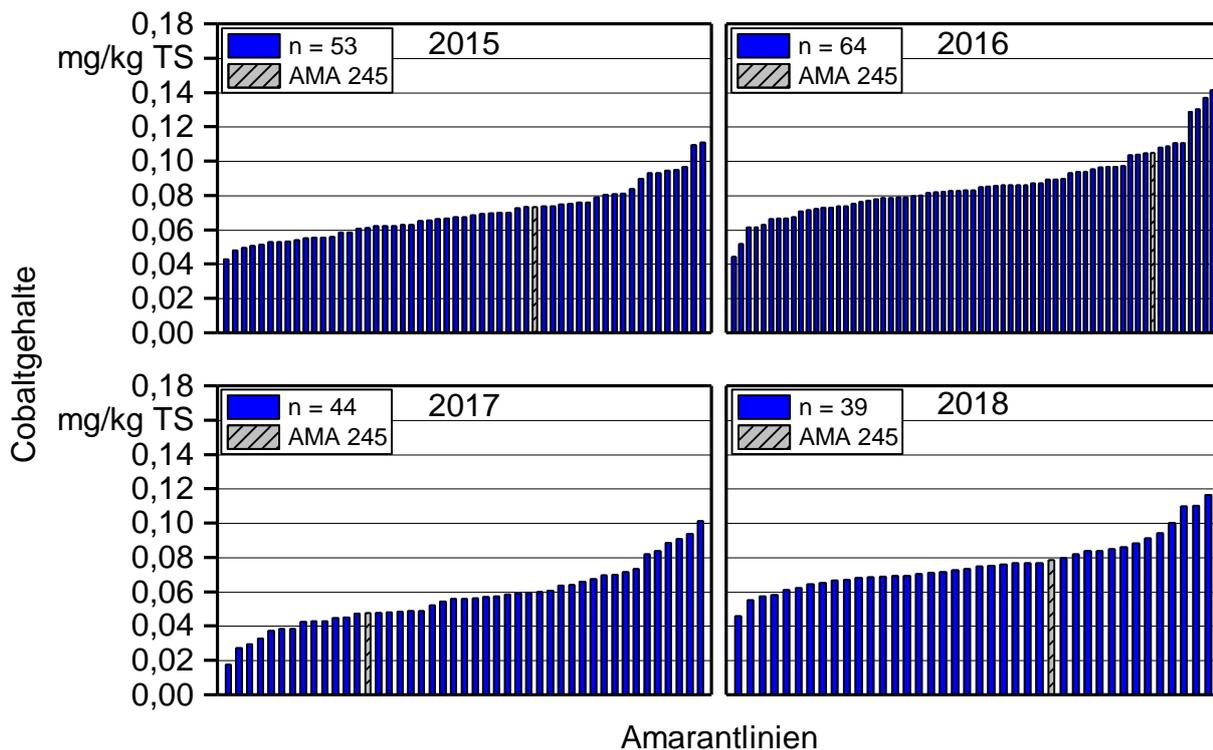


Abbildung 32: Physiologische Cobaltgehalte der Amaranthpflanzen im Zuchtgarten über die vier Versuchsjahre

#### 5.1.4 Selektion

Neben einem ausreichenden Abreifegrad müssen von einer Kulturpflanze weitere pflanzenbaulich relevante Kriterien erfüllt werden, um für Landwirte anbauwürdig zu sein.

Im ersten Selektionszyklus 2015 war neben der Abreife die Standfestigkeit bzw. die Neigung/Anfälligkeit für Lager eines der wichtigsten Selektionsmerkmale. Da im Anbaujahr 2015 nur sehr wenig Lager aufgetreten ist, konnte auf dieses Kriterium nicht so scharf selektiert werden. Ein Pflanzenbestand kann nur verlustfrei geerntet werden, wenn die Erntemaschine die Pflanzen auch aufnehmen kann, ohne dass ein Großteil der Pflanzenmasse am Feld zurückbleibt. Da im Anbaujahr 2015 keine Ertragsdaten festgehalten wurden, diente die Pflanzenhöhe als Anhaltspunkt für eine Einschätzung des Ertragspotenzials einer Linie. Eine detaillierte Auflistung der Boniturergebnisse aller ausgesäten Linien/Populationen ist in Tabelle 29 im Anhang aufgeführt. Hierbei konnte beobachtet werden, dass sich ein ausgewogenes Verhältnis von Höhe und Habitus der Pflanzen positiv auf die Stabilität auswirkt. Hohe und sehr schlanke Pflanzen, die durch einen hohen Rispenansatz kopflastig werden, neigen zum Ende der Vegetation deutlich mehr zum Umfallen als etwa kleinere, kompakte Pflanze, die stabil auf den Pflanzenstängeln stehen. Linien, die diese negativen Eigenschaften zeigten, wurden aussortiert und nicht weitergeführt.

Ein weiterer Aspekt bei der Betrachtung der Amarantlinien war die Vielgestaltigkeit der Pflanzenfarbe. Das ausgesäte Pflanzenmaterial zeigte ein breites Farbspektrum von Gelb-hellgrün über Orange bis hin zu Dunkelrot und Purpur sowohl bei den Blättern als auch bei den Rispen. Gerade im Hinblick auf die Wirkung im Landschaftsbild bedeutet dies eine größere Abwechslung im Vergleich zu einfarbig grünen Maisflächen. Solche farbigen Linien wurden bei ansonsten gleichen Eigenschaften bei der Selektion besonders berücksichtigt.

Unter Berücksichtigung aller vorher festgelegten Selektionskriterien wurden von den im Anbaujahr 2015 kultivierten 308 Linien 50 Linien ausgelesen (Tabelle 32). Hinzu kamen sieben Einzelpflanzenselektionen und drei Linien aus einer Samenbank. Somit standen für den nächsten Selektionszyklus im Anbaujahr 2016 60 Linien zur Verfügung, die weiter auf ihre Eigenschaften getestet wurden.

Ein Locus ist in der Genetik ein bestimmter Ort auf dem Chromosom, an dem sich ein Gen befindet. Sind an einem Locus beide Allele gleich, so bezeichnet man ihn als homozygot, unterscheiden sich jedoch die beiden Allele, so ist dieser heterozygot. Bei der Selbstbefruchtung nimmt der Anteil der heterozygot besetzten Loci in jeder Generation um die Hälfte ab. Dadurch wird klar, dass es schwierig sein wird, vollständig homozygote Pflanzen in z. B. einer  $F_6$ -Generation zu finden. An irgendwelchen Loci wird jede  $F_6$ -Pflanze noch heterozygot sein. Als  $F_6$  wird die sechste Generation nach der Kreuzung bezeichnet [32]. Die hier genutzten Amarantlinien sind größtenteils Landsorten und waren damit ausgesprochen heterogen. Zudem hat Amarant nur eine Fremdbefruchtungsrate von 10 bis 30 % [6]. Fremdbefruchtung wurde durch das Eintüten der Rispen vor der Blüte verhindert und somit Selbstbefruchtung sichergestellt. Daher wurden die Linien in den Zuchtgärten mit jedem Jahr homogener, es kam aber immer noch vereinzelt zu Aufspaltungen.

Alle Linien wurden zudem auch im Hinblick auf ihre Homogenität innerhalb der Linie untersucht. Dabei zeigte sich, dass bereits ein großer Teil der verwendeten Linien sehr

stabil in ihren Eigenschaften war. Bei Vergabe der Note 9 waren innerhalb der Reihe/Doppelreihe keine phänotypischen Unterschiede der einzelnen Pflanzen eines ausgesäten Typs erkennbar, während hingegen bei den mit der Note 5 bewerteten Typen die Varianz im Erscheinungsbild deutlich sichtbar war.

2016 wurden nach den in Abschnitt 4.1.4.3 beschriebenen Kriterien Standfestigkeit, Abreife, TS-Gehalt, TM-Ertrag, Samenfarbe und Spurenelementgehalt 40 Linien selektiert für die Jahre 2017 und 2018, die ein breites phänotypisches Spektrum abdeckten. Der Großteil der Rispenfarbe war rot, aber es gab auch zwölf Linien mit gelben oder grünen Rispen und drei mit orangefarbenen. Alle Variationen an Rispenformen waren vorhanden, von sehr lockeren über intermediäre bis zu kompakten Formen. Die Höhe reichte im Jahr 2017 von 145 cm bis zu 311 cm, im Jahr 2018 von 120 bis 270 cm. Der Rispenanteil lag zwischen 10 und 50 % der Gesamtpflanze. Die Unterschiede sind in Abbildung 33 zu sehen.

Diese Variation sollte erhalten bleiben für zukünftige Züchtungsbestrebungen, bei denen unterschiedliche Zuchtziele für die jeweilige Nutzungsrichtung bestehen. Weiterhin sind nicht alle Amarantarten miteinander kreuzbar [13]. Eine große Auswahl ist also vonnöten.

Generell sind hohe Standfestigkeit, Krankheitsresistenz, geringe Vorernteverluste durch Samenfall, Abtrocknung der Pflanze zur Samenreife und abiotische Stresstoleranz, insbesondere Kältetoleranz, wichtige Selektionsziele [82]. Amarant als Biogassubstrat sollte auch noch einen hohen Biomasseertrag mitbringen [61].

Für die Nutzung der Amarantkörner sind besonders deren Proteingehalt, hohes Tausendkorngewicht und damit große Körner sowie der Kornertrag wichtig [61]. Auch eine weiße Kornfarbe [82], ein gutes Popverhalten [45] und eine geringe Kornfeuchte [33] sind zu beachten. Für eine gute Mähdruscheignung sind ein niedriger Wuchs, wenig Ausfallsamen, eine gleichmäßige Abreife der Samen und möglichst wenige Blätter zwischen den Infloreszenzen nötig [82].

Amarant kann auch als Grünfutter genutzt werden. Dabei sind insbesondere der Nitratgehalt der Blätter und ein hoher Blattanteil, aufgrund der Schmackhaftigkeit der Blätter [82], zu beachten.

Auch auf Eignung zum Anbau auf unterschiedlichen Standorten kann selektiert werden. Die Variation eines Merkmals kann sowohl durch das Zusammenwirken mehrerer Gene oder durch Umwelteinflüsse entstehen. Genotyp und Umwelt wirken nur selten unabhängig voneinander, meistens gibt es eine Interaktion zwischen beiden Faktoren. Wenn sich die Rangfolge von Genotypen in unterschiedlichen Umwelten ändert, liegen Genotyp-Umwelt-Interaktionen vor [9]. Die Linie AMA 245 zeigte starke Interaktionen, andere Linien im Panel, wie AMA 141, die immer schlecht abschnitt, deutlich geringere. So lassen sich Linien selektieren, die besser an bestimmte Standortbedingungen angepasst sind.

Um für all diese unterschiedlichen Anforderungen weiterentwickelbare und kreuzbare Linien zur Verfügung stellen zu können, wurde die Anzahl an Linien von 2017 auf 2018 nicht weiter reduziert.



*Abbildung 33: Blick auf den Amaranth-Zuchtgarten, 07.09.2017*

## 5.2 Kreuzungen

Im Ergebnis konnte lediglich aus sieben der insgesamt 46 Elternpaare Hybridsaatgut erzeugt werden, die 39 verbliebenen Mutterpflanzen hatten lediglich weiße Samen ausgebildet, die durch Selbstbefruchtung entstanden waren (vgl. Tabelle 11).

*Tabelle 11: Übersicht über das erzeugte Hybridsaatgut im Kreuzungsversuch*

Hybrid	Mutterlinie	Vaterlinie
AMA H 2017_10	AMA 136 spät	AMA 214
AMA H 2017_11	AMA 136 spät	AMA 253
AMA H 2017_12	AMA 137	AMA 202 A
AMA H 2017_17	AMA 141	AMA 230
AMA H 2017_33	AMA 224	AMA 218
AMA H 2017_36	AMA 250	AMA 108
AMA H 2017_38	AMA 250	AMA 223

Generell wird bei der monözischen und selbstfertilen Amarantpflanze eine Selbstbefruchtungsrates von 90 % erreicht. Fremdbefruchtung bis 30 % kann unter ungünstigen Bedingungen auftreten [6]. Durch das Umhüllen und Schütteln der Rispen von Mutter- und Vaterlinie konnte die Fremdbefruchtungsrates zwar gesteigert werden, die räumliche Anordnung der männlichen und weiblichen Blüten auf der Rispe hatte aber zu einer überwiegenden Selbstbefruchtung bei den als Mutterlinie gewählten Genotypen geführt. Um zu gewährleisten, dass bei der Hybriderzeugung der als Mutterlinie gewählte Genotyp ausschließlich durch die Vaterlinie bestäubt wird und keine Selbstbefruchtung stattfindet, müssten die männlichen Blütenstände an den Rispenständen der Mutterlinie manuell entfernt oder auf männlich sterile Mutterlinien zurückgegriffen werden, die keine Pollen produzieren. Diese zytoplasmatische männliche Sterilität (CMS) kann durch spontane Mutation entstehen oder züchterisch über mit CMS verknüpfte Gene in die Pflanze eingebracht werden [77]. Diese Option ist bei Amarant bis dato nicht gegeben, sodass bezüglich der Erzeugung weiterer Hybride über die mechanische Kastration der Rispen nachgedacht werden muss, um die Fremdbefruchtungsrates zu erhöhen. Eine weitere Möglichkeit, die Selbstbefruchtung zu verhindern, ist eine Behandlung der Blüten mit heißem Wasser, wodurch die Pollen zerstört werden [106].

Die sieben Hybridlinien zeigten im Anbaujahr 2017 eine hohe Heterogenität, wie in Abbildung 34 an zwei Linien exemplarisch zu sehen ist. Bei der Bonitur der Homogenität reichten die Werte der Hybridlinien von fünf bis sieben (Tabelle 33). Hybridsorten haben eine hohe Heterozygotie, das heißt, für viele Gene liegen verschiedene Allele vor. Hybridsorten sollen aber in der Sorte ( $F_1$ -Generation) phänotypisch homogen sein. Dies wird in der Praxis erreicht, indem genetisch möglichst unterschiedliche Eltern gekreuzt werden, zur Ausnutzung der Heterosis in der  $F_1$ -Generation. Beide Eltern sollten dabei vollständig homozygot sein [9]. Die in Abbildung 34 dargestellte Variation innerhalb der  $F_1$ -

Generation lässt darauf schließen, dass die Eltern nicht ausreichend homozygot waren und demzufolge keine Hybridsorten vorliegen. Trotzdem können die Kreuzungen für die weitere Zucht genutzt werden, indem Einzelpflanzen aus der  $F_1$  mit interessanten Merkmalen selektiert und geselbstet werden. In der klassischen Linienzüchtung spalten sich die Linien erst in der  $F_2$ -Generation auf, da auch hier normalerweise homozygote Linien gekreuzt werden [9]. In diesem Fall hingegen könnten direkt in der  $F_1$ -Generation Einzelpflanzen mit interessanten Merkmalen selektiert und zur neuen Sorte weiterentwickelt werden. Dies erfordert mehrere Generationen und bis zu einer vermehrungsfähigen Sorte dauert es acht bis zehn Jahre [9]. Dies ist zeitlich im Projekt nicht möglich. Daher wurden die Kreuzungen im weiteren Projektverlauf nicht mehr angebaut, das Saatgut aber für eine mögliche weitere Verwendung in den Saatgutbestand aufgenommen.



Abbildung 34: Hybridsorten H17\_17 und H17\_38 im Zuchtgarten 2017

### 5.3 Spurenelementaufnahme von Amarant in Abhängigkeit des Standorts

*Autor des Unterkapitels: Dr. Benedikt Sauer, IZNE*

Um zu überprüfen, inwieweit der Standort auch über die Spurenelementaufnahme mitbestimmt, wurde in 2017 die Amarantlinie Gelber Amarant auf zwei zusätzlichen Standorten angebaut. Die Elementgehalte der Standorte sind in Tabelle 12 dargestellt.

*Tabelle 12: Elementgehalte in den Böden der zwei Versuchsstandorte in 2017: Straubing und Rosenau*

Spurenelement	Rosenau 2017 (n = 1)	Straubing 2017 (n = 10)
	in mg/kg TS	
Al	2874	54.797
As	18	13
Ba	99	429
Bi	0,0	0,2
Ca	27.1733	8657
Cd	0,3	0,2
Ce	5,1	98,0
Co	3,9	12,4
Cr	20	71
Cs	0,2	6,3
Cu	11	23
Eu	0,1	1,4
Fe	16.918	28.704
K	840	18.046
La	9	41
Li	3	39
Mg	4416	6768
Mn	1585	953
Mo	0,9	0,7
Na	383	6010
Ni	10	32
P	1149	807
Pb	9	23
Sb	0,6	1,1
Sc	0,7	10,4
Sm	0	8
Ti	166	4644
Tl	0,1	0,6
U	1,8	3,4
V	9	80
Zn	50	76

In Abbildung 35 sind die resultierenden Cobaltkonzentrationen auf den zwei Standorten aufgetragen. Dieser Versuch war nicht nur ein Standortversuch, sondern gleichzeitig wurden in Straubing und Rosenau je acht einzelne Pflanzen separat beprobt. Jeweils die Probe links in der Grafik stellt die kleinste und die rechts die am höchsten gewachsene Pflanze dar. Man erkennt, dass die Cobaltgehalte zwischen zwei Individualpflanzen der gleichen Linie am selben Standort durchaus Faktor 2 überschreiten können. In der Tendenz hatten die kleineren Pflanzen eher etwas höhere Cobaltgehalte. Im Mittel wiesen die Pflanzen vom Standort Rosenau, wie nach den Analysen der Bodenproben auch zu erwarten war, geringere Konzentrationen gegenüber dem Hauptstandort Straubing auf.

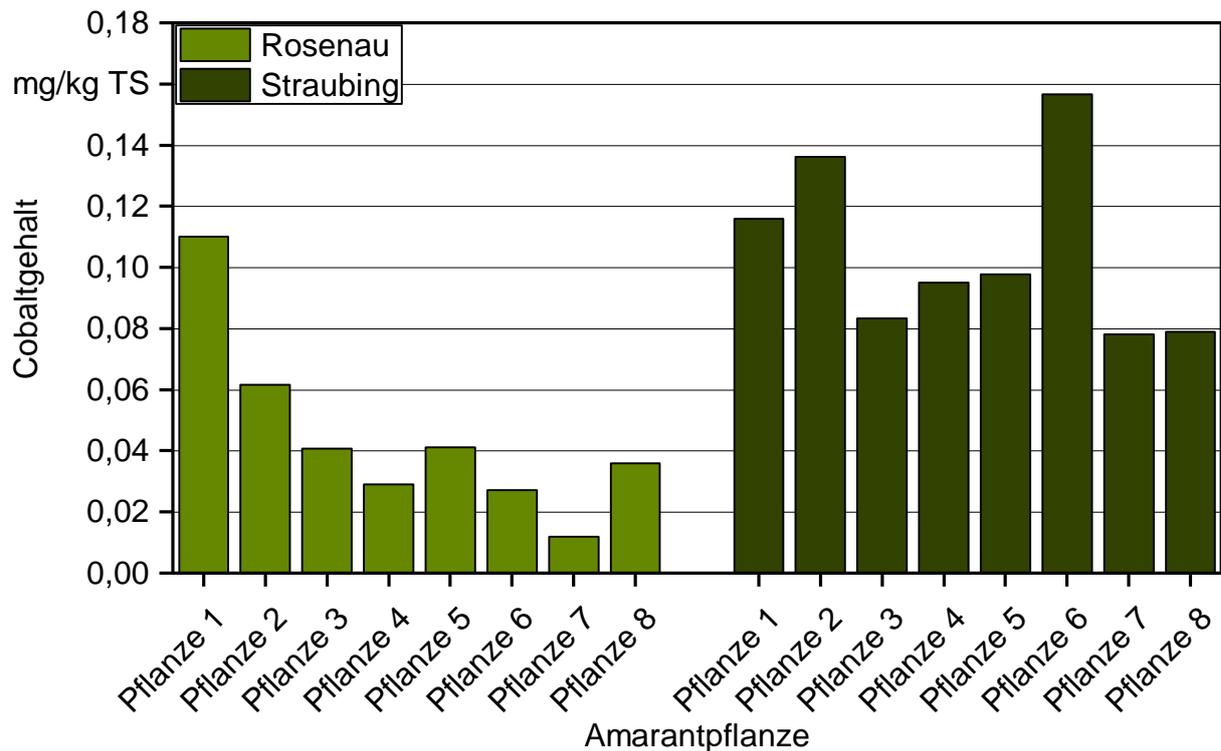


Abbildung 35: Cobaltkonzentrationen im Gelben Amaranth auf den Standorten Rosenau und Straubing, jede Säule stellt eine einzelne Pflanze dar, von links nach rechts nach Größe sortiert.

In Abbildung 36 sind die Kaliumgehalte der 16 Pflanzen auf den zwei Standorten aufgetragen. Da Kalium ein Hauptnährelement darstellt, wird es durch das Düngemanagement in ausreichendem Maße den Anbaukulturen zur Verfügung gestellt. Für Kalium war weder ein Trend zwischen den Standorten noch bei der Größe der Pflanzen sichtbar.

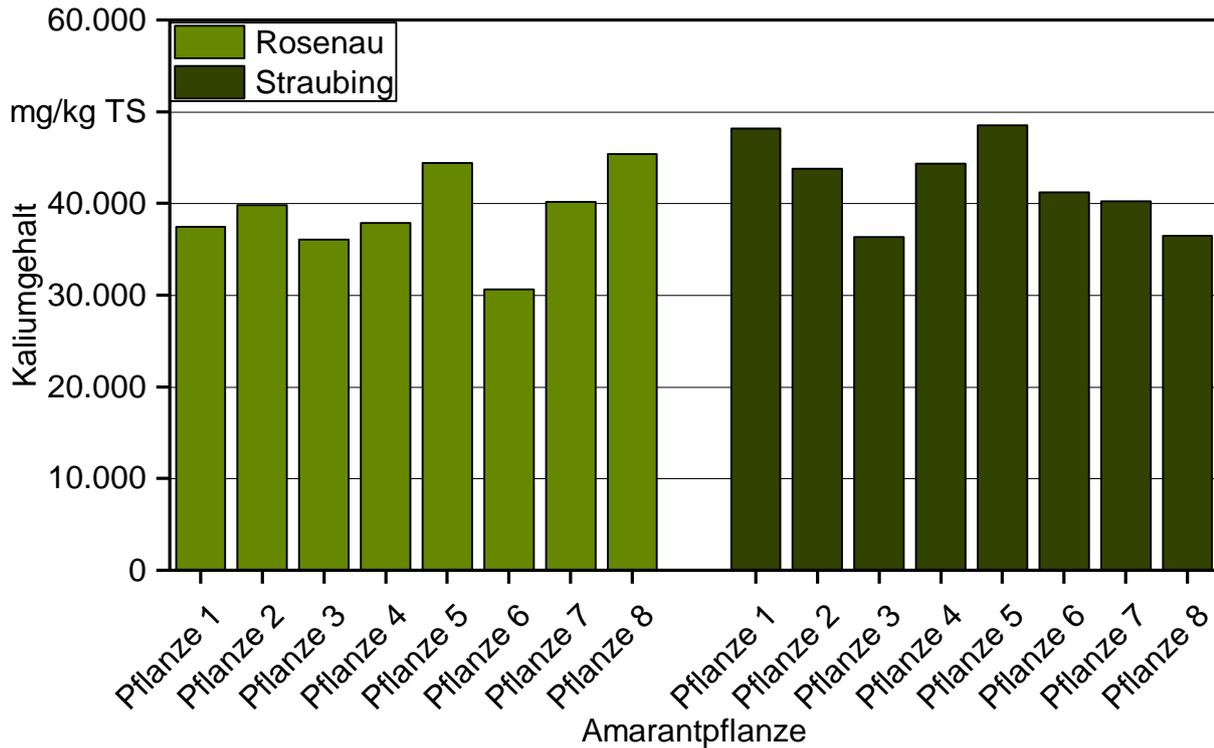


Abbildung 36: Kaliumkonzentrationen im Gelben Amarant auf den Standorten Rosenau und Straubing, jede Säule stellt eine einzelne Pflanze dar, von links nach rechts nach Größe sortiert

Die Cadmiumkonzentrationen in den Pflanzen unterschieden sich stark zwischen den beiden Standorten (Abbildung 37). Der Mittelwert am Standort Rosenau betrug 0,06 mg/kg TS gegenüber 0,19 mg/kg TS in Straubing. Die Pflanzengröße spielte keine Rolle bei der Cadmiumkonzentration. Der Cadmiumgesamtgehalt im Boden war an beiden Standorten ähnlich. Allerdings enthielt der Boden am anmoorigen Standort Rosenau erheblich größere Calcium- und Humusmengen gegenüber Straubing (siehe Tabelle 12), beides führt zu einer reduzierten Mobilität des Schadelements Cadmium.

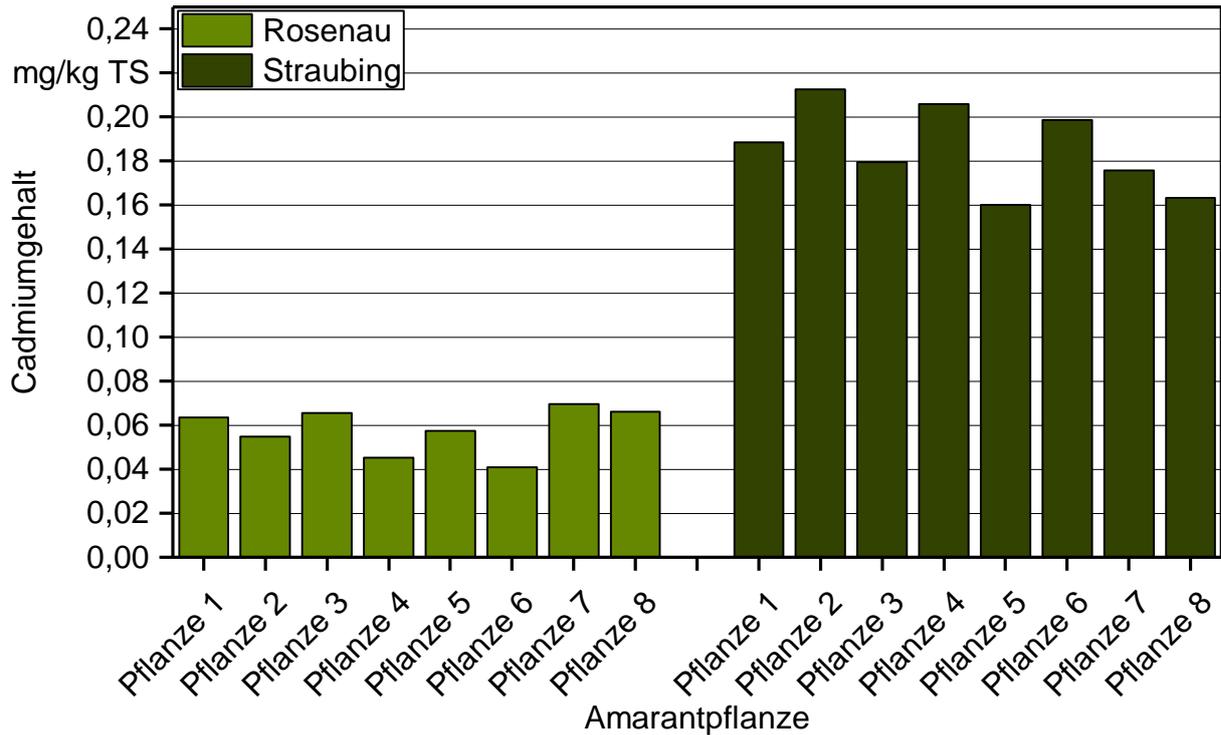


Abbildung 37: Cadmiumkonzentrationen im Gelben Amarant auf den Standorten Rosenau und Straubing, jede Säule stellt eine einzelne Pflanze dar, von links nach rechts nach Größe sortiert.

In Abbildung 38 sind die Nickelkonzentrationen vom Standortversuch mit den jeweils acht Einzelpflanzenproben dargestellt. Die Nickelgehalte der Amarantpflanzen des Standorts Straubing waren im Mittel höher als in Rosenau. Allerdings enthielt die kleinste Amarantpflanze aus Rosenau die zweithöchsten Nickelgehalte innerhalb dieses Proben-satzes. Die Nickelgehalte am Standort Rosenau fielen mit steigender Pflanzengröße ab, allerdings zeigte die größte Pflanze wieder etwas höhere Gehalte. Die Streubreite der Nickelkonzentrationen zwischen Einzelpflanzen war mit einem Faktor > 3 ähnlich hoch wie bei Cobalt.

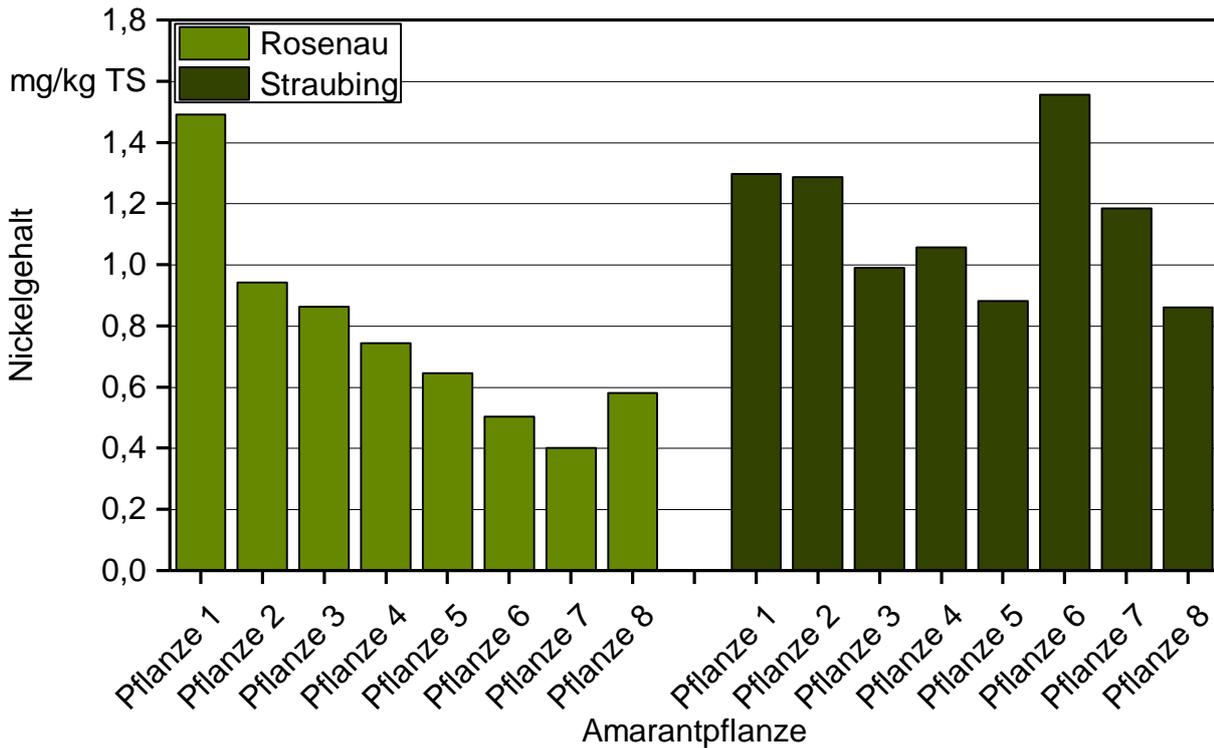


Abbildung 38: Nickelkonzentrationen im Gelben Amarant auf den Standorten Rosenau und Straubing. Jede Säule stellt eine einzelne Pflanze dar, von links nach rechts nach Größe sortiert.

## 5.4 Produktionstechnische Versuche

### 5.4.1 Saatstärke

Unterschiedliche Saatstärken haben in der Regel Auswirkungen auf das Pflanzenwachstum innerhalb eines Bestands, sodass für viele landwirtschaftlich genutzte Kulturen aus langjähriger Erfahrung auch optimale Saatstärken vorliegen. Für Amarant gibt es unterschiedliche Angaben, je nachdem welchen Nutzungstyp man zugrunde legt. Es gibt Untersuchungen sowohl zum Kornertrag von Amarant bei unterschiedlichen Bestandsdichten [6] [46] [47] [45] als auch zum Ertrag der Gesamtpflanze [47] [78]. Amarant spielte bisher nur eine sehr untergeordnete Rolle als landwirtschaftliche Kulturpflanze und speziell als Biogaspflanze.

In einem produktionstechnischen Versuch im Anbaujahr 2016 sollte der Einfluss der Saatstärke auf den TM-Ertrag verschiedener Amaranntypen untersucht werden. Als Herkünfte standen dabei der Gelbe Amarant (Energietyp) und eine kleinwüchsige, großkörnige Selektion (Korntyp), die in der Praxis bereits zur Kornerzeugung angebaut wird, zur Verfügung. Die Aussaat erfolgte in den Saatstärken 30, 60, 90, 120 und 150 kf. Kö./m<sup>2</sup>. Ebenso wie der Energie- wurde auch der Korntyp im vorliegenden Fall im Hinblick auf eine Ganzpflanzennutzung zum Anbau gebracht. Durch die vergleichsweise rasche Abreife des Korntyps wird eine ähnliche Verwendung wie von Buchweizen und Quinoa als Zwischenfruchtkultur in den Sommermonaten angestrebt.

Abbildung 39 zeigt die Trockenmasseerträge und TS-Gehalte der beiden Amaranntypen beim Anbau in unterschiedlichen Saatstärken.

Im Mittel lag die Ertragsleistung des Energietyps bei 126 dt TM/ha. Mit einer Saaddichte von 120 bzw. 150 kf. Kö./m<sup>2</sup> konnten dabei tendenziell die höchsten Erträge erzielt werden, die Unterschiede zur Ertragsleistung der Bestände mit geringerer Saaddichte waren jedoch nicht signifikant. Ein ähnliches Bild zeichnete sich auch bei der Ertragsleistung des Korntyps ab. Bei einem mittleren Ertragsniveau von 82 dt TM/ha, welches bedingt durch den Wuchstyp unter dem des Energietyps lag, waren die Unterschiede in Abhängigkeit der Saatstärke ebenfalls nicht signifikant.

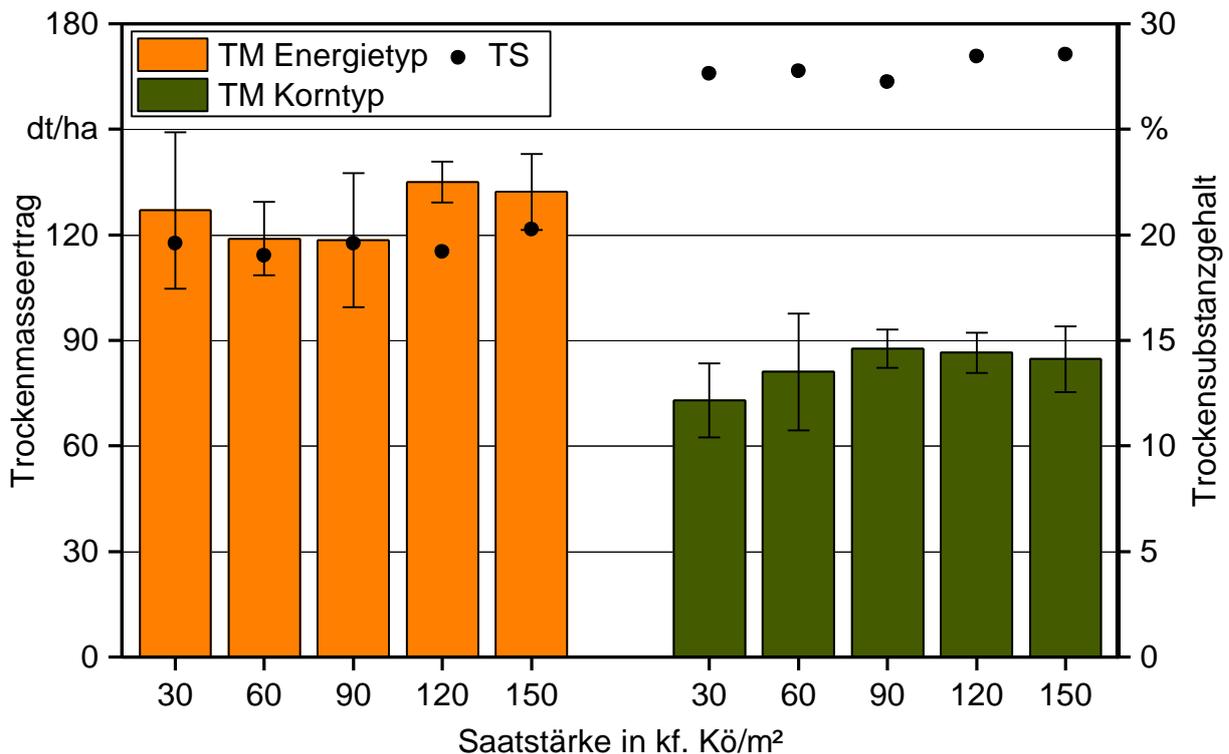


Abbildung 39: Ertragsleistung der beiden Amaranntypen im Saatstärkenversuch, Fehlerbalken zeigen Standardabweichungen

Wie die Ergebnisse zeigen, können Amaranntbestände niedrigere Aussaatstärken gut durch einen erhöhten Massezuwachs der Einzelpflanzen kompensieren, sodass ein vergleichbarer Flächenertrag erzielt wird. Während Pflanzen mit ausreichend Platz dicke und stabile Stängel erzeugen, die bei Amarannt zu einem Großteil der Pflanzenmasse beitragen, bilden zu dicht stehende Pflanzen deutlich dünnere Stängel aus. Zu vergleichbaren Ergebnissen kam auch ein Feldversuch von Gimplinger *et al.* (2008) [47] in Ostösterreich. Bei angestrebten Bestandsdichten von 8, 17, 35, 70 und 140 Pflanzen pro m<sup>2</sup> wurden keine signifikanten Unterschiede im Biomasseertrag festgestellt. Auch in dieser Studie konnte der Amarannt Bestandsunterschiede durch morphologische Änderungen ausgleichen. Diese waren jeweils geringere Wuchshöhe, Stängeldurchmesser, Verzweigungen und Samen/Pflanze bei zunehmender Dichte. Versuche im Iran [78] hingegen mit 6,6, 8,3 und 11 Pflanzen/m<sup>2</sup> zeigten eine signifikante Verringerung der Biomasse

mit zunehmender Saatstärke, auch wenn ähnliche morphologische Reaktionen des Amaranths beobachtet wurden. Die Witterung war mit Temperaturen von 8,7 °C Minimum und 25,7 °C Maximum sowie 316 mm Niederschlag im Zeitraum des Experiments vergleichbar mit Bayern und Österreich. Die Saatkulturen lagen allerdings in einem sehr viel niedrigeren Bereich.

Für die Biogasnutzung können weniger Körner je Pflanze und damit ein höherer Anteil an Stängeln und Blättern vorteilhaft sein, da nicht sicher ist, inwieweit die Körner im Fermentationsprozess verwertet werden (Mathias Hartel, kooperierendes Projekt).

Ein interessanter Zusatzaspekt ergab sich bei näherer Betrachtung des Korntyps. Durch die deutlich frühere Abreife dieser kompakten Linie betrug die Vegetationszeit von Aussaat bis Ernte lediglich 106 Tage. Dies ist vergleichbar mit den beiden genannten Zweitkulturen Buchweizen und Quinoa, die im Projekt zur Fruchtfolgeauflockerung ebenfalls am TFZ untersucht wurden. Die Ertragsleistung des Amaranths lag jedoch deutlich über der Ertragsleistung dieser beiden Pseudocerealien, die in einer vergleichbaren Zeitspanne nur etwa die Hälfte des TM-Ertrags des verwendeten Amaranthtyps erzielen konnten. Hinsichtlich der Abreife lag der Amaranth-Korntyp mit 28 % TS auf vergleichbarem Niveau und konnte damit auch den anzustrebenden Mindestgehalt für eine verlustarme Silierbarkeit erreichen (vgl. Tabelle 13).

*Tabelle 13: Trockensubstanzgehalt und Trockenmasseerträge von Buchweizen und Quinoa am Standort Straubing 2016 [31]*

Kultur	TS in %	TM in dt/ha
Buchweizen	29,4	42,8
Quinoa	27,9	39,5

Auf Basis dieser Ergebnisse eignen sich schnell abreifende Korntypen des Amaranths als Zwischenfrucht oder Zweitfrucht nach dem Anbau von Getreide als Ganzpflanzensilage.

#### 5.4.2 Stickstoffdüngerversuch

Aufgrund der unterschiedlichen Stickstoffdüngung und der extremen Witterungsunterschiede wurden die Ergebnisse der Jahre 2017 und 2018 getrennt berechnet und werden hier getrennt dargestellt. Zuerst werden die Ergebnisse des GPS-Typs für 2017 und 2018 beschrieben, dann die Ergebnisse des Korntyps für diese Jahre. Nachfolgend werden der Batchtest und der errechnete Gasertrag besprochen. Anschließend werden die Ergebnisse der Versuche gemeinsam diskutiert.

### 5.4.2.1 GPS-Typ zur Ernte

#### Jahr 2017

Beim Gelben Amarant (AMA 182), als Ganzpflanze (GP) geerntet, zeigten sich 2017 im Herbst nur geringe  $N_{\min}$ -Gehalte. Selbst in der höchsten Düngestufe wurden nach der Ernte nur 12,5 kg  $N_{\min}$  im Boden gemessen (Abbildung 40). Die Stickstoffabfuhr, berechnet aus dem Stickstoffgehalt des Ernteguts und dem TM-Ertrag, lag in den unteren beiden Düngestufen sogar über den gedüngten Werten (Tabelle 14).

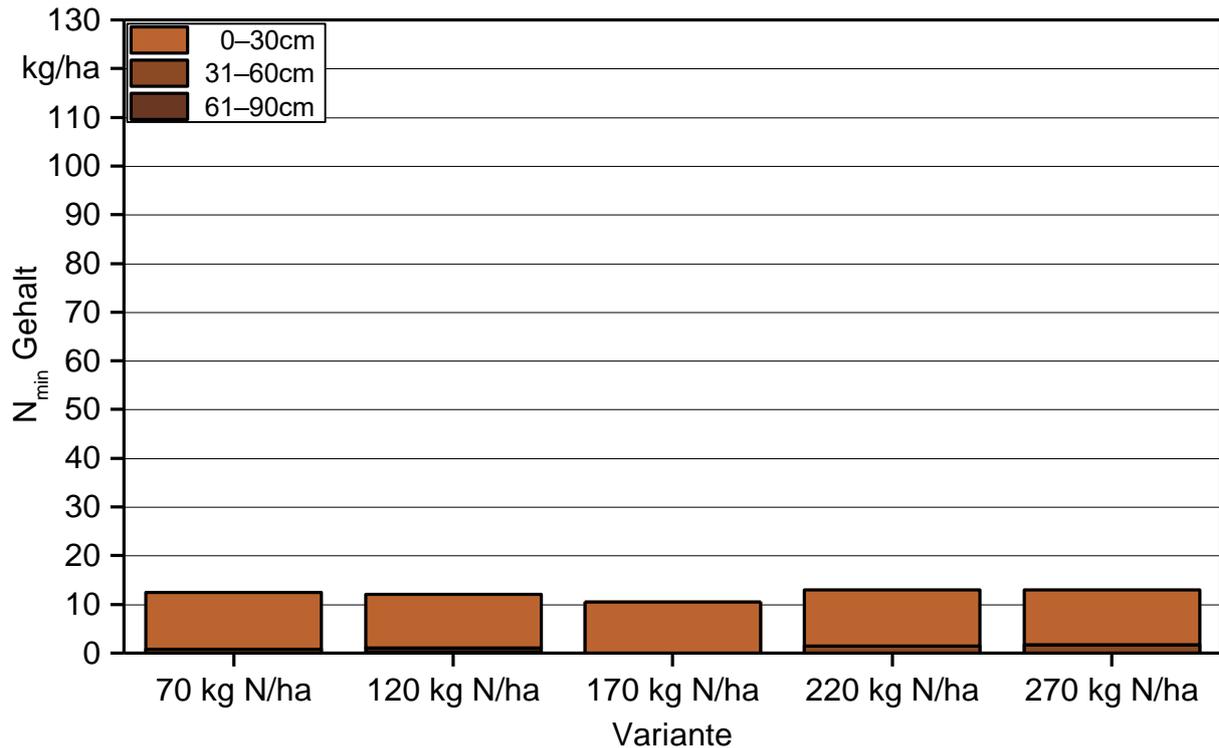


Abbildung 40:  $N_{\min}$ -Gehalt Boden für drei Bodenschichten im GPS-Typ nach Ernte, 2017

Tabelle 14: Stickstoffentzug GPS-Typ Düngerversuch, unterschiedliche Buchstaben weisen auf signifikante Unterschiede hin, 2017

Variante	70 kg N/ha	120 kg N/ha	170 kg N/ha	220 kg N/ha	270 kg N/ha
	in kg/ha				
N-Entzug	73,83 C	136,21 B	139,04 B	153,66 AB	174,82 A

Betrachtet man die Umsetzung des Amarants der unterschiedlichen Stickstoffversorgung, ergibt sich eine signifikante Zunahme des TM-Ertrags von der Düngestufe 70 kg N/ha zu 120 kg N/ha. Bei weiter zunehmender Stickstoffdüngung ließ sich eine weitere

Ertragszunahme feststellen, wenngleich nicht mehr signifikant. Der TS-Gehalt änderte sich nicht signifikant mit zunehmender Düngung (Abbildung 41).

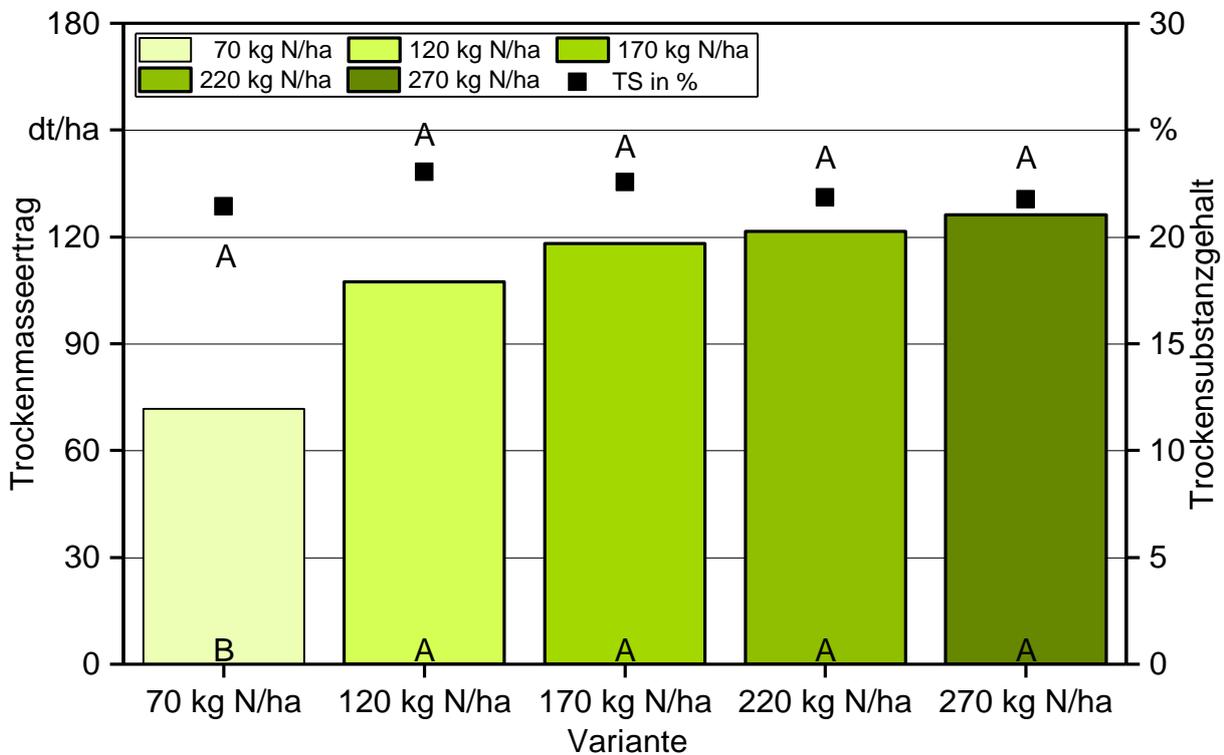


Abbildung 41: Mittelwerte des Trockenmasseertrags und Trockensubstanzgehalts des Gelben Amarants für fünf unterschiedliche Düngestufen, unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikant unterschiedliche Gruppen, 2017

Wie in Tabelle 15 zu sehen ist, waren die in der Weender Analyse gemessenen Inhaltsstoffe sehr ähnlich für die verschiedenen Düngestufen. Inhaltsstoffe, für die signifikante Unterschiede festzustellen waren, werden im Weiteren eingehender betrachtet.

Es war eine Zunahme von Rohprotein zu beobachten, bei der sich allerdings nur die obersten beiden Düngestufen, 220 kg N/ha und 270 kg N/ha, von der niedrigsten Düngestufe, 70 kg N/ha, signifikant unterschieden. Bei den oberen beiden Düngestufen lag der Rohproteingehalt etwa zwei Prozentpunkte über der untersten Düngestufe. Der Stärkegehalt war in der höchsten Düngestufe am niedrigsten (2,6 % TM, Gruppe B) und in der zweiten Düngestufe am höchsten (5,7 % TM, Gruppe A), die anderen Werte waren intermediär in beide Gruppen eingeteilt (Gruppe AB). Es schien eine Tendenz zu höheren Stärkegehalten bei niedrigerer N-Düngung zu bestehen, diese war aber nicht eindeutig statistisch zu beweisen und bedarf weiterer Forschung.

Die Analyseergebnisse für Lignin zeigten signifikante Unterschiede, waren aber nicht eindeutig. Weitere signifikante Unterschiede an wertgebenden Inhaltsstoffen wurden nicht festgestellt, die meisten analysierten Inhaltsstoffe zeigten nur eine geringe Reaktion auf vermehrte Stickstoffdüngung. Der Nitratgehalt im Amarant hingegen stieg deutlich

zur höchsten Düngestufe hin an und lag dort bei über 0,5 % der Trockenmasse (Tabelle 15).

*Tabelle 15: Mittelwerte und Mittelwertvergleich Inhaltsstoffe im GPS-Typ, unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikant unterschiedliche Gruppen, Jahr 2017*

Inhaltsstoff	70 kg N/ha		120 kg N/ha		170 kg N/ha		220 kg N/ha		270 kg N/ha	
Variante	in % TM									
XA	18,24	A	17,72	A	17,78	A	17,08	A	17,13	A
XP	6,13	B	7,66	AB	7,53	AB	8,12	A	8,69	A
XL	1,92	A	2,39	A	2,07	A	2,30	A	2,14	A
XF	36,26	A	34,41	A	34,31	A	33,58	A	33,53	A
NfE	37,45	A	37,83	A	38,28	A	38,93	A	38,50	A
NDF	55,96	A	53,70	A	53,71	A	52,81	A	54,13	A
ADF	43,06	A	41,35	A	42,52	A	41,21	A	41,43	A
ADL	7,72	AB	8,55	A	7,28	AB	6,16	B	7,84	A
NFC	17,75	A	18,60	A	18,86	A	19,68	A	17,93	A
Stärke	4,54	AB	5,66	A	4,38	AB	3,85	AB	2,60	B
Nitrat	0,21	B	0,14	B	0,19	B	0,30	B	0,52	B
Hemicellulose	12,90	A	12,35	A	11,19	A	11,60	A	12,70	A
Cellulose	35,34	A	32,80	A	35,24	A	35,05	A	33,59	A

### Jahr 2018

2018 waren die  $N_{\min}$ -Werte nach Ernte deutlich höher als 2017. Besonders in den ersten 30 cm des Bodens war viel Stickstoff verblieben, der nicht vom Amaranth aufgenommen worden war, bis zu 59,3 kg N/ha in der höchsten Düngestufe (Abbildung 42). Zum einen hatten die geringen Niederschläge die Stickstoffaufnahme erschwert [75]. Zum anderen war die Düngemenge höher, da der  $N_{\min}$ -Wert bei der Düngegabe im Versuch nicht berücksichtigt wurde. Aufgrund der warmen Witterung war eine hohe Mineralisationsrate zu erwarten [75]. Auf einer ungedüngten Fläche auf dem Schlag „Auf der Platte“ wurden die Vegetationsperioden über  $N_{\min}$ -Proben gezogen. Im Mai wurden 235 kg N/ha  $N_{\min}$  gemessen, im Juni 178 kg N/ha, im Juli 129 kg N/ha, im August 187 kg N/ha und im Oktober 207 kg N/ha (Ulrich Deuter, nicht veröffentlicht). Das bedeutet, dass auch die niedrigste Düngestufe immer zusätzlich zum Ausgangswert 129 bis 235 kg N/ha zur Verfügung hatte. Der Stickstoffentzug durch die geerntete Biomasse zeigte Unterschiede zwischen den Düngestufen (Tabelle 17).

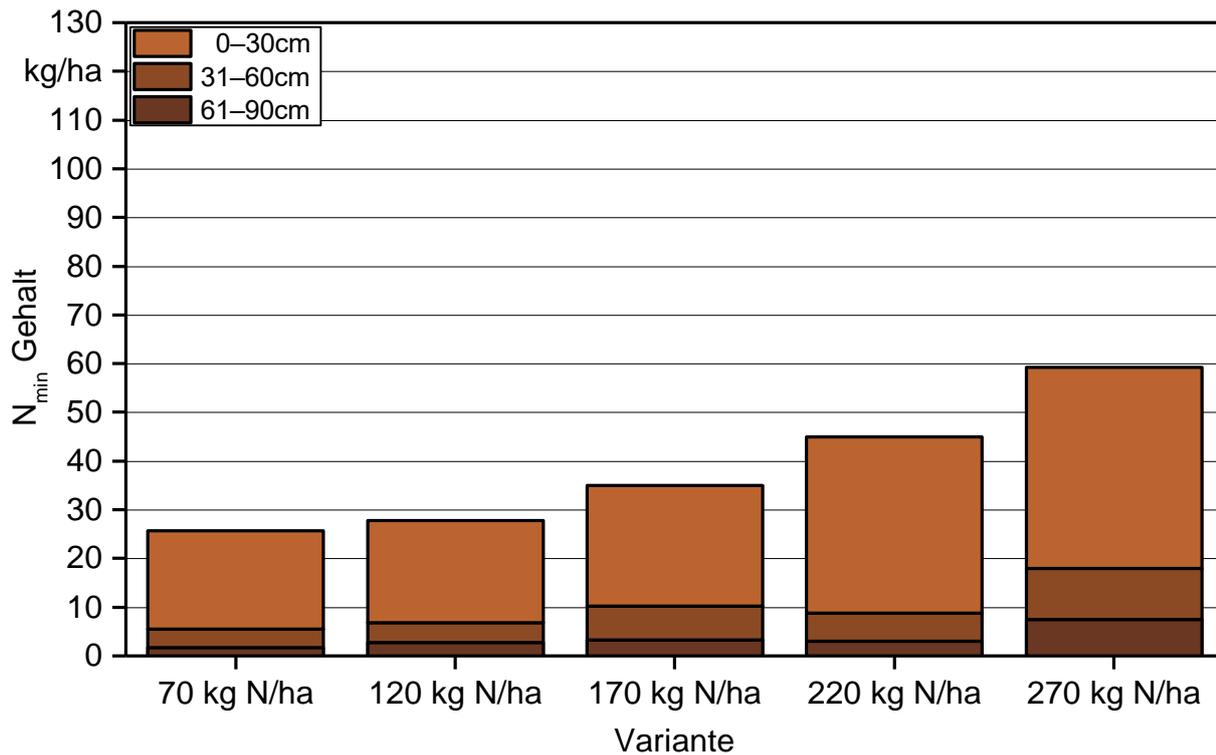


Abbildung 42:  $N_{min}$ -Gehalte im Boden für drei Bodenschichten im GPS-Typ nach Ernte, 2018

Tabelle 16:  $N_{min}$ -Gehalte im Boden auf dem Schlag „Auf der Platte“ für drei Bodenschichten im Verlauf der Vegetationsperiode, Daten von Ulrich Deuter, noch nicht veröffentlicht

Datum	Tiefe in cm	$N_{min}$
23.05.2018	0-30	113
	30-60	69
	60-90	53
14.06.2018	0-30	118
	30-60	37
	60-90	23
10.07.2018	0-30	82
	30-60	25
	60-90	22
17.08.2018	0-30	133
	30-60	32
	60-90	22
09.10.2018	0-30	147
	30-60	32
	60-90	28

*Tabelle 17: Stickstoffentzug GPS-Typ-Düngeversuch, unterschiedliche Buchstaben weisen auf signifikante Unterschiede hin, 2018*

Variante	70 kg N/ha	120 kg N/ha	170 kg N/ha	220 kg N/ha	270 kg N/ha
	in kg/ha				
N-Entzug	146,58 B	168,01 AB	186,72 A	193,95 A	195,44 A

Sowohl beim TM-Ertrag als auch beim TS-Gehalt fanden sich keine signifikanten Unterschiede, wie in Abbildung 43 zu sehen ist. Die Trockenmasseerträge reichten in der niedrigsten Düngestufe von 95,0 dt/ha bis zu 103,9 dt/ha in der mittleren Düngestufe und stiegen von da nicht mehr signifikant an. Die TS-Gehalte lagen zwischen 20,9 % und 20,5 %. Auch bei den wertgebenden Inhaltsstoffen war die Reaktion des Amarants auf das zunehmende Stickstoffangebot gering (Tabelle 18). Der Rohproteingehalt stieg 2018 wie 2017 bei zunehmender Stickstoffdüngung und wie im Jahr 2017 waren die Rohproteingehalte der oberen beiden Düngestufen signifikant höher als der Rohproteingehalt der untersten Stufe. Der Ligninanteil änderte sich 2018 nicht zwischen den Varianten und auch die Abreife war einheitlich. Signifikant unterschiedliche Stärkegehalte, wie im Jahr 2017, konnten 2018 nicht beobachtet werden, stattdessen zeigten sich signifikante Unterschiede im Rohfettgehalt. Diese ließen jedoch keine eindeutige Interpretation zu. Der Nitratgehalt im Gelben Amarant lag 2018 insgesamt höher als 2017 und stieg signifikant mit zunehmender Stickstoffdüngung bis auf 1,1 % TM an (Tabelle 18).

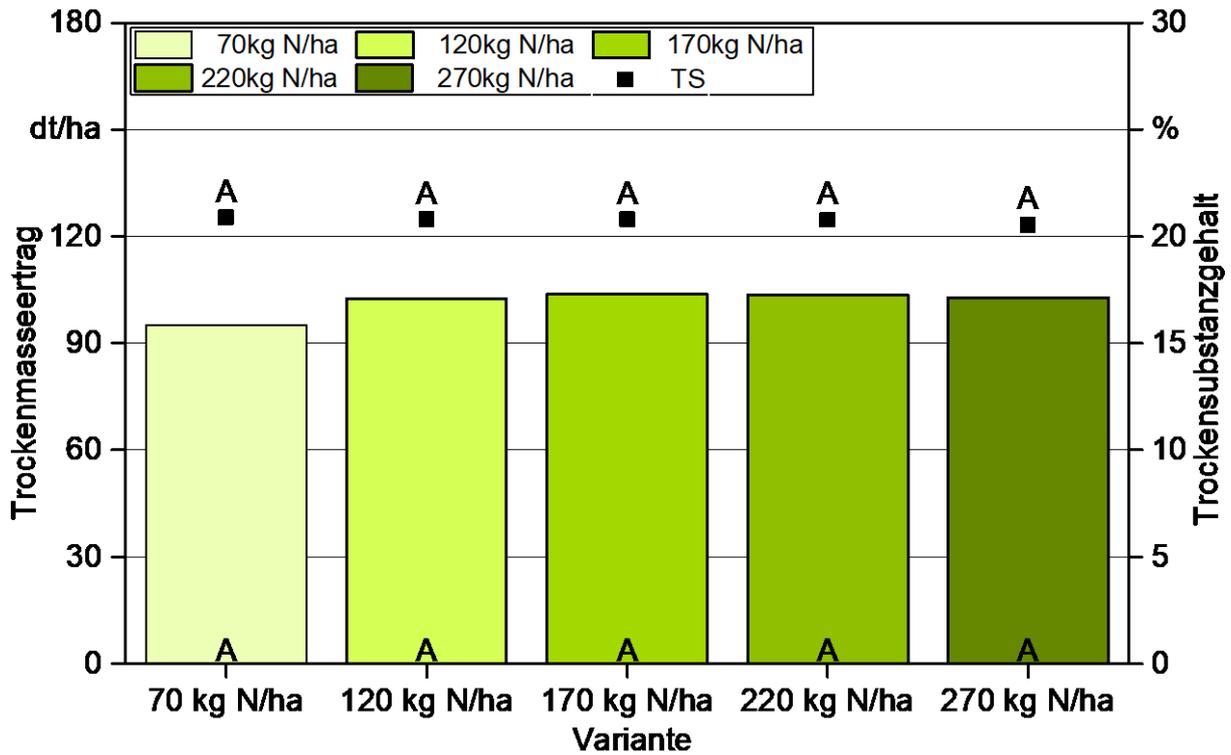


Abbildung 43: Mittelwerte des Trockenmasseertrags und Trockensubstanzgehalts des Gelben Amarants für fünf unterschiedliche Düngestufen, unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikant unterschiedliche Gruppen, 2018

Tabelle 18: Mittelwerte und Mittelwertvergleich Inhaltsstoffe im GPS-Typ, unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikant unterschiedliche Gruppen, 2018

Variante	70 kg N/ha	120 kg N/ha	170 kg N/ha	220 kg N/ha	270 kg N/ha
Inhaltsstoff	in % TM				
XA	13,95 A	14,11 A	13,27 A	14,51 A	15,70 A
XP	9,64 B	10,32 AB	11,21 AB	11,95 A	11,87 A
XL	3,23 AB	3,40 A	3,19 AB	3,33 AB	2,64 B
XF	27,93 A	27,81 A	27,11 A	25,71 A	28,43 A
NfE	45,25 A	44,35 A	45,23 A	44,50 A	41,35 A
NDF	46,07 A	46,05 A	47,13 A	42,81 A	47,09 A
ADF	34,64 A	34,73 A	32,91 A	32,10 A	34,80 A
ADL	5,29 A	6,69 A	6,51 A	5,75 A	6,12 A
NFC	27,13 A	26,13 A	25,20 A	27,35 A	22,70 A
Stärke	14,86 A	15,51 A	14,95 A	15,37 A	9,91 A
Nitrat	0,25 B	0,41 B	0,68 AB	0,90 A	1,06 A
Hemicellulose	11,43 A	11,32 A	14,22 A	10,72 A	12,29 A
Cellulose	29,35 A	28,04 A	26,40 A	26,35 A	28,68 A

### 5.4.2.2 Korntyp zur Ernte

In der Stickstoffaufnahme gab es in 2017 signifikante Unterschiede zwischen den Varianten des Korntyps und in der höchsten Düngestufe war ein  $N_{\min}$ -Gehalt von über 30 kg  $N_{\min}$  nach Ernte in den obersten 90 cm des Bodens zu finden (Abbildung 44). Das war höher als im GPS-Typ, lag aber im normalen Bereich [67].

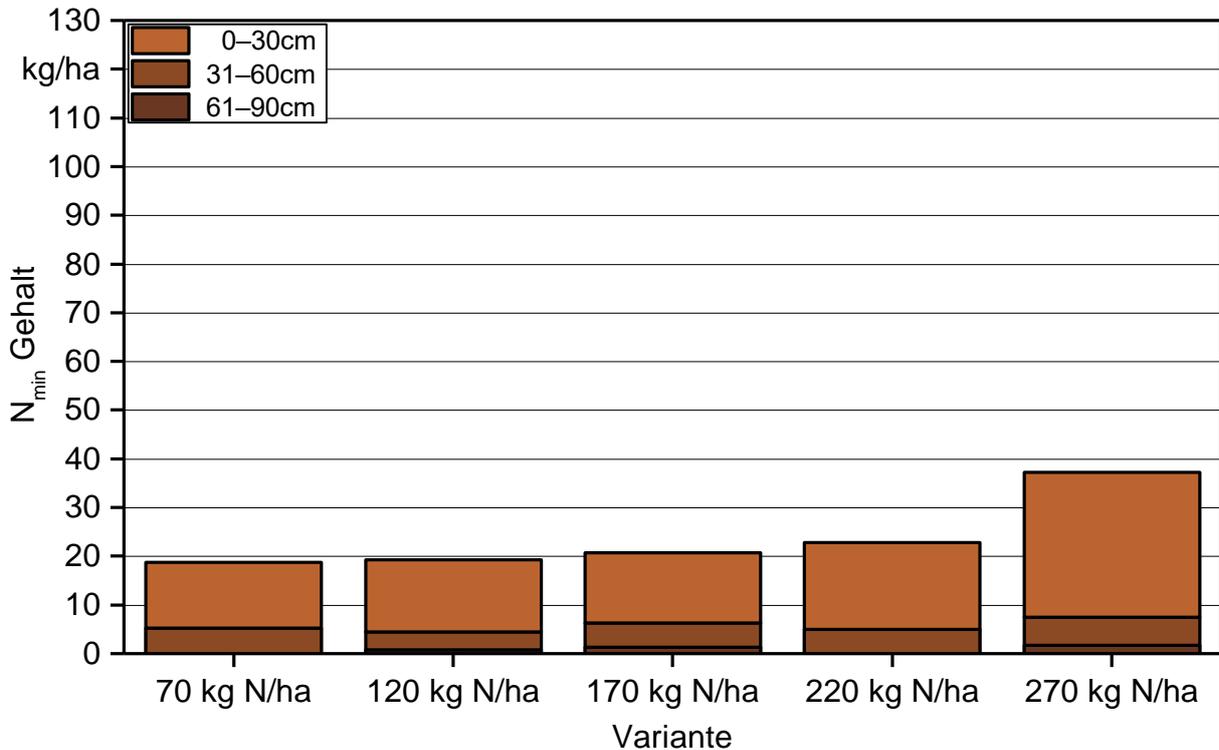


Abbildung 44:  $N_{\min}$ -Gehalt im Boden für drei Bodenschichten im Korntyp nach Ernte, 2017

Für 2017 konnte im Korntyp wegen Lagers keine Ertragserfassung durchgeführt werden, aber Inhaltsstoffproben der Gesamtpflanze zu BBCH<sup>65</sup> sowie des Korns und Strohs zur Ernte wurden gezogen.

Die Rohproteingehalte im Korn nahmen 2017 bei steigender Stickstoffdüngung deutlich zu, die Werte für Deoxynivalenol, der DON-Wert, waren 2017 unter der Nachweisgrenze.

Im Stroh nahmen die ADL-Werte mit zunehmender Düngestufe ab, was im Korntyp A-MA 186 auf eine frühere Abreife mit stärkerer Verholzung in den niedrigen Düngestufen spricht. Rohprotein und Nitratgehalt waren in der höchsten Düngestufe signifikant am höchsten, in den anderen Düngestufen nicht signifikant unterschiedlich. Wie im Gelben Amarant fanden sich im Stroh des Korntyps signifikante Unterschiede im Stärkegehalt, die aber keine eindeutige Interpretation zulassen.

Um die Eignung des Amarants AMA 186 zur Nutzung als Ganzpflanzensilage einzuschätzen, wurden dessen Inhaltsstoffe zur Siloreife, BBCH 65, untersucht. Zu diesem Zeitpunkt gab es einen eindeutigen signifikanten Anstieg des Rohproteins und des Nit-

ratgehalts sowie eine signifikante Verringerung des NDF. Die vorhandenen Unterschiede in der Rohfaser lassen keine klare Schlussfolgerung zu (Tabelle 19).

*Tabelle 19: Mittelwerte und Mittelwertvergleich der Inhaltsstoffe im Korntyp, unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikant unterschiedliche Gruppen, 2017*

Variante		70 kg N/ha	120 kg N/ha	170 kg N/ha	220 kg N/ha	270 kg N/ha					
Inhaltsstoff	Fraktion	in % TM									
XP	Korn	15,92	C	16,03	BC	16,85	ABC	18,17	AB	18,62	A
XA	Stroh	14,74	A	14,29	A	15,41	A	14,94	A	14,49	A
XP	Stroh	3,44	B	3,84	AB	3,67	AB	3,21	B	4,51	A
XL	Stroh	0,54	A	0,54	A	0,61	A	0,43	A	0,42	A
XF	Stroh	49,64	A	48,89	A	48,82	A	48,14	A	48,38	A
NfE	Stroh	31,65	A	32,45	A	31,50	A	33,28	A	32,20	A
NDF	Stroh	70,07	A	70,20	A	70,24	A	71,44	A	71,00	A
ADF	Stroh	58,19	A	58,43	A	57,12	A	57,83	A	57,07	A
ADL	Stroh	11,03	A	11,38	A	10,01	AB	8,65	B	9,04	B
NFC	Stroh	11,15	A	11,08	A	10,10	A	9,98	A	9,55	A
Stärke	Stroh	1,61	ABC	2,07	A	1,64	AB	1,06	C	1,47	BC
Nitrat	Stroh	0,34	B	0,26	B	0,39	B	0,43	B	0,88	A
Hemicellulose	Stroh	11,87	A	11,77	A	13,12	A	13,61	A	13,93	A
Cellulose	Stroh	47,16	A	47,05	A	47,11	A	49,18	A	48,03	A
XA	GP	15,65	A	14,77	A	16,49	A	16,71	A	15,66	A
XP	GP	9,35	B	10,05	B	12,03	A	11,42	A	12,19	A
XL	GP	3,19	A	3,30	A	3,16	A	2,84	A	2,85	A
XF	GP	35,13	A	33,23	AB	30,67	B	32,35	AB	32,08	AB
NfE	GP	36,68	A	38,65	A	37,65	A	36,68	A	37,20	A
NDF	GP	55,51	A	54,31	AB	52,43	B	51,80	B	52,29	B
ADF	GP	41,78	A	40,90	A	39,65	A	39,28	A	39,94	A
ADL	GP	9,74	A	9,45	A	8,75	A	8,31	A	9,57	A
NFC	GP	16,28	A	17,60	A	15,88	A	17,25	A	17,05	A
Stärke	GP	9,98	A	11,88	A	14,08	A	11,66	A	11,70	A
Nitrat	GP	0,08	B	0,10	B	0,20	B	0,50	A	0,45	A
Hemicellulose	GP	13,73	A	13,41	A	12,78	A	12,52	A	12,35	A
Cellulose	GP	32,04	A	31,45	A	30,90	A	30,97	A	30,37	A

### Jahr 2018

Wie in Abbildung 45 zu sehen war in 2018 unter dem Korntyp, AMA 186, viel mineralisierter Stickstoff im Boden verblieben. Besonders in den oberen 30 cm fanden sich hohe Gehalte, teilweise über 80 kg N<sub>min</sub>/ha.

Signifikante Unterschiede im TM-Ertrag und im TS-Gehalt des Korns wurden nicht gemessen. Die Trockenmasseerträge lagen um 30 dt TM Korn/ha und der TS-Gehalt bei 71–75 %. Auch im Rohproteingehalt waren die Unterschiede nicht signifikant. Somit wurde 2018 für das Korn des AMA 186 keine Reaktion auf die Höhe der Stickstoffdüngung festgestellt (Abbildung 46).

Nur in fünf von 20 Proben wurde Deoxynivalenol (DON) nachgewiesen. Die anderen Gehalte lagen unter der Nachweisgrenze. Da es in den verschiedenen Varianten bis auf die 220-kg-N/ha-Variante höchstens einen DON-Wert über der Nachweisgrenze gab, wurde keine statistische Berechnung durchgeführt. In der 70-kg-N/ha-Variante lag der Wert bei 217 µg/kg TM, in der 120-kg-N/ha-Stufe bei 272 µg/kg TM. Die höchsten Werte befanden sich bei 429 µg/kg TM und 523 µg/kg TM in der 220-kg-N/ha-Variante, in der 270-kg-N/ha-Variante lag der Wert bei 316 µg/kg TM. Damit lagen sämtliche Werte noch deutlich unter dem gesetzlichen Höchstgehalt von 750 µg/kg TM [37].

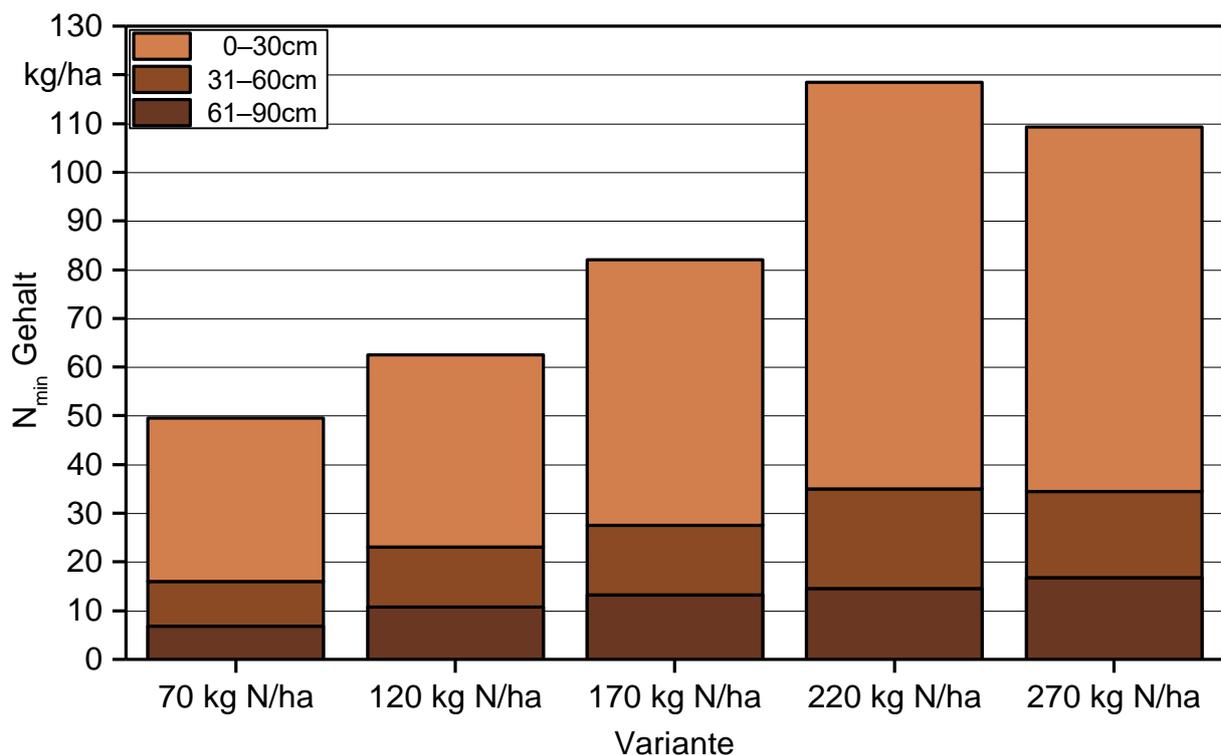


Abbildung 45: N<sub>min</sub>-Gehalt im Boden für drei Bodenschichten im Korntyp nach Ernte, 2018

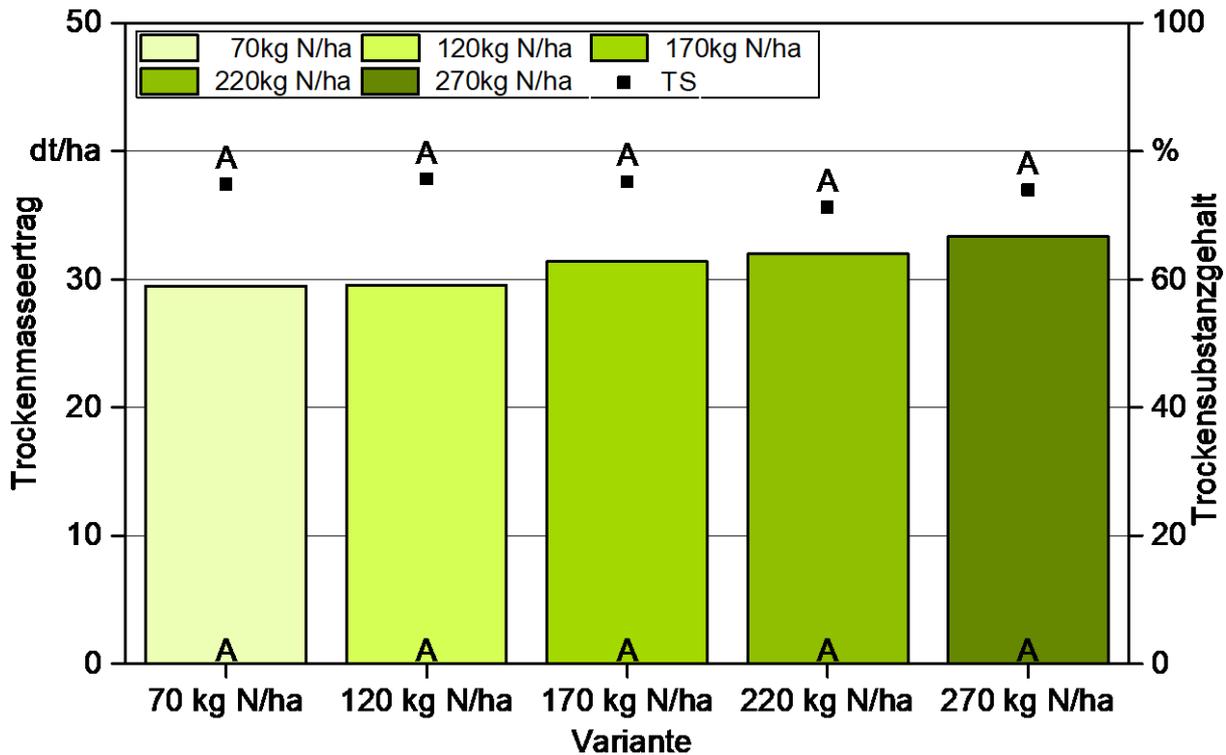


Abbildung 46: Mittelwerte des Korn-Trockenmasseertrags und -Trockensubstanzgehalts des Korntyps für fünf unterschiedliche Düngestufen, unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikant unterschiedliche Gruppen, 2018

Im Stroh fanden sich signifikante Unterschiede im Rohfett und in den NfE, die aber kein eindeutiges Muster erkennen ließen. Der Nitratgehalt stieg auch im Stroh bei zunehmender Düngung an.

Um die Eignung des Amarants AMA 186 als Ganzpflanzensilage einzuschätzen, wurden dessen Inhaltsstoffe zur Siloreife, BBCH 65, untersucht. Interessant waren die Unterschiede im Rohfett und im Nitratgehalt, die jeweils für die höchste Düngestufe am höchsten und für die niedrigste Düngestufe am niedrigsten waren. Die signifikanten Unterschiede in der Rohfaser waren nicht interpretierbar (Tabelle 20).

Tabelle 20: Mittelwerte und Mittelwertvergleich der Inhaltsstoffe im Korntyp, unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikant unterschiedliche Gruppen, 2018

Variante		70 kg N/ha	120 kg N/ha	170 kg N/ha	220 kg N/ha	270 kg N/ha					
Inhaltsstoff	Fraktion	in % TM									
XP	Korn	16,02	A	18,09	A	18,07	A	16,12	A	16,76	A
XA	Stroh	14,13	A	15,42	A	14,65	A	14,93	A	15,43	A
XP	Stroh	6,16	A	5,74	A	6,35	A	6,44	A	7,60	A
XL	Stroh	1,12	AB	1,91	A	0,80	AB	0,56	B	1,20	AB
XF	Stroh	38,81	A	41,15	A	41,14	A	43,17	A	38,83	A
NfE	Stroh	39,78	A	35,78	AB	37,05	AB	34,88	B	36,93	AB
NDF	Stroh	62,09	A	64,62	A	62,64	A	64,29	A	60,43	A
ADF	Stroh	47,36	A	50,55	A	48,79	A	50,15	A	47,32	A
ADL	Stroh	9,55	A	8,50	A	9,50	A	9,75	A	8,17	A
NFC	Stroh	16,53	A	12,30	A	15,50	A	13,78	A	15,29	A
Stärke	Stroh	5,73	A	3,07	A	3,68	A	2,41	A	4,08	A
Nitrat	Stroh	0,60	C	0,90	BC	1,21	ABC	1,59	A	1,58	AB
Hemicellulose	Stroh	14,74	A	14,07	A	13,85	A	14,14	A	13,11	A
Cellulose	Stroh	37,80	A	42,05	A	39,29	A	40,40	A	39,15	A
XA	GP	12,35	A	11,90	A	10,29	A	11,50	A	10,58	A
XP	GP	10,43	A	12,41	A	11,79	A	12,17	A	12,32	A
XL	GP	2,42	B	2,67	AB	3,12	AB	2,85	AB	3,15	A
XF	GP	27,88	A	23,93	AB	21,76	AB	21,03	B	24,31	AB
NfE	GP	46,90	A	49,10	A	53,05	A	52,45	A	49,65	A
ADF	GP	31,30	A	28,55	A	25,47	A	26,22	A	28,11	A
NDF	GP	45,01	A	42,70	A	37,37	A	36,80	A	40,00	A
ADL	GP	6,47	A	5,96	A	5,91	A	6,28	A	5,55	A
NFC	GP	29,78	A	30,35	A	37,40	A	36,68	A	33,98	A
Stärke	GP	20,84	A	25,35	A	33,95	A	30,07	A	22,48	A
Nitrat	GP	0,25	C	0,63	AB	0,62	AB	0,46	BC	0,89	A
Hemicellulose	GP	13,71	A	14,15	A	11,91	A	10,59	A	11,89	A
Cellulose	GP	24,83	A	22,59	A	19,56	A	19,94	A	22,56	A

### 5.4.2.3 Batchtests

Batchtestversuche aus dem Jahr 2017 mit dem Amarant der Düngestufe 170 kg N/ha zeigten ähnliche Ergebnisse für den Gelben Amarant als Ganzpflanzensubstrat und das Stroh des Korntyps, AMA 186 (Abbildung 47). Ersterer hatte eine Biogasausbeute von

463,9 l<sub>N</sub>/kg oTS und 262 l<sub>N</sub>/kg oTS Methanausbeute, Letzterer eine Biogasausbeute von 413,9 l<sub>N</sub>/kg oTS und 231,7 l<sub>N</sub>/kg oTS Methanausbeute.

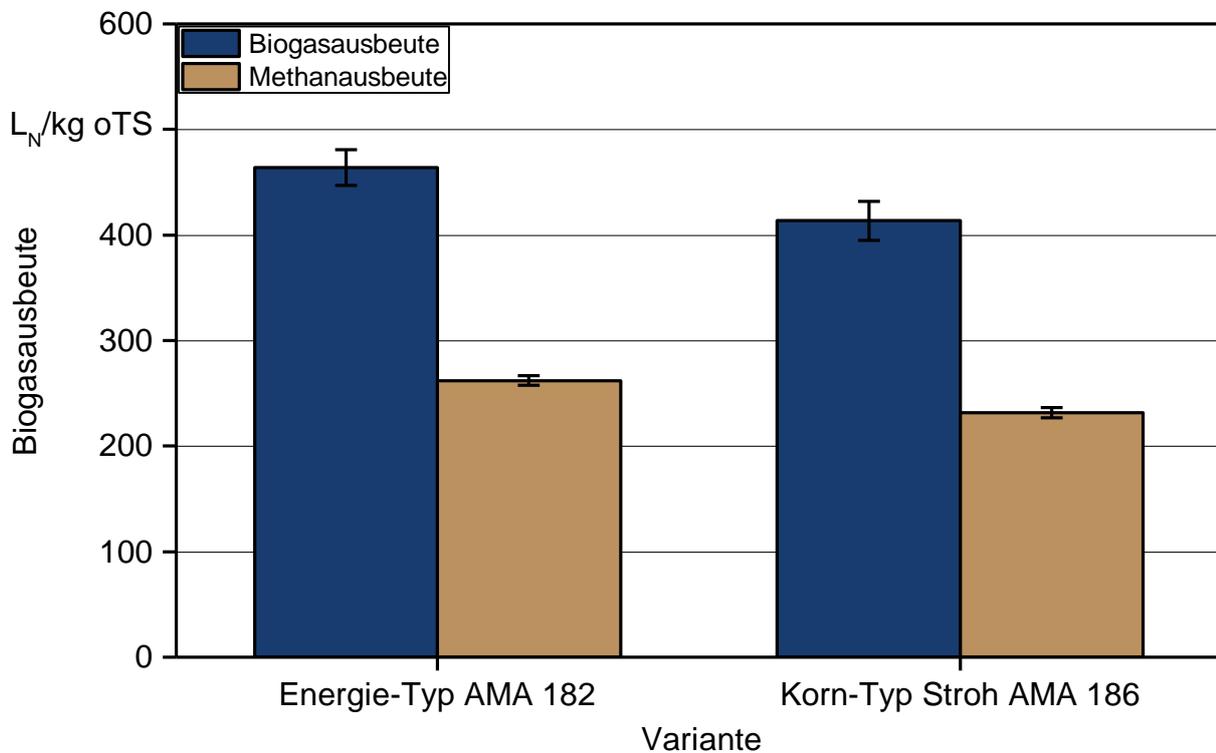


Abbildung 47: Biogas- und Methanausbeute von Amarantlinien AMA 182 (Ganzpflanze) und AMA 186 (Stroh, ohne Korn), Düngestufe 170 kg N/ha, 2017

#### 5.4.2.4 Berechnete Biogasausbeuten und Biogasertrag

Die errechnete Gasausbeute war 2018 insgesamt höher als für das Jahr 2017. In 2017 hatte der Gelbe Amarant die höchsten Gas- und Methanausbeuten, gefolgt vom Korntyp als Ganzpflanze und zum Schluss das Stroh des Korntyps. Das Stroh zeigte steigende Gas- und Methanausbeuten mit zunehmender Stickstoffdüngung. Weitere signifikante Unterschiede für Gas- und Methanausbeuten wurden nicht gefunden. Im Jahr 2018 hatte das Stroh wieder die niedrigsten errechneten Gas- und Methanausbeuten, die beiden Ganzpflanzen des Energietyps und des Korntyps lagen gleichauf (Tabelle 21). Die errechneten Werte im Jahr 2017 in der 170-kg-N/ha-Variante lagen etwas unter den Ergebnissen des Batchtests. Die errechneten Gas- und Methanerträge je Hektar stiegen im Jahr 2017 in den unteren Düngestufen an, im Jahr 2018 zeigten sich keine statistisch signifikanten Unterschiede (Tabelle 22).

Tabelle 21: Nach Dandikas [26] errechnete Biogas- und Methanausbeuten, unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikant unterschiedliche Gruppen

Linie	Fraktion	Ausbeute	70 kg N/ha	120 kg N/ha	170 kg N/ha	220 kg N/ha	270 kg N/ha
Ausbeute in l <sub>N</sub> /kg oTM							
2017							
AMA 182	GP	Biogas	470,6 A	439,20 B	483,7 A	525,63 A	466,1 A
		Methan	240,8 A	224,86 B	247,4 A	268,83 A	238,5 A
AMA 186	Stroh	Biogas	345,4 B	333,13 B	386,3 A	438,27 A	423,0 A
		Methan	177,1 B	170,86 B	197,9 A	224,42 A	216,6 A
AMA 186	GP	Biogas	402,6 A	411,82 A	436,0 A	451,12 A	404,9 A
		Methan	206,2 A	210,95 A	223,2 A	230,93 A	207,4 A
2018							
AMA 182	GP	Biogas	559,2 A	507,58 A	520,7 A	540,31 A	530,0 A
		Methan	285,9 A	259,63 A	266,4 A	276,27 A	271,1 A
AMA 186	Stroh	Biogas	410,7 A	447,41 A	409,7 A	401,49 A	457,0 A
		Methan	210,4 A	229,08 A	209,9 A	205,72 A	233,9 A
AMA 182	GP	Biogas	523,2 A	542,15 A	539,3 A	521,92 A	551,7 A
		Methan	267,6 A	277,30 A	275,8 A	266,90 A	282,1 A

Tabelle 22: Nach Dandikas [26] errechnete Biogas- und Methanerträge mit Versuchserträgen je ha für Gelben Amaranth, unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikant unterschiedliche Gruppen

Jahr		70 kg N/ha	120 kg N/ha	170 kg N/ha	220 kg N/ha	270 kg N/ha
Variante		Ertrag in m <sup>3</sup> N/ha				
2017	Biogas	3002 C	4390 B	5300 AB	5941 A	5555 AB
	Methan	1537 C	2248 B	2712 AB	3039 A	2843 AB
2018	Biogas	4964 A	4868 A	5065 A	5333 A	5125 A
	Methan	2538 A	2490 A	2591 A	2727 A	2621 A

Es gibt mehrere Möglichkeiten, die potenzielle Gasausbeute eines Substrats zu berechnen. Baserga (1998) [7] hat auf Basis von Werten aus bestehenden Biogasanlagen Durchschnittswerte für die Stoffklassen Kohlenhydrate, Eiweiße und Fette errechnet. Rath *et al.* (2014) [90] haben eine Gleichung zur Vorhersage der Biogausausbeute von Mais entwickelt, die auf ADL, Hemicellulose, Rohfett und reduzierenden Zuckern beruht. Das Modell von Weißbach [112] betrachtet die fermentierbare organische Trockensubstanz (FoTS) zur Berechnung der Biogausausbeute. Das ist der Anteil an organischer Trockensubstanz, der unter anaeroben Bedingungen potenziell durch Mikroorganismen abgebaut werden kann. Für die Bestimmung des FoTS hat Weißbach substratspezifische Schätzggleichungen entwickelt, die für Amarant nicht anwendbar sind. Das hier genutzte Modell von Dandikas *et al.* (2014) [26] wurde auf der Grundlage von 41 Pflanzen elf unterschiedlicher Kulturen erstellt und speziell entwickelt, um für unterschiedliche Arten anwendbar zu sein. Damit war es am besten für die Berechnung der potenziellen Biogausausbeute von Amarantsubstrat geeignet. Ein weiterer praktischer Grund war das Vorhandensein von Analyseergebnissen für die benötigten Parameter.

#### 5.4.2.5 Spurenelemente

*Autor des Unterkapitels: Dr. Benedikt Sauer, IZNE*

In den Stickstoffdüngerversuchen wurden jeweils Spurenelementproben der Ganzpflanze aus jeder der vier Wiederholungen des Düngerversuchs des Energietyps entnommen. Für den Korntyp wurden Spurenelementproben für die Ganzpflanze zu BBCH 65 sowie Korn- und Strohproben zur Ernte gezogen. Im Korntyp wurde jeweils eine Mischprobe pro Stickstoffdüngestufe gezogen.

#### Jahr 2017

Aus den Stickstoffdüngerversuchen 2017 ließ sich bezüglich Cobalts kein eindeutiger Trend nachweisen. Wie in Abbildung 48 und in Abbildung 49 zu sehen, hatten die Düngestufen keinen eindeutigen Einfluss auf die Cobaltkonzentration in den geernteten Pflanzen oder Pflanzenteilen. Im GPS-Typ war zwar der Cobaltgehalt in der 220-kg-N/ha-Stufe signifikant höher als in der 70-kg-N/ha-Stufe, in der höchsten Stufe war der Cobaltgehalt allerdings nicht signifikant höher als in der untersten Stufe. Die Probe der Restpflanzen (Stroh) nach der Abtrennung der Körner der Düngestufe 220 kg N wies unerwartet hohe Gehalte an Cobalt sowie auch einiger weiterer Spurenelemente auf. Es ist davon auszugehen, dass diese Probe irgendwo auf dem Weg vom Feld bis zur Elementmessung kontaminiert wurde. Daher wurde diese Probe für die weitere Betrachtung nicht beachtet.

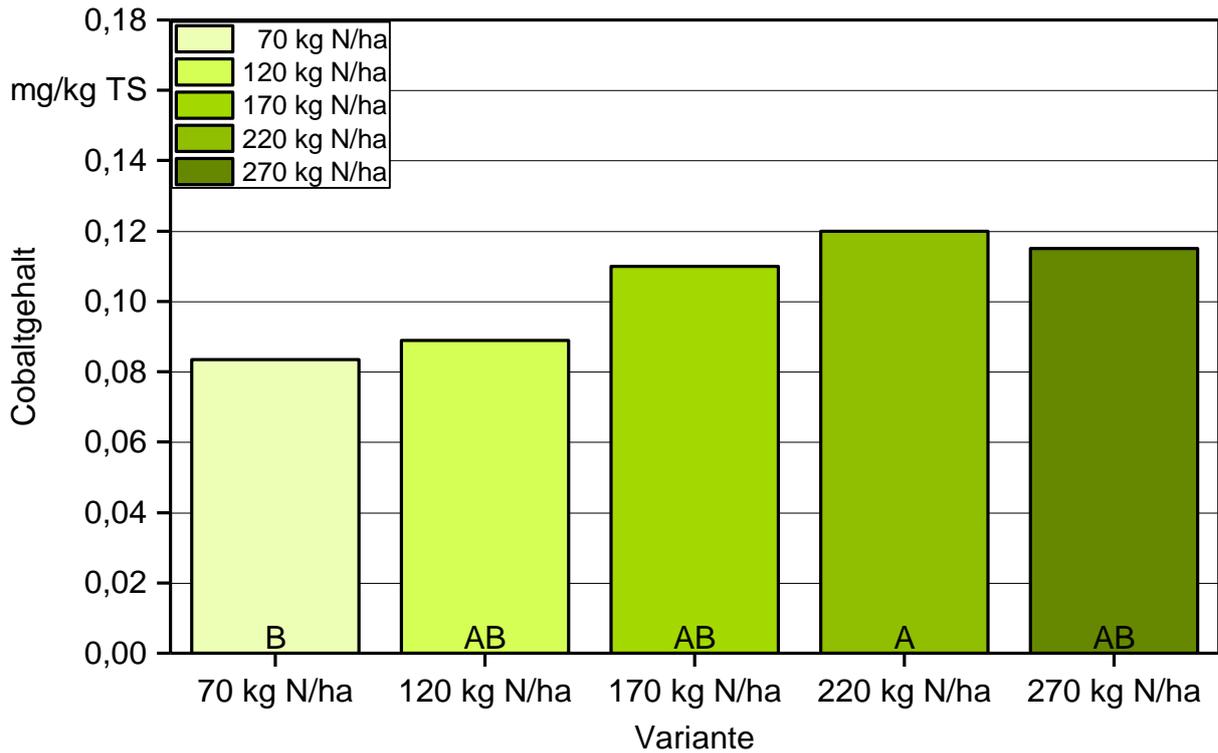


Abbildung 48: Cobaltgehalt des Gelben Amarants für fünf unterschiedliche Düngestufen, unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikant unterschiedliche Gruppen, 2017

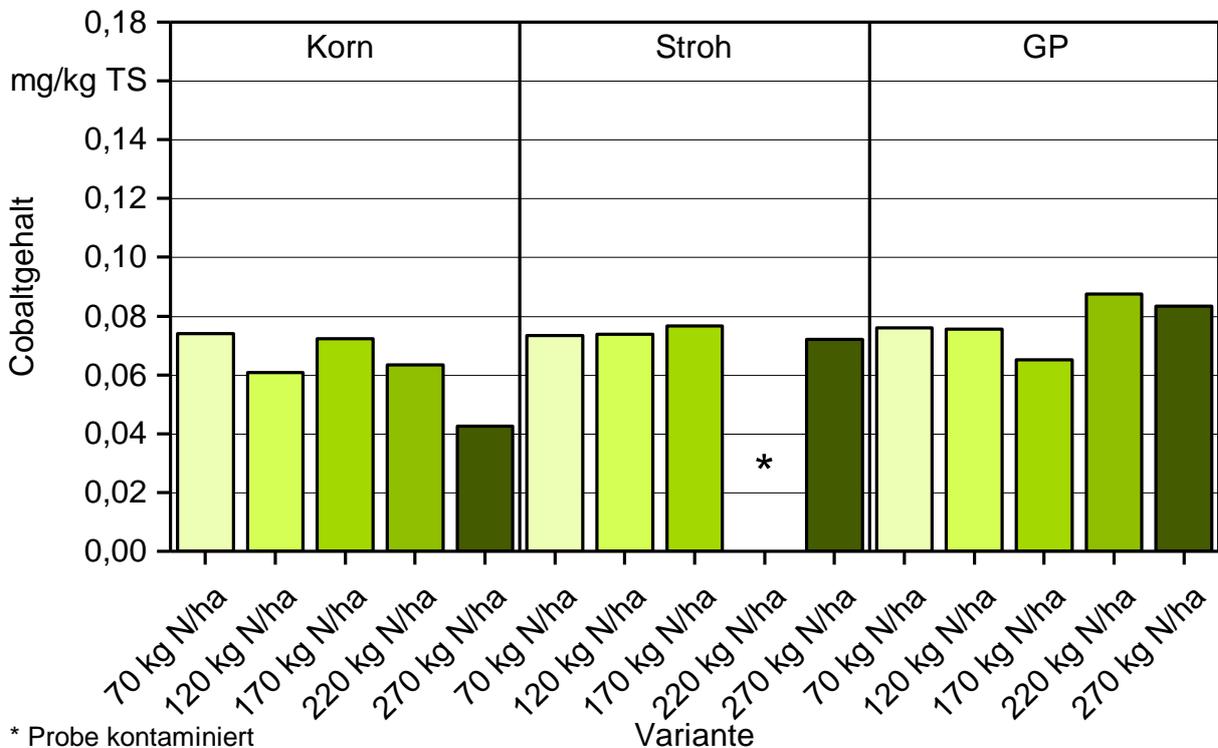


Abbildung 49: Cobaltgehalt des Korntyps für fünf unterschiedliche Düngestufen für unterschiedliche Fraktionen der Pflanze, 2017

Auf die Nickelaufnahme durch Amarant hatten die unterschiedlichen Düngestufen 2017 keinen nachweislichen Einfluss (Abbildung 50 und Abbildung 51). Die Nickelkonzentration im Amarantkorn war gegenüber den übrigen Pflanzenteilen deutlich niedriger, im Stroh waren die höchsten Werte zu finden.

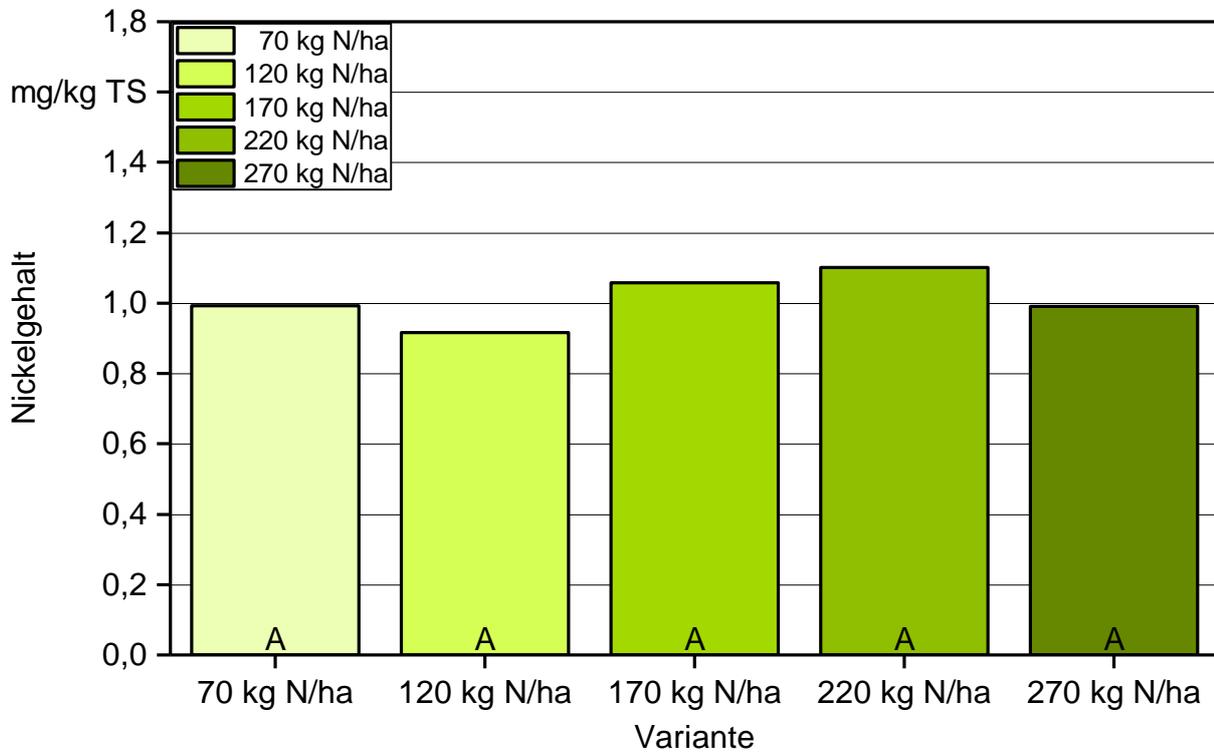


Abbildung 50: Nickelgehalt des Gelben Amarants für fünf unterschiedliche Düngestufen, unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikant unterschiedliche Gruppen, 2017

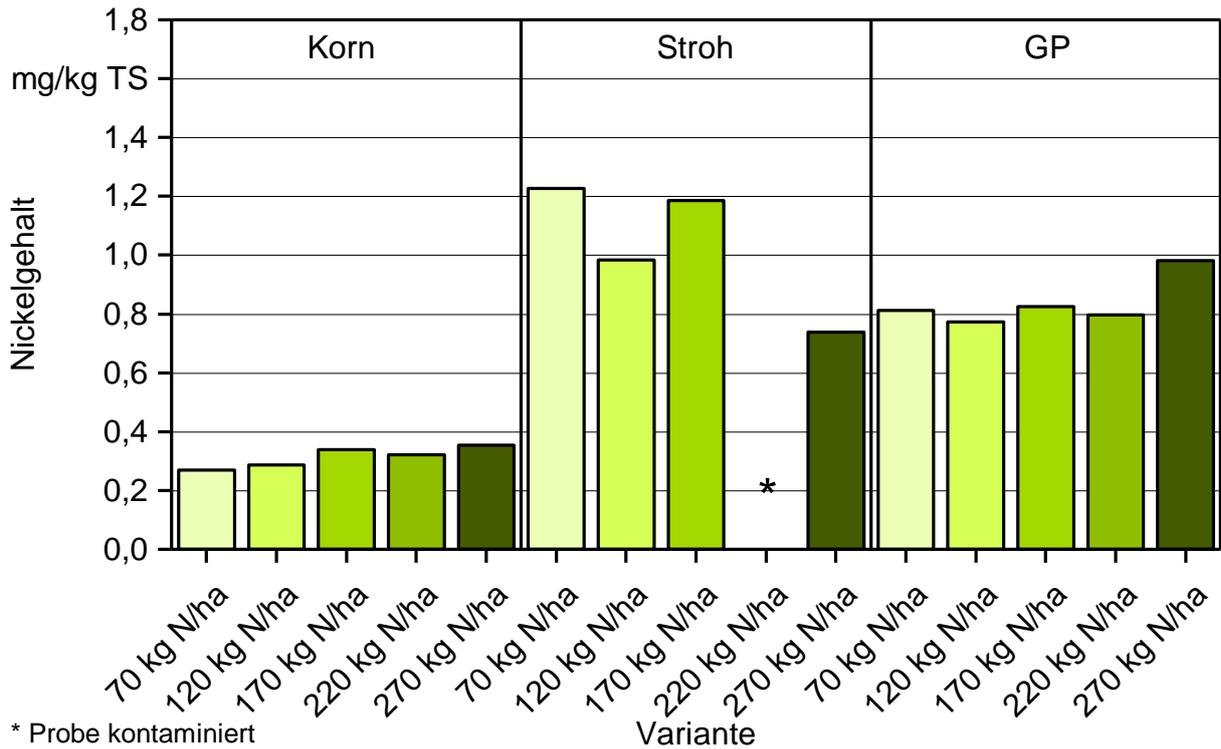


Abbildung 51: Nickelgehalt des Korntyps für fünf unterschiedliche Dünge­stufen für unterschiedliche Fraktionen der Pflanze, 2017

Wie in Abbildung 52 zu sehen stiegen im Energietyp die Cadmiumgehalte mit zunehmender Stickstoffdüngung signifikant an. Mit Blick auf die Darstellung der Cadmiumgehalte des Korntyps zum Einfluss der N-Dünge­stufen (Abbildung 53) fällt zuerst auf, dass die Amarantkörner deutlich weniger Cadmium als die Gesamtpflanzen und die Restpflanzen ohne Körner enthielten. Auch stieg im Korn der Cadmiumgehalt mit der Dünge­stufe nicht an. In die Samen als Fortpflanzungsorgan der Pflanzen wurde also weniger des Schadelements Cadmium eingebaut. Dies ist ein positives Ergebnis für den Fall, dass in einer Kaskadennutzung die Amarantsamen der menschlichen Ernährung zugeführt werden sollen. Für die Nutzung von Amarant als Energiepflanze oder auch als Futterpflanze ist die hier gewonnene Erkenntnis, dass mit Zunahme der N-Dünge­stufe auch gleichzeitig die Cadmiumaufnahme steigt, von großer Bedeutung. In Abbildung 52 ist zu sehen, dass die Amarantpflanzen des Energietyps mit der niedrigen Stickstoffversorgung von nur 70 kg N/ha weniger als die Hälfte der Cadmiummenge gegenüber den Pflanzen der Dünge­stufen 220 und 270 kg N/ha aufnahmen.

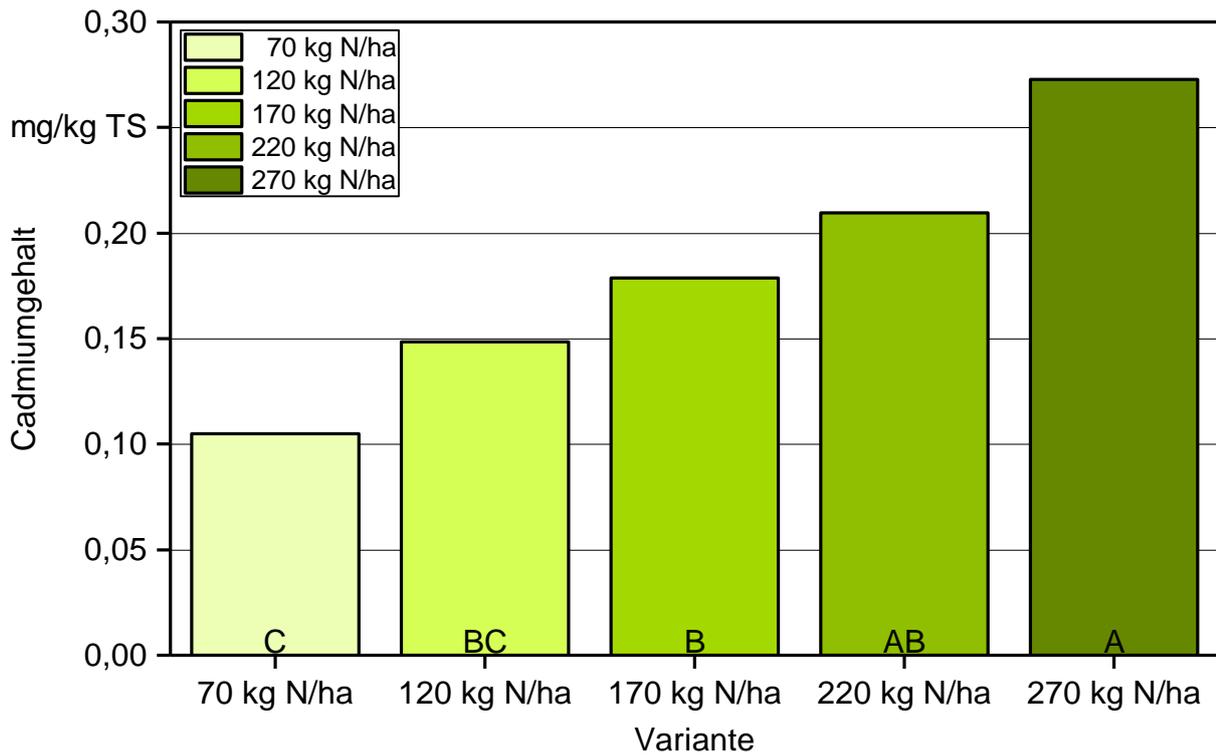
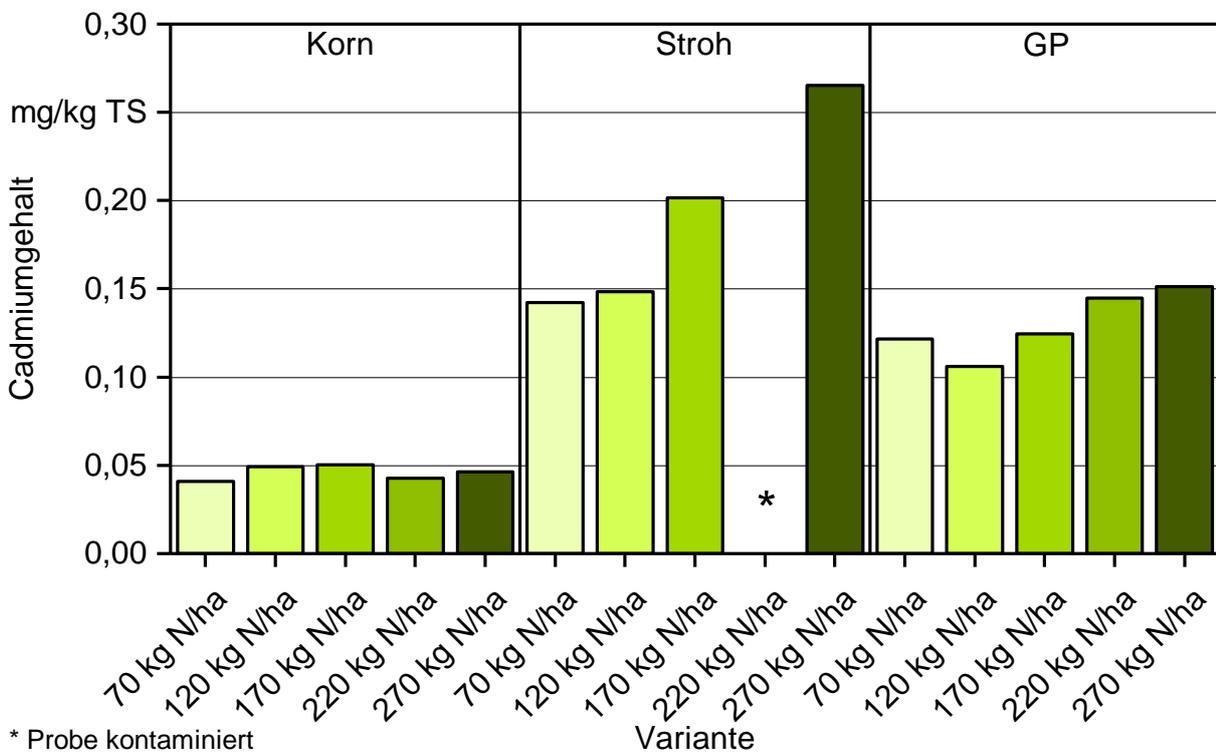


Abbildung 52: Cadmiumgehalt des Gelben Amarants für fünf unterschiedliche Dünge-  
stufen, unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikant unterschiedliche  
Gruppen, 2017



\* Probe kontaminiert

Abbildung 53: Cadmiumgehalt des Korntyps für fünf unterschiedliche Dünge-  
stufen für unterschiedliche Fraktionen der Pflanze, 2017

### Jahr 2018

Die Interpretation der Elementdaten zu den Pflanzenteilen aus dem Düngeversuch von 2018 gestaltete sich deutlich schwieriger als in 2017. Es fiel auf, dass vor allem an den Proben der ganzen Pflanzen aus August 2018 deutlich mehr Bodenmaterial anhaftete als im Jahr zuvor. Dies zeigte sich unter anderem an erhöhten Aluminium- und Titankonzentrationen. Dies führte bei der Korrektur auf anhaftendes Material zu einer starken Korrektur vor allem bei Spurenelement Cobalt.

Da der Sommer 2018 außergewöhnlich trocken war, ist fraglich, inwieweit die Ergebnisse zu den Spurenelementen aus diesem Jahr übertragbar sind. Wie in Abbildung 54 zu sehen waren 2018 keine signifikanten Unterschiede in der Cobaltkonzentration im Energietyp bei den ansteigenden Stickstoffdüngestufen zu finden. In Abbildung 55 sind die Cobaltkonzentrationen des Korntyps dargestellt. Die Ganzpflanze wies die geringsten Cobaltgehalte auf, das Stroh wiederum am meisten. Die geringen Werte bei der Ganzpflanze könnten wie oben beschrieben mit der eventuell zu starken Korrektur aufgrund anhaftender Bodenpartikel zusammenhängen. Die Düngegruppen hingegen hatten keinen nachweisbaren Einfluss auf die Cobaltaufnahme in die verschiedenen untersuchten Pflanzenteilen.

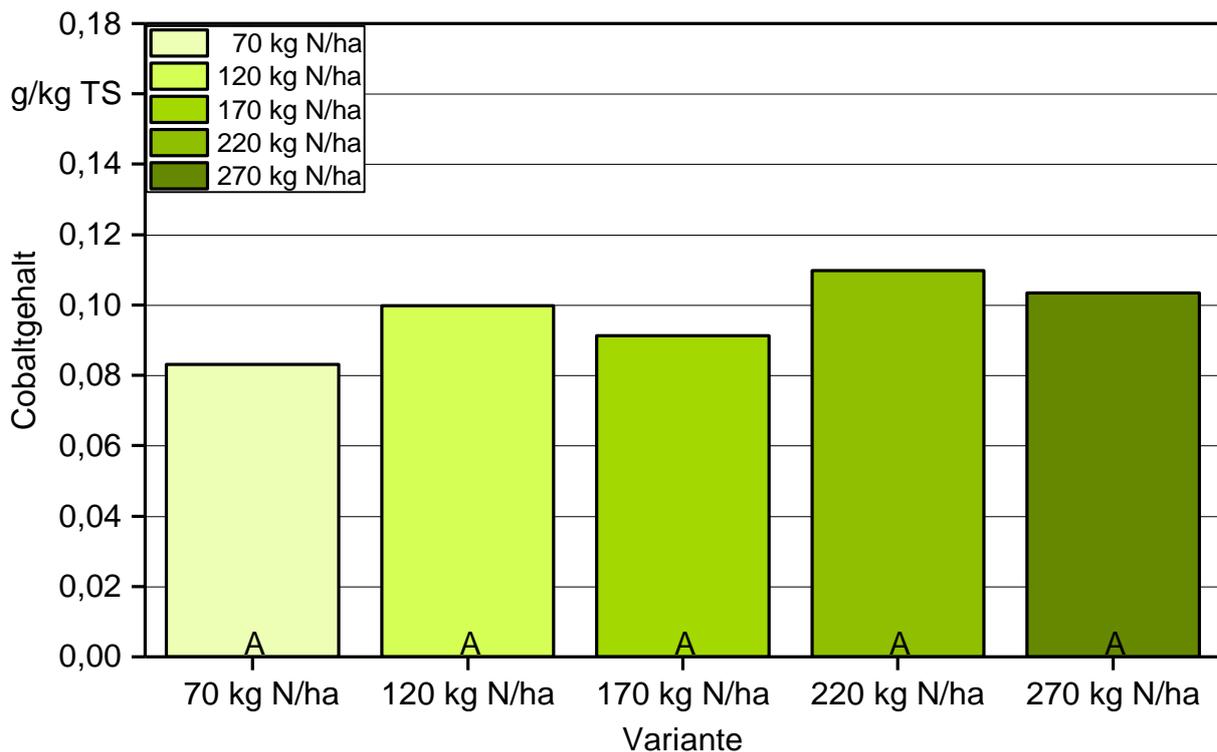


Abbildung 54: Cobaltgehalt des Gelben Amarants für fünf unterschiedliche Düngegruppen, unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikant unterschiedliche Gruppen, 2018

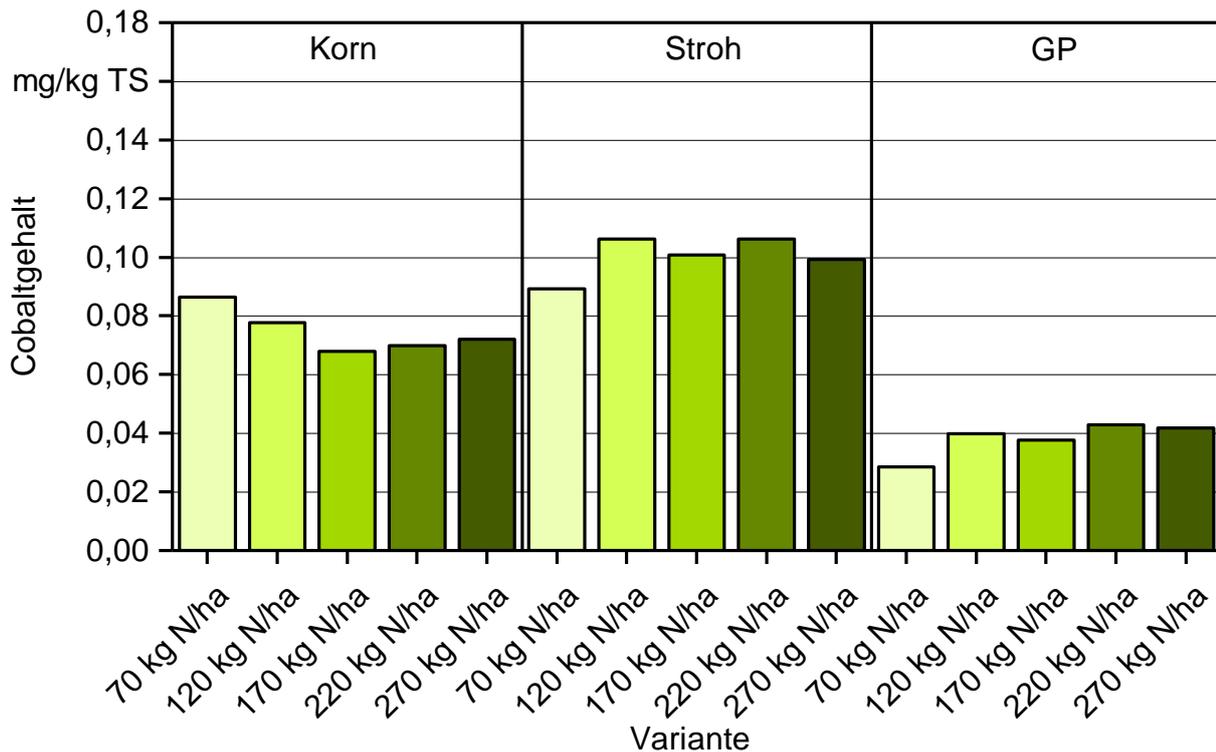


Abbildung 55: Cobaltgehalt des Korntyps für fünf unterschiedliche Dünge­stufen für unterschiedliche Fraktionen der Pflanze, 2018

Die Nickelkonzentrationen im Gelben Amarant stiegen mit zunehmender Düngung leicht an, die Unterschiede waren aber nicht signifikant (Abbildung 56).

In der folgenden Abbildung 57 sind die Nickelkonzentrationen des Korntyps dargestellt. Das Reststroh wies wie bei den anderen dargestellten Spurenelementen die höchsten Konzentrationen auf.

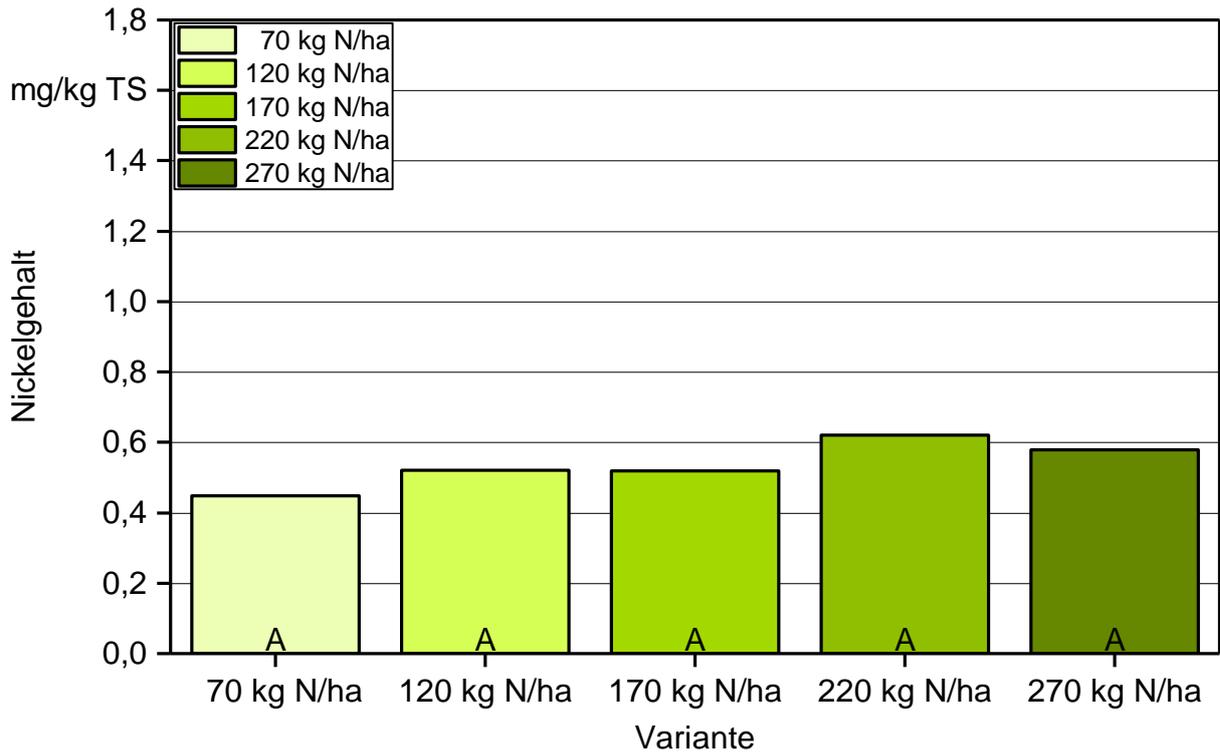


Abbildung 56: Nickelgehalt des Gelben Amarants für fünf unterschiedliche Düngestufen, unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikant unterschiedliche Gruppen, 2018

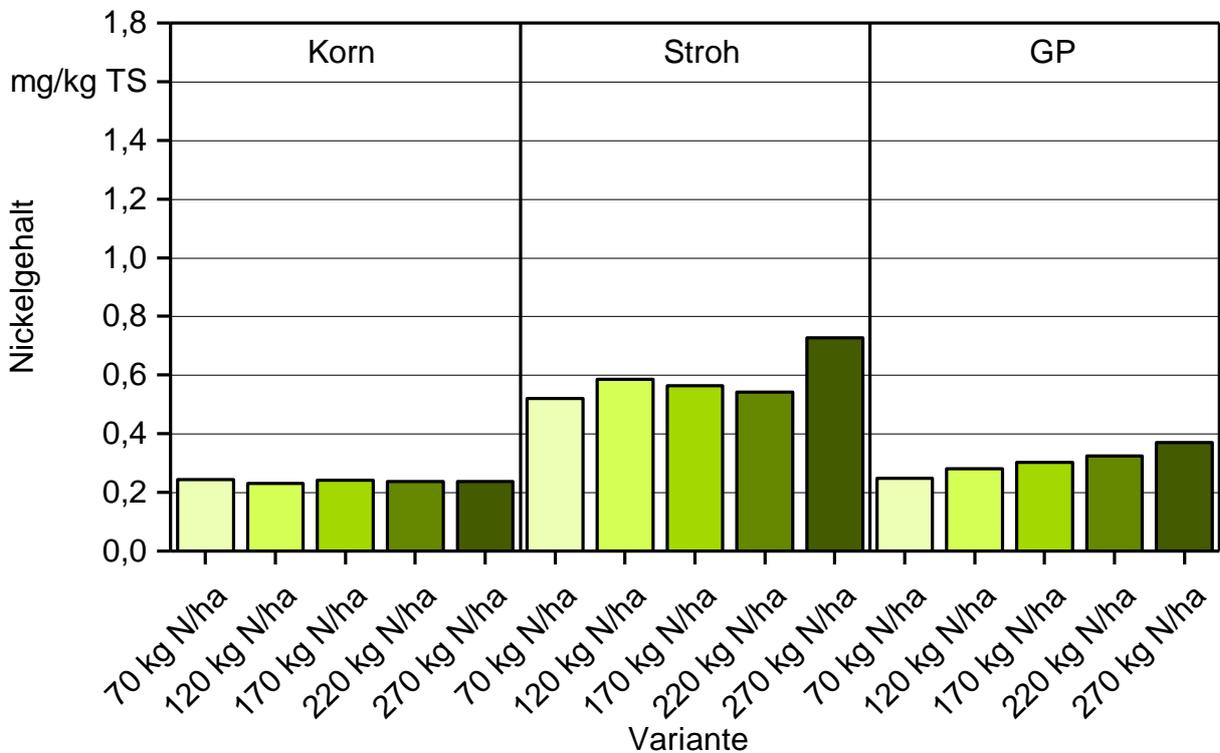


Abbildung 57: Nickelgehalt des Korntyps für fünf unterschiedliche Düngestufen für unterschiedliche Fraktionen der Pflanze, 2018

In den oben beschriebenen Versuchen aus 2017 waren die Cadmiumgehalte mit zunehmender N-Düngung angestiegen. 2018 konnte durch die Steigerung der N-Düngung keine erhöhte Elementaufnahme am Schadelement Cadmium durch den Gelben Amaranth nachgewiesen werden (Abbildung 58). Für die Ganzpflanzenproben war eine Zunahme der Cadmiumgehalte bis zur 220-kg-N/ha-Stufe zu beobachten, nicht jedoch in den Reststroh- oder Körnerproben (siehe Abbildung 59). Es bleibt aber wie bereits oben erwähnt fraglich, ob im extrem trockenen Sommer 2018 die N-Düngung überhaupt pflanzenverfügbar war.

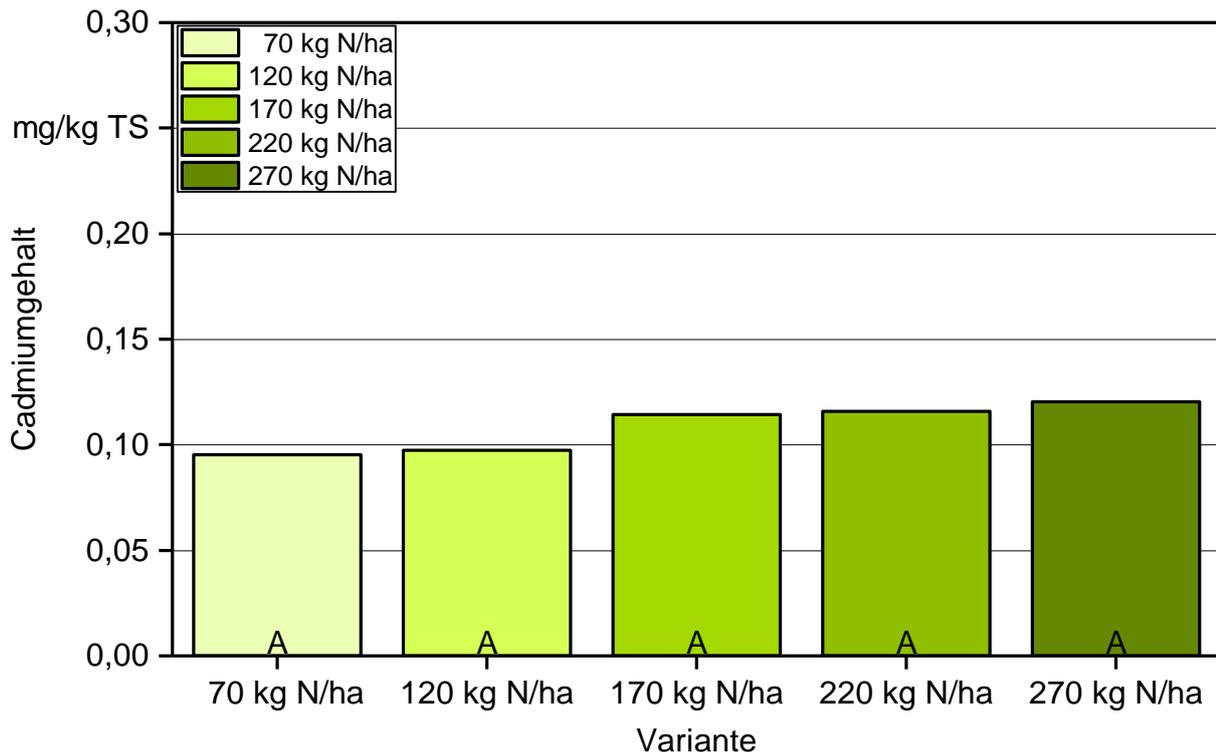


Abbildung 58: Cadmiumgehalt des Gelben Amaranths für fünf unterschiedliche Dünge­stufen, unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikant unterschiedliche Gruppen, 2018

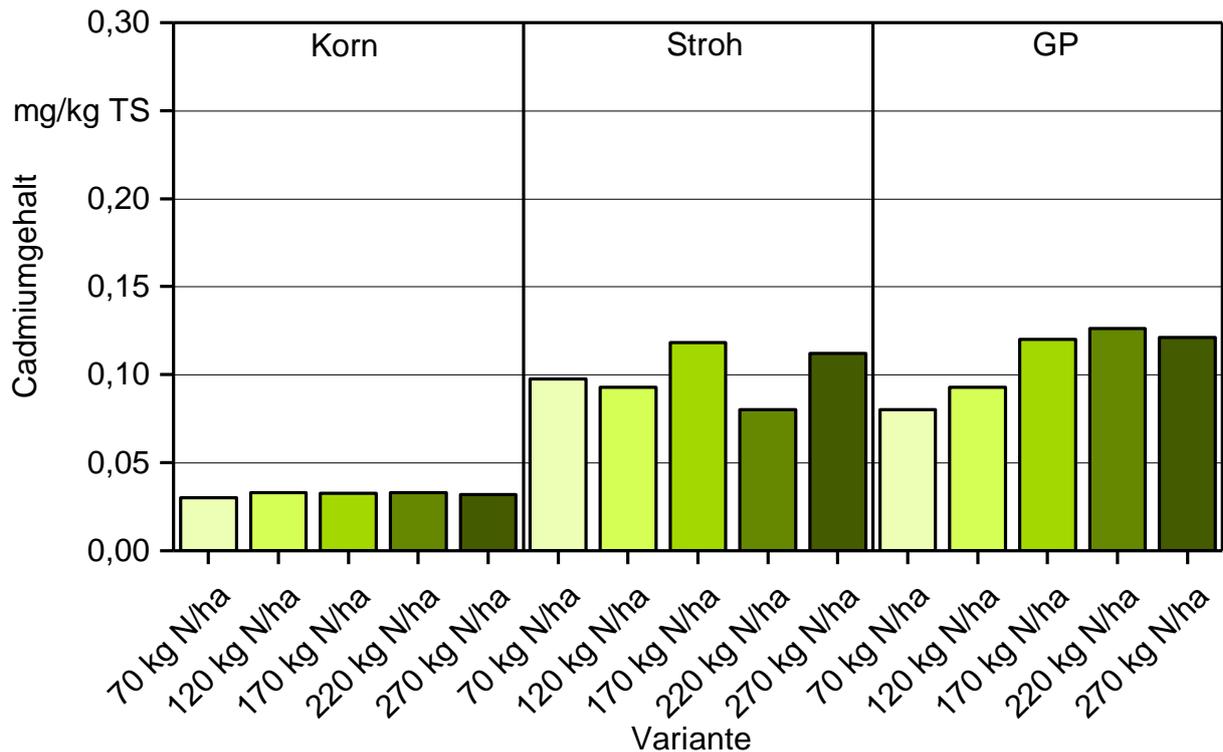


Abbildung 59: Cadmiumgehalt des Korntyps für fünf unterschiedliche Dünge­stufen für unterschiedliche Fraktionen der Pflanze, 2018

#### 5.4.2.6 Diskussion des Düngeversuchs

Amarant kann bis zur Reife bis 200 kg N/ha aufnehmen, von dem der größte Teil in den Ernteresten verbleibt [6]. In Versuchen von Aufhammer (2000) mit 0 kg N/ha, 80 kg N/ha und 80 + 40 kg N/ha (Teilgabe zu BBCH 30) zeigten sich deutlich steigende Erträge sowohl für die Ganzpflanze als auch für das Stroh. Der Kornertrag stieg nur von der N-0- zur N-80-Variante [6]. In Versuchen von Dersch und Nagel (2001) [30] mit den Dünge­stufen 0, 25, 50 und 75 kg N/ha führten diese zu signifikant höheren Wassergehalten des Korns, aber auch zu höheren Kornerträgen. Sie stellten keinen höheren Proteingehalt des Korns bei unterschiedlichen N-Gaben fest. In einem Langzeitversuch von Raup *et al.* (2009) [91] mit 60, 80 und 100 kg N/ha stieg der Rohproteingehalt der Körner von der mittleren zur hohen Menge signifikant an. Der Fettgehalt zeigte keine Düngeeffekte. Schulte auf'm Erley *et al.* (2005) [104] stellten eine höhere Stickstoffaufnahme mit steigender Verfügbarkeit fest, aber auch eine niedrigere Stickstoffaufnahme im Jahr 1994 mit einem trockenen heißen Sommer und Herbst verglichen mit dem Jahr 1995, das kühler und feuchter war. Mit Dünge­stufen von 0, 80 und 120 kg N/ha ermittelten sie mit 140 % einen signifikanten Ertragsanstieg von der N-0- zur 120-kg-N/ha-Variante. Es ist davon auszugehen, dass in Versuchen mit einer N-0-Variante die Menge des ausgebrachten Stickstoffs in den Dünge­stufen beschrieben wird. Das schränkt die Vergleichbarkeit der Ergebnisse ein.

Die Ergebnisse aus den am TFZ durchgeführten Versuchen bestätigen die in der Literatur beschriebene hohe Stickstoffaufnahme von Amarant. 2017 hat der Amarant in den

unteren beiden Düngestufen sogar mehr Stickstoff aufgenommen, als für den Sollwert gedüngt wurde. 2018 war in den unteren drei Düngestufen theoretisch die Abfuhr höher als der Düngereinsatz. Berücksichtigt man den  $N_{\min}$ -Gehalt, der nur wenige Meter entfernt von der Versuchsfläche genommen wurde, kommt diese höhere Stickstoffabfuhr durch extrem hohe Mineralisationsraten zustande. Es ist fraglich, ob bei solchen  $N_{\min}$ -Werten die Düngestufen pflanzenbaulich noch ins Gewicht fielen und nicht vielmehr ein Stickstoffüberangebot in allen N-Stufen herrschte. Dem widersprechen jedoch die Unterschiede in der Stickstoffabfuhr zwischen den Düngestufen. Zu beachten ist auch, dass die sehr trockene Witterung die Stickstoffaufnahme erschwert hat. Sicher sagen lässt sich, dass in keiner Düngestufe mehr als 195,4 kg N/ha Biomasse abgefahren wurden. Dies bestätigen die Ergebnisse von Aufhammer (2000) [6], der als Obergrenze für die Stickstoffaufnahme von Amarant 200 kg N/ha genannt hat.

Es war nur eine geringe Umsetzung des aufgenommenen Stickstoffs in Mehrertrag oder wertgebende Inhaltsstoffe zu sehen. Im Jahr 2017 in der Linie Gelber Amarant war ab 120 kg N/ha kein signifikanter Trockenmassezuwachs festzustellen. Im Jahr 2018 ließen sich keine Ertragsunterschiede bei steigender Stickstoffdüngung feststellen, weder in der Linie Gelber Amarant noch im Kornotyp, was vermutlich dem Stickstoffüberangebot zuzuschreiben ist. Der Rohproteingehalt war in beiden Jahren im Gelben Amarant, im Kornotyp nur im Jahr 2017, gestiegen – sowohl für die Ganzpflanze als auch in Korn und Stroh.

Über die Auswirkung unterschiedlicher Rohproteingehalte auf den Gasertrag gibt es widersprüchliche Ergebnisse. In Versuchen mit Mais und anderen Energiepflanzen wurde kein Zusammenhang festgestellt [90] [26], in anderen Studien mit Energiepflanzensilagen und mit verschiedenen Gräsern wurde ein positiver Einfluss auf den Methanertrag gefunden [25] [52]. Es stellt sich die Frage, ob Versuche mit nicht silierten Pflanzen auf die Praxis übertragen werden können. Der Reinproteinanteil am Rohprotein nimmt in der Silierung durch Proteolyse stetig ab und der Anteil freier Aminosäuren steigt an. Das Gasbildungspotenzial ändert sich, je nachdem ob es sich um freie oder gebundene Aminosäuren handelt. Auch zwischen den einzelnen Aminosäuren gibt es erhebliche Unterschiede im Gasbildungspotenzial [111].

Die Ergebnisse für Stärke und Rohfett waren im Gelben Amarant und im Stroh des Kornotyps jeweils nur in einem Jahr signifikant unterschiedlich zwischen den Varianten, dabei zeigte sich keine eindeutige Reaktion auf ein vermehrtes Stickstoffangebot.

Eine stärkere Verholzung und damit Lignineinlagerung ist für die Verwertbarkeit als Substrat für die Biogasanlage negativ zu betrachten. Dies kann durch eine spätere Abreife verhindert werden. Die Abreife wird in vielen landwirtschaftlich genutzten Kulturen durch eine höhere Stickstoffdüngung verzögert [6]. Im Stroh des Kornotyps waren im Jahr 2017 mit zunehmender Stickstoffdüngung weniger ADL und damit Lignin nachweisbar. Unterschiede in der Abreife wurden in der Bestimmung des BBCH-Stadiums nicht festgestellt. ADL korreliert negativ mit dem Gasertrag [25] [26] [52].

Steigende Nitratgehalte wurden in beiden Jahren in beiden Linien gemessen – sowohl in der Ganzpflanze als auch im Stroh. Die Anreicherung von Nitrat erfolgt dann, wenn die Nitrataufnahme größer als das Assimilationsvermögen der Pflanze ist. Licht-, Wasser- und Nährstoffmangel sowie niedrige Temperaturen wirken sich in ansteigenden Nitratgehalten aus [84].

Die steigenden Nitratgehalte sind zu beachten, wenn Amarant als Futtermittel angebaut wird. Hier werden 0,5 bis 4 % in der Trockenmasse als toxisch angesehen [60]. Im Jahr 2017 überschritten die Nitratwerte in der 270-kg-N/ha-Variante diesen Wert mit 0,52 % TM; in 2018 schon in der 170-kg-N/ha-Variante mit 0,68 % TM mit Anstieg bis zur höchsten Düngestufe auf 1,06 % TM.

Im Gärprozess der Silage ist ein höherer Nitratgehalt sogar vorteilhaft, da dieser aufgrund seiner Reduktion zu Nitrit hemmend auf Clostridien wirkt [58] [84]. Allerdings wurden im Sommer 2018 Warnungen über die Bildung nitroser Gase in Maissilagen herausgegeben, da einige aufgrund des extrem trockenen und heißen Jahrs hohe Nitratgehalte hatten. Diese sind extrem gesundheitsschädlich [73]. Nitrose-Gase enthalten verschiedene Stickoxide und werden aus dem im Siliergut enthaltenen Nitrat gebildet. Nitrat wird während der Silierung zunächst zu Nitrit reduziert, aus dem dann die nitrosen Gase entstehen. Dieser Vorgang ist ähnlich wie der Gärprozess ein unvermeidbarer Bestandteil im Verfahren der Silagebereitung. Die Silagequalität wird davon nicht beeinflusst [1]. Genaue Angaben, bis zu welchem Wert Nitrat förderlich ist und wann der kritische Grenzwert erreicht ist, sind in der Literatur nicht aufgeführt.

Im Gärprozess der Biogasanlage ist ein ausgewogenes Kohlenstoff-Stickstoff-Verhältnis (C/N-Verhältnis) des eingesetzten Substrats wichtig. Ist dieses Verhältnis zu hoch (viel C und wenig N), kann der vorhandene Kohlenstoff nicht vollständig umgesetzt und mögliches Methanpotenzial nicht genutzt werden. Im umgekehrten Fall kann es durch Stickstoffüberschuss zur Bildung von Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) kommen, das schon in geringen Konzentrationen die Bakterien in ihrem Wachstum hemmt und sogar zum völligen Zusammenbruch der gesamten Bakterienpopulation führen kann [12]. Da Amarant maximal in Anteilen von 30 % am Gesamtsubstrat [110] eingesetzt wird, ist dies nicht zu erwarten (Gespräch mit Michael Lebuhn).

Die N-Stufen in diesem Projekt waren sehr viel höher angesetzt als die in der Literatur beschriebene N-Düngung. Es ist möglich, dass der Grenzwert, bis zu dem der Ertrag des Amarants mit zunehmender N-Gabe ansteigt, sehr niedrig ist und deshalb kein Ertragszuwachs festgestellt werden konnte. Der Gelbe Amarant wies 2017 einen signifikanten Mehrertrag von der untersten Stufe zu 120 kg N/ha auf, vergleichbar mit Aufhammer (2000) [6]. Allerdings konnte 2018 zwischen der 70-kg-N-Variante und der 120-kg-N-Variante keine signifikante Ertragssteigerung festgestellt werden – weder für Korn noch die Gesamtpflanze.

Insgesamt ist der Amarant als Low-Input-Pflanze zu betrachten, die schon mit einem geringen Stickstoffbedarfswert ihr volles Potenzial ausschöpfen kann. Die Düngeempfehlungen in der Praxis reichen von 30 bis 40 kg N/ha [71], über 80 bis 100 kg N/ha [43] bis

zu 130 kg N/ha [8]. In den Versuchen am TFZ war die höchste Dünge­stufe, die einen signifikanten Mehrertrag lieferte, 120 kg N/ha. Bis zu dieser Dünge­stufe konnte 2017 sogar mehr Stickstoff abgefahren werden als durch Düngung und  $N_{\min}$  zur Saat zur Verfügung gestellt worden war, was sich positiv auf die Stickstoffbilanz auswirkte. Um eine generelle Aussage treffen zu können, welcher Stickstoffsollwert als optimal zu betrachten ist, sind weitere Experimente mit höheren Stickstoffgaben als in der hier zitierten Literatur empfehlenswert.

Wenn Amarant nur als menschliches Nahrungsmittel angebaut wird, kann eine höhere Stickstoffdüngung sinnvoll sein, da zumindest 2017 dadurch der Rohproteingehalt im Korn deutlich angestiegen ist. Eine der Besonderheiten von Amarant ist der hohe Proteingehalt mit einem für die Ernährung besonders vorteilhaften Aminosäurespektrum [87].

Für Amarant als GPS wurden Methanausbeuten von 266 bis 300  $I_N$ /kg oTM in Batchtests gemessen [20] [49] [52]. Das Ergebnis aus dem hier durchgeführten Batchtest mit 262  $I_N$ /kg oTM lag etwas darunter. Der Batchtest zeigte eine ähnliche Methanausbeute für den GPS-Typ und das Stroh des Korntyps (232  $I_N$ /kg oTM). Zudem hat Amarant ein Korn-Stroh-Verhältnis von 1:3,4, während das Verhältnis bei intensiv angebauten Weizenbeständen bei nahezu 1:1 liegt [6], womit bei der Amarant-Kornernte ein großer Anteil Biomasse auf dem Feld verbleibt. Daher wäre eine Kaskadennutzung, bei der die Körner für die menschliche Ernährung genutzt werden und das Stroh in der Biogasanlage fermentiert wird, eine Möglichkeit, die Konkurrenz in der Landnutzung zwischen Energiepflanzen und Nahrungsmittelproduktion zu vermeiden.

Auch im Hinblick auf die Spurenelementgehalte ist eine Kaskadennutzung sinnvoll. Es zeigte sich, dass die Samen gegenüber dem Stroh deutlich geringere Konzentrationen an Cobalt und Nickel aufwiesen. Das gleiche Verteilungsmuster zeigte sich auch bei Molybdän und Mangan. Aufgrund dieser Erkenntnis würde sich eine Zweifach-Nutzung des Amarants anbieten: Das Korn könnte als Nahrungsmittel genutzt werden und das Stroh würde bei einer Nutzung als Biogassubstrat noch höhere Cobaltkonzentrationen liefern als die Gesamtpflanze.

### **5.4.3 Mischanbau von Amarant und Mais**

Um die Mischanbaufähigkeit von Mais und Amarant zu untersuchen, wurde in 2018 dazu ein Versuch angelegt. Hierbei waren die Auswirkungen auf die Lageranfälligkeit, auf die wertgebenden Inhaltsstoffe wie auch auf den Spurenelementgehalt von Interesse. Wie in Abbildung 60 zu sehen, dominierte in der Variante, in der der Mais 13 Tage später gesät worden war, der Amarant, während in der Variante, in der Mais und Amarant gleichzeitig gesät worden waren, der Mais dominierte. Einer der Gründe für den Mischanbau war die Erfahrung mit den Zuchtgärten, in denen der Mais die Standfestigkeit des Amarants verbesserte. Im Jahr 2018 war Lager kein Problem im Amarant, weshalb dieser Effekt nicht zu sehen war. Bei der Ernte fiel auf, dass die Parzellen mit Mischanbau einfacher zu häckseln waren als der einzeln angebaute Amarant.



Abbildung 60: Mischanbauversuch von links oben nach unten rechts: Amaranth, Amaranth und Mais (spät), Amaranth und Mais, Mais, 2018



Abbildung 61: Drohnenaufnahme des Mischanbauversuchs, 06.09.2018

#### 5.4.3.1 Ertragsleistung

Mais liegt ertragsmäßig und vom TS-Gehalt deutlich über der Leistung des Amaranths. Die Trockenmasseerträge des Mischanbaus spiegeln den optischen Eindruck des Bestands wider. Variante A&M-früh und Mais lagen in Bezug auf den TM-Ertrag mit 144,3 und 151,0 dt TM/ha mit der Maisvariante auf einer Höhe. Die Varianten Amaranth und

A&M-spät lagen ertragsmäßig in einer signifikanten Gruppe mit 106,3 und 100,5 dt TM/ha. Deren TS-Gehalt lag bei 21–22 %, in der Variante A&M-früh wurde der TS-Gehalt durch den Einfluss des Mais angehoben auf 29 % und lag damit oberhalb des angestrebten Mindest-Trockensubstanz-Gehalts von 28 %. Dadurch wird eine bessere Silierbarkeit erreicht, die sonst bei Amarantsilage ein Problem darstellt [49]. Der Mais lag mit 35 % TS signifikant über den anderen Varianten (Abbildung 62). Bei Maissilage liegt der optimale Trockenmassegehalt im Bereich von 28 bis 35 % [34].

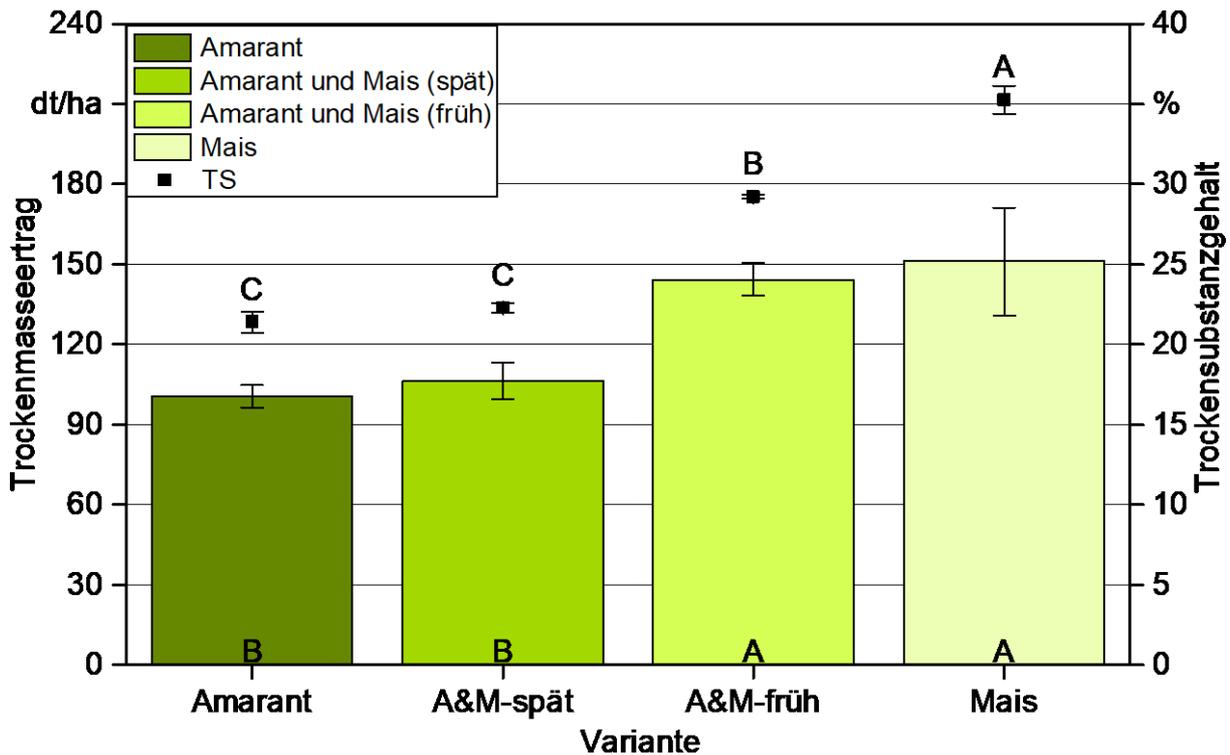


Abbildung 62: Trockenmasseertrag und Trockensubstanzgehalt im Mischbauversuch, unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikant unterschiedliche Gruppen, Fehlerbalken stellen Standardabweichung dar, 2018

#### 5.4.3.2 Wertgebende Inhaltsstoffe und ihr Einfluss auf Silagequalität und Biogaspotenzial

Für eine konstante Versorgung mit Substrat über das gesamte Jahr wird Biomasse siliert. Dabei werden unter anaeroben Bedingungen wasserlösliche Kohlenhydrate in Milchsäure umgewandelt, der pH-Wert sinkt auf etwa 4,0 und schädliche Bakterien können sich nicht vermehren [11]. Ein Mischbau bedeutet auch, dass Mais und Amarant zusammen einsiliert werden, wozu es bisher keine Untersuchungen gibt, sodass dies hier theoretisch besprochen werden soll.

Im Mischbauversuch fanden sich für fast alle untersuchten Inhaltsstoffe (Tabelle 24) signifikante Unterschiede, nur die Werte für NDF bilden eine Ausnahme. Viele der wertgebenden Inhaltsstoffe (XP, XF, Stärke, ADF, ADL, NFC, Cellulose) zeigten Amarant mit A&M-spät zusammen in einer signifikanten Gruppe und Mais mit A&M-früh in der ande-

ren, was verdeutlicht, wie sehr eine der beiden Kulturen im Mischanbau jeweils dominiert hat.

Der Rohaschegehalt stieg signifikant mit zunehmendem Amarantanteil, was durch den höheren Rohaschegehalt von Amarant bedingt ist, der folglich auch zu höheren Spurenelementgehalten führt. Die Rohproteingehalte waren im Amarant und A&M-spät (11,14 und 10,42 % TM) signifikant höher als für die Variante A&M-früh und den Mais (7,99 und 7,49 % TM).

Teile der Rohasche und des Rohproteins tragen zur Pufferkapazität (PK) bei. Der Begriff der Pufferkapazität beschreibt alle basisch wirkenden, puffernden Substanzen. Sie sind von großem Einfluss auf die Vergärbarkeit, da sie der pH-Wert-Absenkung der Milchsäuregärung entgegenwirken. Vom Zuckergehalt hängt es ab, ob die Milchsäurebakterien genug Nahrung vorfinden und somit reichlich Milchsäure bilden können. Allgemein gilt: Je niedriger der Zuckergehalt (Z) und damit der Z/PK-Quotient liegen, umso höher muss der TS-Gehalt sein, um eine buttersäurefreie Silage erzeugen zu können [2]. Da beim Amarant sowohl Rohasche- als auch Rohproteingehalt signifikant höher sind als beim Mais [3] [4] [49] [52] [20], ist auch eine höhere Pufferkapazität zu erwarten. Zuckergehalte liegen in dieser Studie nicht vor, Haag *et al.* (2015) haben 13,0 % TM Zucker für Amarant und 9,4 % TM für Mais ermittelt [49].

Die Nitratgehalte im Mais waren unter der Nachweisgrenze und auch die Mischvarianten enthielten weniger Nitrat als der Amarant im Einzelanbau. Im Einzelnen reichten sie von 0,09 % TM in Variante A&M-früh über 0,13 % TM in A&M-spät bis zu 0,38 % TM im Amarant, damit können sie als nitratarm betrachtet werden [110]. Während der Silierung wird Nitrat zu Nitrit und Stickstoffmonoxid umgewandelt, diese wirken hemmend auf die Buttersäure bildenden Clostridien, insbesondere zu Beginn der Gärung, bis der kritische pH-Wert unterschritten wird [84]. Dadurch lässt sich auch ein ungünstiges Verhältnis von TS und Z/PK ausgleichen [34].

In Versuchen von Haag *et al.* (2015) [49] wurden ebenfalls große Unterschiede im TS-Gehalt zwischen Mais (33,3 %) und Amarant (15,6 %) festgestellt. Der Aschegehalt war 4,6-mal höher als im Mais und auch Rohprotein- und Zuckergehalte waren im Amarant höher. Nach 90 Tagen Silierung wurden die höheren Zuckergehalte des Amarants in höhere Milchsäuregehalte umgesetzt und auch der Essigsäuregehalt war höher (Tabelle 23). Der pH-Wert lag auf gleicher Höhe (pH 3,8 und 3,9) trotz des höheren Säuregehalts der Amarantsilage und auch die Trockenmasseverluste waren vergleichbar. In Maissilage konnten Haag *et al.* mit höheren Pufferkonzentrationen steigende Milchsäuregehalte und niedrigere Ethanolgehalte feststellen. Damit ließen sich der hohe Milchsäuregehalt und der niedrige Ethanolgehalt der Amarantsilage erklären. Bei Versuchen von Herrmann *et al.* (2016) [52] lagen die TS-Gehalte für Maissilage bei 30,2 % und von Amarantsilage bei 21,1 %. Auch hier zeigten sich hohe Milchsäuregehalte und niedrige Ethanolgehalte in der Silage (Tabelle 23).

Tabelle 23: Inhaltsstoffe Maissilage und Amarantsilage nach Haag et al. (2015) [49] und Herrmann et al. (2016) [52]

Untersuchungen von		Haag et al.		Herrmann et al.	
Inhaltsstoff	Einheit	Maissilage	Amarantsilage	Maissilage	Amarantsilage
Milchsäure	g/kg TM	69,4	124,0	51	74
Essigsäure	g/kg TM	14,6	20,7	16	11
Buttersäure	g/kg TM	< 0,1	< 0,1	0,0	0,0
Ethanol	g/kg TM	24,5	4,9	13	7
pH		3,9	3,8	3,7	4,2
TM-Verluste	g/kg TM	5,2	4,9		

Somit bringt auch der Amarant günstige Inhaltsstoffe für den Silierverlauf ein, während der Mais durch den höheren TS-Gehalt die Silierung absichert und Sickerwasserverluste verhindert. Unter dem Aspekt der Silierung ist ein Mischanbau von Amarant mit Mais zu empfehlen.

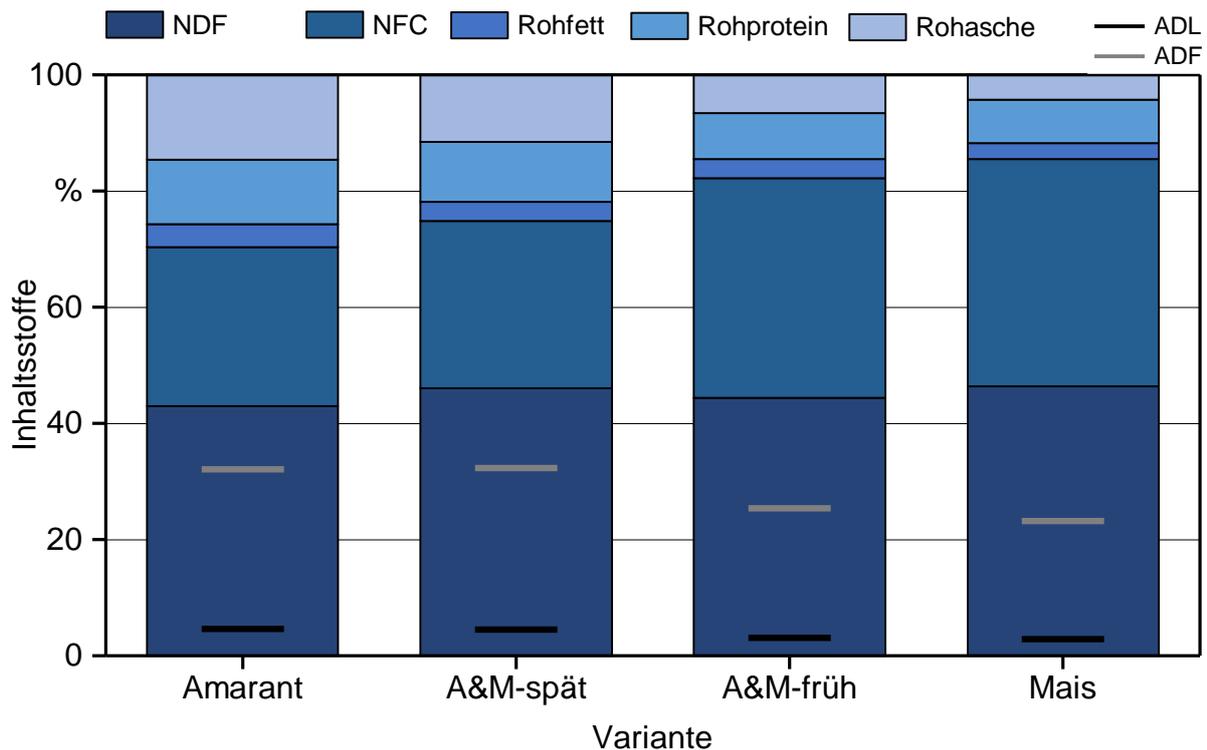


Abbildung 63: Inhaltsstoffe nach van Soest des Mischanbaus für vier verschiedene Varianten; NDF: Neutral-Detergenz-Faser, NFC: Nicht-Faser-Kohlenhydrate, ADF: Säure-Detergenz-Faser, ADL: Säure-Detergenz-Lignin

Im Mischanbauversuch enthielt Amarant 1,8 Prozentpunkte mehr ADL als Mais. Die beiden Mischanbauvarianten zeigten wieder eine Dominanz des Amarants in A&M-spät und

eine Dominanz des Maises in A&M-früh. Amarant und A&M-spät waren zusammen in Gruppe A und unterschieden sich signifikant von Mais und A&M-früh (Gruppe B) (Abbildung 63, Tabelle 24). ADL wird im Biogasprozess nicht zersetzt [49], höhere ADL-Gehalte führen demnach zu geringeren Gasausbeuten pro kg oTM [25] [26] [52].

In vielen Experimenten hat die Hemicellulose einen signifikanten Einfluss auf die Biogasausbeute pro kg oTM gehabt und wird in Vorhersagemodellen als Einflussgröße berücksichtigt [89] [59] [25] [26]. Mit einem Hemicellulosegehalt von 23,18 % TM enthielt der Mais im Mischbauversuch mehr als doppelt so viel Hemicellulose wie der Amarant mit 10,88 % TM. Die Variante A&M-spät hatte mit 13,7 % TM nur geringfügig mehr Hemicellulose als Amarant, während A&M-früh mit 19,06 % TM zwar noch einen signifikant niedrigeren Gehalt als der Mais hatte, aber doch auch signifikant mehr als Amarant und A&M-spät.

Da die hier genutzte Berechnung der Gasausbeute von Dandikas *et al.* (2014) [26] auf diesen beiden Inhaltsstoffen beruht, waren die Ergebnisse für den Mais entsprechend besser und auch der stärkere Einfluss des Maises in der A&M-früh-Variante wurde deutlich. So stiegen die errechneten Gasausbeuten von 584,34 l<sub>N</sub>/kg oTM in Amarant und 593,25 l<sub>N</sub>/kg oTM in A&M-spät, beide in Gruppe B, auf 657,44 l<sub>N</sub>/kg oTM in A&M-früh und 677,85 l<sub>N</sub>/kg oTM in Mais (beide in Gruppe A). Auch die Methanausbeuten stiegen für die Varianten in der gleichen Reihenfolge an (298,68 l<sub>N</sub>/kg oTM, 303,29 l<sub>N</sub>/kg oTM, 336,10 l<sub>N</sub>/kg oTM und 346,59 l<sub>N</sub>/kg oTM) und auch die statistischen Gruppen stimmten überein. Umgerechnet auf den Gasertrag pro ha blieben diese Gruppen bestehen, aber die Unterschiede zwischen Gruppe A und Gruppe B wurden größer. Die Biogas- und Methanausbeute in l<sub>N</sub>/kg oTM war für Amarant um 13,8 % kleiner als für Mais, der Biogas- und Methanertrag in m<sup>3</sup> N/ha war um 42,8 % geringer. Das ist zum einen durch die höheren Trockenmasseerträge des Maises bedingt, diese lagen 50,48 dt/ha über dem des Amarants. Auch der höhere Rohaschegehalt in Amarant machte sich bemerkbar, weil dadurch der Anteil organischer Trockenmasse verringert wird. Zur Rohasche gehören auch die erwünschten Spurenelemente, weshalb ein höherer Rohaschegehalt auch positiv wirken kann. Daher ist die A&M-früh-Variante mit einem nur 7,3 % geringeren Methanertrag pro Hektar eine empfehlenswerte Mischbau-Variante. Sie lieferte zufriedenstellende Gaserträge und war auch gut silierfähig durch einen TS-Gehalt von 29,2 %. Allerdings wird Amarant in Bayern erst ab Mitte Mai gesät, was für Mais ein sehr später Saattermin ist. Auch der Stickstoffbedarfswert von Mais ist mit 200 kg N/ha [8] höher als derjenige von Amarant. Hier besteht also noch Bedarf, den Mischbau produktionstechnisch zu optimieren.

**Tabelle 24:** Mittelwerte und Mittelwertvergleich der Inhaltsstoffe im Mischanbauversuch, unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikant unterschiedliche Gruppen

	Amarant		A&M-spät		A&M-früh		Mais	
Inhaltsstoff	in % TM							
XA	14,58	A	11,49	B	6,55	C	4,24	D
XP	11,14	A	10,42	A	7,99	B	7,49	B
XF	26,56	A	25,91	A	20,67	B	20,19	B
Stärke	20,59	B	18,33	B	32,33	A	32,23	A
XL	3,99	A	3,20	BC	3,21	B	2,79	C
NfE	43,73	D	48,98	C	61,58	B	65,30	A
ADF	32,07	A	32,30	A	25,37	B	23,23	B
NDF	42,96	A	46,00	A	44,44	A	46,41	A
ADL	4,58	A	4,51	A	3,10	B	2,81	B
NFC	27,33	B	28,85	B	37,80	A	39,08	A
Hemicellulose	10,89	C	13,70	C	19,06	B	23,18	A
Cellulose	27,49	A	27,78	A	22,27	B	20,42	B
NO <sub>3</sub>	0,38	A	0,13	A	0,09	B		

**Tabelle 25:** Errechnete Biogas- und Methanausbeuten sowie -erträge im Mischanbauversuch, unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikant unterschiedliche Gruppen, 2018

	Amarant		A&M-spät		A&M-früh		Mais	
Gasausbeute in l <sub>N</sub> /kg oTM								
Biogas	584	B	593	B	657	A	678	A
Methan	299	B	303	B	336	A	347	A
Gasertrag in m <sup>3</sup> <sub>N</sub> /ha								
Biogas	5481	B	5895	B	8881	A	9584	A
Methan	2802	B	3014	B	4540	A	4900	A

### 5.4.3.3 Spurenelementgehalte

*Autor des Unterkapitels: Dr. Benedikt Sauer, IZNE*

Der Mischanbau von Mais und Amarant führten wie erwartet zu einer Spurenelementkonzentration zwischen den niedrigen Gehalten von Mais und den höheren Gehalten

vom Partner Amaranth. Allerdings stellte Mais in dieser Mischung den Hauptbiomasselieferanten dar und somit konnte der Spurenelementgehalt durch den relativ geringen Ertragsanteil des Amaranths nur etwas angehoben werden. Für Cobalt in der A&M-früh-Mischung ergaben sich Konzentrationen von 0,02 mg/kg TS.

*Tabelle 26: Mittelwerte und Mittelwertvergleich der Spurenelemente im Mischanbauversuch, unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikant unterschiedliche Gruppen*

Element	Amarant		A&M-früh		Mais	
	in mg/kg TS					
Cobalt	0,07	A	0,02	B	< 0,01	B
Nickel	0,48	A	0,32	A	0,42	A
Cadmium	0,12	A	0,05	B	0,02	B

#### 5.4.4 Durchwuchsverhalten von Amaranth

Der Versuch zum Durchwuchsverhalten von Amaranth in der Folgefrucht zeigte klare Ergebnisse. Im Herbst 2017 liefen bereits vor der Bodenbearbeitung Amaranthpflanzen auf. Nach der Bodenbearbeitung gab es in der gegrubberten Variante einen erneuten Aufwuchs von Amaranth, in der gepflügten Variante nicht mehr. Diese aufgelaufenen Amaranthpflanzen sind im Winter abgefroren.

Im Winterweizen waren im Frühjahr kaum Amaranthpflanzen aufgegangen, diese wurden mit dem Herbizid erfasst. Bei den Sommerungen Mais und Zuckerrüben waren nach der Aussaat im Frühjahr Amaranthsamensamen von beiden Amaranthlinien aufgelaufen, in der gepflügten Variante weniger als in der gegrubberten. Der Mais war nach der Herbizidapplikation weitestgehend sauber. In den Zuckerrüben erfolgten drei Nachauflaufbehandlungen. Der hellkörnige Amaranth wurde besser erfasst als der dunkelkörnige. Auch in den Varianten mit wendender Bodenbearbeitung wurde der Durchwuchsamaranth erfolgreich kontrolliert. Nur in der Kombination von dunkelkörnigem Amaranth mit pflugloser Bodenbearbeitung gab es auch nach den Herbizidbehandlungen einen beachtlichen Unkrautdruck durch Amaranth. Als Nachfrucht ist eine Sommerung nur mit monokotylen Kulturen zu empfehlen, da die Unkrautbekämpfung aufgrund der geringeren Ähnlichkeit einfacher durchzuführen ist. In Winterungen als Nachfrucht stirbt im Herbst auflaufender Amaranth bei Frost ab. Wie auf den rotationsweise genutzten Versuchsflächen des TFZ ersichtlich, wird der untergepflügte Amaranthsamensamen dunkelsamiger Linien entsprechend erst mit ein oder zwei Vegetationsperioden Verzögerung zum Durchwuchsproblem.

Kudsk *et al.* (2012) [66] fanden eine sehr viel geringere Überlebensrate der Samen kultivierten Amaranths im Boden als der Samen von Unkrautamarantharten. Bei 16,4 bis 1,5 g/m<sup>2</sup> Kornverlust bei der Mähdruschernte [47] und einem Tausendkorngewicht von 0,8 g [43] kann jedoch auch eine geringe Keimfähigkeit der Amaranthsamensamen im nächsten Jahr zu hohem Unkrautdruck führen.



Abbildung 64: *Amarantdurchwuchs in Zuckerrüben bei nicht wendender Bodenbearbeitung und dunklen Samenschalen, 2018*

#### 5.4.5 Keimfähigkeit von Amarantsamen nach unterschiedlichen Expositionszeiten im Fermenter

Durch die Ausbringung der Fermentationsendprodukte (Biogasgülle) werden Samen flächendeckend auf landwirtschaftlich genutzten Flächen verteilt. Bleiben sie im Zuge des Biogasprozesses keimfähig, erhöht sich der Unkrautdruck auf den mit Biogasgülle gedüngten Flächen [44]. Um sicherzustellen, dass die Nutzung von Amarant als Biogassubstrat nicht zu einer vermehrten Verunkrautung führt, wurden im Rahmen des Projekts Keimfähigkeiten von zwei Amarantlinien nach Aufenthalt im mesophilen Biogasfermenter untersucht.

Im weißkörnigen Amarant nahm die Keimfähigkeit bei längerer Verweildauer im Biogasfermenter nahezu exponentiell ab, lag an Tag fünf nur noch bei 3,5 % und verringerte sich nur noch geringfügig auf 1,1 % Keimfähigkeit an Tag zehn. Der schwarzkörnige Amarant AMA 234 hatte an Tag eins einen Tiefpunkt mit nur 19,9 % Keimfähigkeit. Diese stieg an Tag drei auf 37,3 % über der Keimfähigkeit der weißkörnigen Sorte an. Ab Tag drei nahm auch bei AMA 234 die Keimfähigkeit stetig ab und an Tag zehn hatten auch die schwarzen Samen nur noch eine Keimfähigkeit von 2,4 % (Abbildung 66). Bei einer durchschnittlichen Verweildauer des Substrats in einstufigen Biogasanlagen von 22 bis 88 Tagen und in mehrstufigen Biogasanlagen von 37 bis 210 Tagen [39] kann daher davon ausgegangen werden, dass nur ein sehr geringes Unkrautpotenzial durch die Nutzung von Amarant als Biogassubstrat besteht. Auch wenn die Keimfähigkeit der dunklen Samen bis Tag fünf deutlich über der der hellen Sorte lag, waren auch diese am Ende

des Versuchs kaum noch keimfähig. Zu bedenken ist allerdings die Möglichkeit, dass auch frisch hinzugegebenes Substrat durch Kurzschlussströme in den Nachgärer gelangen kann [40].

Zusätzlich wurde die Keimfähigkeit von Amarantsamen im Gärrest nach Beendigung des Batchtests aus den Durchflussfermentern der LfL untersucht. In zwei Litern Gärrest verteilt auf vier Blumentöpfe wurden nach sieben Tagen zwei gekeimte Amarantsamen gezählt (Abbildung 65). In der ebenfalls in vier Töpfen ausgebrachten Amarantsilage wurden auch nach zwölf Tagen keine gekeimten Amarantsamen gefunden.



Abbildung 65: Gekeimte Amarantsamen im Gärrest

Zu ähnlichen Ergebnissen kamen Leonhardt *et al.* (2010) [74]: Unter mesophilen Bedingungen im Labor zeigten sich nach sieben Tagen keine keimfähigen *Amaranthus*-sp.-Samen mehr, unter thermophilen Bedingungen konnten bereits nach eintägigem Einbringen in das Fermentationssubstrat keine keimfähigen Samen mehr ermittelt werden.

Ähnliche Ergebnisse ergaben eigene Versuche in drei Durchflussfermentern des Partnerprojekts, die bei etwa 45 °C betrieben wurden. Nach einer dreitägigen Verweilzeit im Fermenter wurde bei zwei Anlagen keine Keimfähigkeit der Samen mehr festgestellt (Abbildung 66). Nach einer einwöchigen Verweilzeit konnten auch im dritten Fermenter keine keimfähigen Samen mehr gefunden werden.

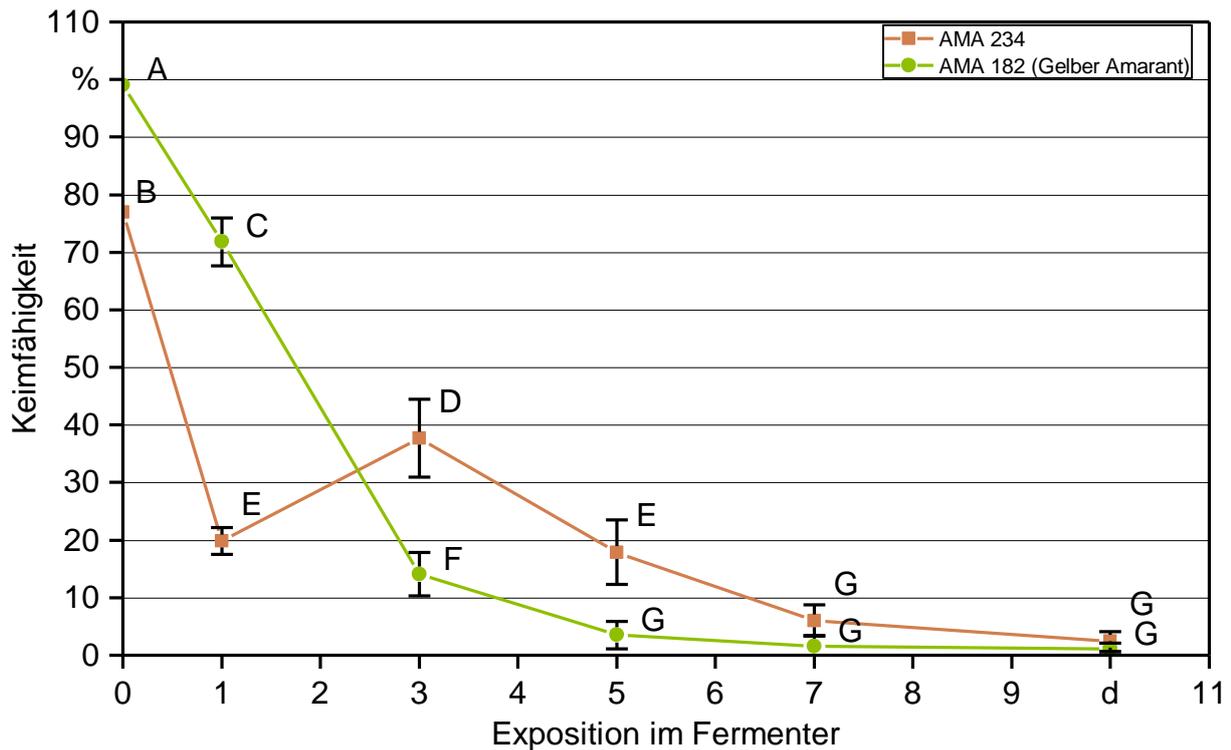


Abbildung 66: Keimfähigkeit der Samen zweier Amaranthlinien nach 1, 3, 5, 7 und 10 Tagen Verweildauer im Biogasfermenter, AMA 234 ist schwarzkörnig, AMA 182 (Gelber Amaranth) hellkörnig, unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikant unterschiedliche Gruppen, Fehlerbalken stellen Standardabweichungen dar

In Versuchen von Westerman *et al.* (2012) [113] wurden in zwei Experimenten nach dem Silieren noch Keimfähigkeiten von 0,2 % und 0,34 % in *Amaranthus retroflexus* festgestellt. Nach anaerobem Verdau in einem Biogasfermenter für 30 Tage sowie nach der Kombination von Silierung und anschließender Fermentierung im Biogasfermenter gab es keine keimfähigen Samen mehr.

Dies widerspricht den Ergebnissen dieser Studie, in der nach Silierung und anschließender Fermentierung noch keimfähige Amaranthsamens gefunden wurden. Die Experimente mit Amaranthsilage und Gärrest wurden mit der hellchaligen Kulturlinie Gelber Amaranth durchgeführt. Dieser zeigte im Experiment mit verschiedenen Verweildauern im Fermenter eine schnellere Abnahme der Keimfähigkeit als der dunkelkörnige Amaranth. Ein Unkrautpotenzial durch Amaranth als Biogassubstrat kann daher nicht komplett ausgeschlossen werden.

## 6 Einordnung in die Praxis

Amarant hat ein hohes Ertragspotenzial und in diesem Projekt Erträge bis zu 170 dt TM/ha gebracht. Allerdings sind die erreichten TS-Gehalte auch in den besten Jahren zu niedrig für eine problemlose Silierbarkeit und gerade die Linien mit hohen TM-Erträgen hatten niedrige TS-Gehalte. Auch die Lagergefahr ist größer als bei Mais. Diese Punkte können sicherlich durch züchterische Arbeit verbessert werden. Bevor dies geschehen ist, ist Amarant für den Ackerbau nicht konkurrenzfähig mit bereits etablierten Kulturen.

Amarant ist eine Kurztagpflanze und reift daher unter bayerischen Bedingungen selbst in Hauptfruchtstellung mit Saat im Mai meist nicht ausreichend ab. Eine lange Vegetationsdauer ist nötig, eine späte Aussaat im Juni sorgt für Ertragseinbußen und geringe TS-Gehalte.

Amarant hat eine sehr geringe Samengröße mit einem Tausendkorngewicht von nur etwa 0,8 g. Durch die Streckung des Saatguts mit handelsüblichen Semmelbröseln kann er mit gängiger Technik ausgesät werden. Da Amarant sehr flexibel auf unterschiedliche Standdichten reagiert, sind auch geringe Saaddichten von 30 kf Kö./m<sup>2</sup> ohne Ertragseinbußen möglich.

In der Fruchtfolge stellt Amarant ohne Frage ein Unkrautpotenzial für die Folgefrucht dar. Durch die Bodenbearbeitung für den Anbau einer Winterung sterben die meisten der auflaufenden Amarantsamen im Winter ab. Auch eine wendende Bodenbearbeitung reduziert den Amarantauftrieb. Weiße Kulturamarantsamen überleben deutlich schlechter im Boden als „Unkrautamarantsamen“ [66]. Auch die Düngung mit Gärresten birgt ein geringes Unkrautrisiko bei Nutzung von Amarantsubstrat. Zwar sind die meisten Amarantsamen nach einer Fermenterverweildauer von über zehn Tagen nicht mehr keimfähig, Kurzschlussströme können aber keimfähige Samen in den Nachfermenter einbringen. Es muss daher bei der Fruchtfolgegestaltung darauf geachtet werden, dass Amarant gut in der Folgefrucht und auf den mit Gärrest gedüngten Flächen bekämpfbar ist.

Bereits mit einem Stickstoffangebot von 120 kg N/ha konnte Amarant hohe TM-Erträge liefern. Bis zu dieser Grenze wird mit dem Erntegut mehr Stickstoff abgefahren, als gedüngt wurde. Höhere N-Gaben wurden zwar größtenteils aufgenommen, lieferten aber keinen Mehrertrag. Eine Kaskadennutzung von Amarant erscheint möglich, vor allem da die ausgedroschene Restpflanze ein attraktives Biogassubstrat ist. Allerdings behindern die sehr geringen TS-Gehalte den Korndrusch sowie die Bergung des Stroh.

Ein Mischanbau von Amarant und Mais verbesserte den TS-Gehalt des Substrats für die Silierung und könnte möglicherweise verhindern, dass der Amarant ins Lager geht.

Eine Bewertung der im Projekt untersuchten Aspekte für den praktischen Anbau findet sich in Tabelle 27.

Tabelle 27: Vor- und Nachteile von Amaranth

Eigenschaft	Bewertung
Flexible Saatkichte	+
Unkrautpotenzial im Gärrest	-
Unkrautpotenzial in der Nachfrucht	-
Verfügbare Saattechnik nutzbar	+
Geringe Krankheitsanfälligkeit	+
Ausreichender Trockensubstanzgehalt für Silierbarkeit	--
Rechtzeitige Abreife	-
Hoher Trockenmasseertrag	+
Bereicherung des Landschaftsbilds	++
Geringer Stickstoffbedarf	+
Pollen und Nektarquelle	-
Auflockerung der Fruchtfolge	+
Mischanbaufähig	+
Cobalt- und Nickel-Gehalte	++
Standorteinfluss auf Spurenelementgehalte	+
Spurenelementgehalt	+
Schadelementgehalt	-

+ positiv    ++ sehr positiv    - negativ    -- sehr negativ

## Zusammenfassung

Amarant soll auf seine Eignung als spurenelementreiches Substrat für Biogasanlagen untersucht werden, um die Spurenelementversorgung der Mikroorganismen im Fermenter zu optimieren. Im Rahmen des Projekts wurden von 2015 bis 2018 in Bayern Feldversuche durchgeführt, um praxistaugliche Amarantlinien zu selektieren und produktionstechnische Fragen zu beantworten.

Ein Akzessionspanel von Amarantlinien wurde angebaut und auf die Merkmale TS-Gehalt, TM-Ertrag, Frühreife, Standfestigkeit, Spurenelementgehalt sowie Rispen- und Samenfarbe selektiert. Von anfangs 308 Linien wurden letztendlich 40 Linien selektiert, die den ausgewählten Kriterien weitgehend entsprachen und dabei noch eine ausreichende Varianz der interessanten Merkmale für die Weiterentwicklung in unterschiedliche Nutzungsrichtungen aufweisen. Erreichte TS-Gehalte lagen im Mittel der Jahre zwischen 19,7 % und 22,9 %, die TM-Erträge zwischen 119,7 dt/ha und 169,5 dt/ha. Dies zeigt zum einen das hohe Ertragspotenzial von Amarant, zum anderen aber auch die nur geringen TS-Gehalte, die unter bayrischen Anbaubedingungen erreicht werden, durch die eine verlustarme Silierung nicht möglich ist. Berechnete Korrelationen ergaben einen negativen Korrelationskoeffizienten für den TS-Gehalt und den TM-Ertrag. Zuchtziel ist es, Linien zu entwickeln, die für beide Merkmale hohe Werte aufweisen. Die Spurenelementgehalte waren im Amarant deutlich höher als im Mais, starke Jahreseffekte verhindern aber eine Selektion auf hohe Spurenelementgehalte. Im Winterhalbjahr im Gewächshaus durchgeführte Kreuzungen mit 46 Elternpaaren ergaben sieben Hybridlinien. Aus der hohen Heterogenität der Hybridlinien konnte geschlossen werden, dass die Ausgangslinien nicht homozygot genug für eine erfolgreiche Hybridkreuzung waren.

Auch praktische Aspekte des Amarantanbaus in Bayern wurden betrachtet. Es wurden Versuche zur Spurenelementaufnahme auf unterschiedlichen Standorten, zur optimalen Saatedichte, zur Stickstoffdüngung, Mischanbaufähigkeit und zum Unkrautpotenzial von Amarant mittels eines Durchwuchsversuchs durchgeführt.

Bei höheren Gehalten von Cobalt und Nickel im Boden wurden auch höhere Gehalte dieser Spurenelemente im Amarant nachgewiesen. Amarant hat eine große phänotypische Anpassungsfähigkeit an unterschiedliche Standdichten, auf unterschiedliche Saatedichten reagierte er mit morphologischen Veränderungen bei gleichbleibendem Ertrag. Eine zunehmende Stickstoffdüngung führte ab 120 kg N/ha nicht mehr zu Mehrertrag, ein Trend für zunehmende Rohprotein- und Nitratgehalte war festzustellen. Ein Batchtest zeigte für das Amarantstroh nur unwesentlich niedrigere Methanausbeuten pro kg oTM als für die Ganzpflanze. Durch eine Kaskadennutzung von Amarant könnte somit die Konkurrenz von Lebensmittelproduktion und Energiepflanzenanbau vermieden werden. Ein Mischanbau von Amarant und Mais führte zu höheren TS-Gehalten als bei Amarant-Reinkultur und höheren Spurenelementgehalten im Substrat als bei reinem Mais und glich somit die Schwächen der beiden Kulturen aus. Das Unkrautpotenzial ist bei hellkörnigen Samen gering und gut bekämpfbar, dunkelschalige Samen zeigten eine höhere Überlebensfähigkeit und bewirken dadurch einen höheren Unkrautdruck.



## Abstract

Amaranth can be used as a substrate in biogas fermenters, aiming to optimise the supply of trace elements for microorganisms. In order to find lines suitable for cultivation in Bavaria as well as to evaluate practical aspects field trials have been conducted in years 2015 to 2018.

A panel of amaranth accessions has been screened for dry matter content, dry matter yield, early maturity, lodging, trace element contents and colour of panicles and seeds. Out of 308 lines 40 have been selected, which showed a sufficient variation of interesting traits for different breeding objectives. Average dry matter contents between 19.7 % and 22.9 % have been reached, average yield ranged between 119.7 dt/ha and 169.5 dt/ha. This highlights the huge yield potential of amaranth, but dry matter contents under Bavarian conditions are too low to ensure a silage process without major losses. A negative correlation coefficient was calculated between dry matter content and dry matter yield. Breeding objective is the development of lines with high values for both parameters. In general, the short day character of amaranth, leading to low dry matter content and late maturity, has to be considered. Amaranth had higher trace element concentrations than maize. However, due to strong year effects, selecting for high trace element content is not advisable. 46 crosses of amaranth lines resulted in seven hybrid lines. The high heterogeneity of these lines indicates insufficient homozygosity for hybrid breeding in the parental lines.

Also practical aspects of growing amaranth in Bavaria have been investigated. Research has been conducted on trace element uptake on different locations, optimal seed density, nitrogen fertilisation, intercropping of amaranth and maize as well as on weed potential of amaranth.

Higher concentrations of cobalt and nickel in the soil result in higher concentrations in amaranth. Amaranth has a huge phenotypic plasticity. Different seed densities caused morphological adaption but no changes in yield. Increasing nitrogen fertilisation did not cause increasing yield above 120 kg N/ha, there was a tendency towards higher raw protein and nitrogen contents. A batch test showed slightly lower methane yield per kg oDM for amaranth straw compared to the methane yield of the whole plant. Therefore, an utilisation cascade of amaranth grain and straw could solve the competition of food production and energy crop cultivation. Intercropping of amaranth and maize resulted in higher dry matter content as in amaranth monoculture, and in higher trace element content as in maize monoculture and thus compensates for the respective weakness of both crops. The weed potential of white seeds is low, amaranth with dark seeds has a higher rate of seed survival and thereby has a higher weed potential.



## Dauererhebung im Durchflussfermenter (Hartel *et al.*, LfL)

Im Projekt „Amarant“ wurde der Einsatz der Kulturpflanze Amarant zur Biogasproduktion am Institut für Landtechnik der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft geprüft. Hintergrund des Projekts war, dass bei maisbetonten Substratmischungen in Biogasanlagen meist mineralische Spurenelemente hinzudosiert werden müssen. Da bestimmte Amarantsorten in Voruntersuchungen sehr hohe Gehalte an Spurenelementen (insbesondere Cobalt und Nickel) aufwiesen, wurde die Hypothese aufgestellt, dass durch die Zugabe von Amarant in maisbetonte Substratmischungen der Einsatz mineralischer Spurenelemente substituiert werden kann. Diese Hypothese konnte nur teilweise bestätigt werden. Zum einen lagen die Spurenelementkonzentrationen in den eingesetzten Amarantlinien unter den Erwartungen, zum anderen scheinen auch bestimmte sekundäre Pflanzeninhaltsstoffe den Vergärungsprozess beeinträchtigt zu haben. Dennoch ist Amarant als alternatives Biogas(-Co-)substrat zur Maissilage interessant, wenn Aspekte der gesamten Wertschöpfungskette losgelöst von einem einzelnen Bewertungsaspekt, wie z. B. vom reinen Methanhektarertrag, betrachtet werden.

Die Konzentration des essenziellen Spurenelements Cobalt lag in der eingesetzten Amarantlinie gegenüber Mais um den Faktor 3–8 höher. In den Durchflussversuchen konnten die Maissilage-Kontrollen (A1, A2, A3) und die Variante (A4) der Substratmischung aus Amarant- (30 %) und Maissilage (70 %) (Tabelle 28) knapp ein Jahr lang bei einer organischen Raumbelastung (OLR) von  $2,5 \text{ kg oTS} \times (\text{m}^3 \times \text{d})^{-1}$  noch stabil betrieben werden. Danach stellten sich in allen Fermentern Prozessstörungen ein.

Tabelle 28: Versuchsaufbau der untersuchten Varianten im Durchflussversuch

Fermenter-ID	Variante	Substratanteil	
		Mais	Amarant
		% FM	
A1	Kontrolle	100	
A2	Kontrolle	100	
A3	Kontrolle mit SpE-Zusatz ab VT 595	100	
A4	Substratmischung	70	30
A5	Kontrolle mit SpE-Zusatz	100	
A6	Substratmischung	70	30

SpE: Spurenelemente; VT: Versuchstag

Ein Grund für die in der Amarantvariante A4 trotz höheren Eintrags geringeren Spurenelementgehalte und damit schnellere Versäuerung war wohl die Schaumbildung mit sichtbarer Volumenvergrößerung des Gärgemischs. Zur Konstanthaltung des Volumens wurde hier anfangs mehr Gärgemisch entnommen als in den Kontrollen. Wegen der

nicht adäquaten Nachlieferung verringerte sich die Spurenelementkonzentration in der Variante A4 besonders schnell. Des Weiteren stieg der Trockensubstanzgehalt im Gärgemisch A4 im Versuchsverlauf etwas stärker als in den Kontrollen an. Im Vergleich zur reinen Maisvergärung scheint der Amarant den Substratabbau etwas beeinträchtigt oder verzögert zu haben. Hierauf weist auch die höhere Methanproduktion im Gärgemisch A4 nach Aussetzen der Fütterung hin.

Auch im Vergleich der Varianten A5 und A6 (Tabelle 28) ergab sich bei den Leistungsparametern kein Unterschied zwischen der Spurenelement-supplementierten Maissilage-Vergärung und der Variante mit Amarant. Die Spurenelemente im Amarant scheinen damit ähnlich gut verfügbar zu sein wie im mineralischen Zusatz.

Die mikrobiologischen Untersuchungen konnten keinen Unterschied zwischen den Versuchsvarianten aufdecken. Einen wesentlichen Einfluss auf die Gesellschaftszusammensetzung der (transkriptionell) aktiven *Bacteria* sowie der methanogenen Archaeen hatten dagegen die unterschiedlichen Prozesszustände, beispielsweise bei stabil-effizientem Betrieb, in der Prozessversäuerung oder wenn nicht gefüttert wurde. Für diese konnten charakteristische Bioindikatoren zur mikrobiologischen Prozessdiagnose identifiziert werden. Hier sind bei den *Bacteria* für den stabil-effizienten Betrieb insbesondere Uncl. *Clostridiales\_Inc.* Sed. XI OTU 4, Uncl. *Actinomycetaceae* OTU 16, Uncl. *Sphingobacteriales* OTU 22 und Uncl. *Synergistaceae* OTU 175 zu nennen und bei den methanogenen *Archaea* vor allem *Methanosaeta concilii* OTU 5, *Herbinix luporum* OTU 1, *Succinivibrio* sp. OTU 25, *Tessarococcus* sp. OTU 20 und *Ercella* sp. OTU 9 dominierten dagegen bei den *Bacteria* und *Methanobacterium\_I* sp.\_2 OTU 1 sowie *Methanobacteriaceae* Genus\_IV OTU 3 bei den methanogenen *Archaea* in Phasen, in denen die Prozesse versauert waren und/oder zur Wiedergesundung nicht gefüttert wurden.

Den Ergebnissen zufolge ist eine partielle Substitution von Mais- durch Amarantsilage zur effizienten Biogasproduktion und Einsparung mineralischer Spurenelementsupplemente über kürzere Betriebsphasen durchaus möglich. In Verbindung mit den Ergebnissen des Technologie- und Förderzentrums (TFZ) aus Anbauversuchen kann die Vergärung von Amarantsilage in größerem Maßstab noch nicht als praxistauglich empfohlen werden [50].

## Quellenverzeichnis

- [1] AGRAVIS RAIFFEISEN AG (2018): Gärgase sind giftig. URL: [http://www.silierung.de/de/silierung\\_de/silierung/silierung\\_in\\_d\\_p\\_\\_unterpunkte/verfahren\\_1/index~1.html](http://www.silierung.de/de/silierung_de/silierung/silierung_in_d_p__unterpunkte/verfahren_1/index~1.html) (Stand: 20.11.2018)
- [2] AGRAVIS RAIFFEISEN AG (2018): Chemische Zusammensetzung. URL: [http://www.silierung.de/de/silierung\\_de/silierung/silierung\\_in\\_der\\_theorie/die\\_vergaerbarkeit\\_von\\_mikroorganismen.html](http://www.silierung.de/de/silierung_de/silierung/silierung_in_der_theorie/die_vergaerbarkeit_von_mikroorganismen.html) (Stand: 20.11.2018)
- [3] AHRENS, W. (2008): Silopflanze für Rinder und Biogas. Bayerisches Landwirtschaftliches Wochenblatt, Jg. 198, Nr. 44, S. 34
- [4] AHRENS, W.; METZGER, M. (2012): Optimale Pflanzenmischung für Biogasanlagen. DLG-New Power Forum 2/2012. URL: <http://www.triesdorf.de/images/stories/fachinfos/optimale%20pflanzenmischung%20fr%20biogasanlagen.pdf> (Stand: 11.04.2016)
- [5] ASSAD, R.; RESHI, Z. A.; JAN, S.; RASHID, I. (2017): Biology of Amaranths. The Botanical Review, Jg. 83, Nr. 4, S. 382–436
- [6] AUFHAMMER, W. (2000): Pseudogetreidearten – Buchweizen, Reisemelde und Amaranth. Herkunft, Nutzung und Anbau. 1. Aufl. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer, 253 Seiten, ISBN 3-8001-3189-7
- [7] BASERGA, U. (1998): Landwirtschaftliche Co-Vergärungs-Biogasanlage. Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik (FAT) (Hrsg.). Tänikon. FAT-Berichte, Nr. 512, 11 Seiten
- [8] BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (LFL)(2018): Bayerische Basisdaten Tabelle 9a: Stickstoffbedarfswerte von Hauptfrüchten. URL: <https://www.lfl.bayern.de/iab/duengung/031245/> (Stand: Juli 2018)
- [9] BECKER, H. (2011): Pflanzenzüchtung. 2. Aufl. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer, 368 Seiten, ISBN 978-3-8252-3558-1
- [10] BICKEL, P. (2017): Entwicklung der Erneuerbaren Energien in Deutschland. URL: [https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Downloads/entwicklung-der-erneuerbaren-energien-in-deutschland-2017.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=21](https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Downloads/entwicklung-der-erneuerbaren-energien-in-deutschland-2017.pdf?__blob=publicationFile&v=21) (Stand: 18.12.2018)
- [11] BOLSEN, K. K.; ASHBELL, G.; WEINBERG, Z. G. (1996): Silage fermentation and silage additives. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences, Jg. 9, Nr. 5, S. 483–494
- [12] BRAUN, R. (1982): Biogas Methangärung organischer Abfallstoffe. Grundlagen und Anwendungsbeispiele. Wien: Springer Verlag, 204 Seiten, ISBN 978-3-7091-8676-3, ISSN 0723-4589
- [13] BRENNER, D. M.; BALTENSPERGER, D. D.; KULAKOW, P. A.; LEHMANN, J. W.; MYERS, R. L.; SLABBERT, M. M. (2000): Genetic Resources and Breeding of *Amaranthus*. Chapter 7. In: JANICK, J. (Hrsg.): Plant Breeding Reviews, Vol. 19. Hoboken, New Jersey, USA: John Wiley & Sons, S. 227–285, ISBN 0-471-38787-8

- [14] BUNDESMINISTERIUM DER JUSTIZ UND FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ (2017): Düngemittelverordnung vom 5. Dezember 2012 (BGBl., Teil I, S. 2482), die zuletzt durch Artikel 3 der Verordnung vom 26. Mai 2017 (BGBl., Teil I, S. 1305) geändert worden ist. Bundesgesetzblatt, Teil I, Nr. 63, S. 1305–1348
- [15] BUNDESMINISTERIUM DER JUSTIZ UND FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ (2018): Erneuerbare-Energien-Gesetz vom 21. Juli 2014 (BGBl., Teil I, S. 1066), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 17. Dezember 2018 (BGBl., Teil I, S. 2549) geändert worden ist. Bundesgesetzblatt, Teil I, Nr. 47, S. 2549–2570
- [16] BUNDESSORTENAMT (2000): Richtlinien für die Durchführung von landwirtschaftlichen Wertprüfungen und Sortenversuchen. Hannover: Landbuch-Verlag, 348 Seiten
- [17] BUTH, M.; KAHLENBORN, W.; SALVESBERG, J.; BECKER, N.; BUBECK, P.; KABISCH, S.; KIND, C.; TEMPEL, A.; TUCCI, F.; GREIVING, S.; FLEISCHHAUER, M.; LINDNER, C.; LÜCKENKÖTTER, J.; SCHONLAU, M.; SCHMITT, H.; HURTH, F.; OTHMER, F.; AUGUSTIN, R.; BECKER, D.; ABEL, M.; BORNEMANN, T.; STEINER, H.; ZEBISCH, M.; SCHNEIDERBAUER, S.; KOFLER, C. (2015): Vulnerabilität Deutschlands gegenüber dem Klimawandel. Projekt-Nr. 24309, UBA-FB 002226, Abschlussdatum: Oktober 2015. Adelphi Research gemeinnützige GmbH, Umweltbundesamt (Hrsg.): Für Mensch & Umwelt – Climate Change, Nr. 24/2015. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt, 688 Seiten, ISSN 1862-4359
- [18] CASELATO-SOUSA, V. M.; AMAYA-FARFÁN., J. (2012): State of knowledge on amaranth grain: a comprehensive review. *Journal of Food Science*, Jg. 77, S. 93–104
- [19] CONFORTI, F.; STATTI, G.; LOIZZO, M. R.; SACCHETTI, G.; POLI, F.; MENICHINI, F. (2005): In vitro antioxidant effect and inhibition of  $\alpha$ -amylase of two varieties of *Amaranthus caudatus* seeds. *Biological and Pharmaceutical Bulletin*, Jg. 28, Nr. 6, S. 1098–1102
- [20] COSSEL, M. v.; MÖHRING, J.; KIESEL, A.; LEWANDOWSKI, I. (2017): Methane yield performance of amaranth (*Amaranthus hypochondriacus* L.) and its suitability for legume intercropping in comparison to maize (*Zea mays* L.). *Industrial Crops and Products*, Jg. 103, S. 107–121
- [21] COSTEA, M.; DEMASON, D., (2001): Stem morphology and anatomy in *Amaranthus* L. (Amaranthaceae), taxonomic significance. *Journal of the Torrey Botanical Society*, Jg. 128, S. 254–281
- [22] COSTEA, M.; SANDERS, A.; WAINES, G. (2001): Preliminary results towards a revision of the *amaranthus hybridus* species complex (Amaranthaceae). *SIDA contributions to botany*, Jg. 19, Nr. 4, S. 931–974
- [23] COSTEA, M.; TARDIF, F. J. (2003): The biology of Canadian weeds. 126. *Amaranthus albus* L., *A. blitoides* S. Watson and *A. blitum* L. *Canadian journal of plant science*, Jg. 83, Nr. 4, S.1039–1066
- [24] CULPEPPER, A. S.; GREY, T. L.; VENCILL, W. K.; KICHLER, J. M.; WEBSTER, T. M.; BROWN, S. M.; YORK, A. C.; DAVIS, J. W.; HANNA, W. W. (2006): Glyphosate-resistant Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) confirmed in Georgia. *Weed Science*, Jg. 54, Nr. 4, S. 620–626
- [25] DANDIKAS, V.; HEUWINKEL, H.; LICHTI, F.; DREWES, J. E.; KOCH, K. (2015): Correlation between Biogas Yield and Chemical Composition of Grassland Plant Species. *Energy & Fuels*, Jg. 29, Nr. 11, S. 7221–7229

- [26] DANDIKAS, V.; HEUWINKEL, H.; LICHTI, F.; DREWES, J. E.; KOCH, K. (2014): Correlation between biogas yield and chemical composition of energy crops. *Bioresource Technology*, Jg. 174, S. 316–320
- [27] DARWINKEL, A.; STOLEN, O. (1997): Understanding the Quinoa Crop – Guidelines for growing in temperate regions of N. W. Europe. Co-funded by the European Commission. Brussels: European Commission, 23 Seiten
- [28] DAS, S. (2016): *Amaranthus: A Promising Crop of Future*. 1. Aufl. Singapore: Springer Singapore, 208 Seiten, ISBN 978-981-10-1469-7
- [29] 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
- [30] DERSCH, G.; NAGL, H. (2001): Ertragspotential und Düngung von Amaranth (*Amaranthus ssp.*). Arbeitsgemeinschaft Landwirtschaftlicher Versuchsanstalten (ALVA) (Hrsg.): ALVA-Jahrestagung 2001 zum Thema „Landwirtschaftliche Qualitätsprodukte – Basis für hochwertige Nahrungsmittel“: 29. bis 31. Mai 2001 an der Bundesanstalt für Milchwirtschaft, Wolfpassing. Irdning: Bundesanstalt für Alpenländische Landwirtschaft Gumpenstein, S. 63–66
- [31] DEUTER, U.; SCHUMANN, D.; FRITZ, M. (2018): Auflockerung von Fruchtfolgen durch Kulturen mit kurzer Vegetationszeit. Kurzfassung des Abschlussberichts für Projekt N/14/09. Straubing: Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ), 13 Seiten
- [32] DIEPENBROCK, W.; ELLMER, F.; LÉON, J. (2009): *Ackerbau, Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung. Grundwissen Bachelor*. 2. Aufl. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer. 366 Seiten, ISBN 978-3-8252-2629-9
- [33] DOBOS, G.; GIMPLINGER, D.M. (2008): Züchtung eines neuen Körneramaranthgenotyps – Vorgangsweise und Ergebnisse. In: RUCKENBAUER, P. (Hrsg.): 59. Tagung der Vereinigung der Pflanzenzüchter und Saatgutkaufleute Österreichs 2008, S. 85–88, ISBN 978-3-902559-28-9
- [34] DURST, L.; EBERLEIN, M. (2015): *Bereitung hochwertiger Silage – die Grundlage für hohen Biogasertrag – Zusammengestellt für die Arbeitsgruppe II (Substratbereitstellung)*. Biogas Forum Bayern, Nr. II – 07/2015. Freising: Arbeitsgemeinschaft Landtechnik und landwirtschaftliches Bauwesen in Bayern e. V. (ALB), 10 Seiten
- [35] EBERL, V.; FAHLBUSCH, W.; FRITZ, M.; SAUER, B. (2014): Screening und Selektion von Amarantsorten und -linien als spurenelementreiches Biogassubstrat. *Berichte aus dem TFZ*, Nr. 37. Straubing: Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ), 114 Seiten, ISSN 1614-1008
- [36] ELMADFA, I.; AIGN, W.; MUSKAT, E.; FRITZSCHE, D. (2015): *Die Große GU Nährwert-Kalorien-Tabelle*. 2. Aufl. München: Verlag Gräfe und Unzer, 128 Seiten, ISBN 9783833847974
- [37] EUROPÄISCHE KOMMISSION (2006): Verordnung (EG) Nr. 1881/2006 der Kommission vom 19. Dezember 2006 zur Festsetzung der Höchstgehalte für bestimmte Kontaminanten in Lebensmitteln. *Amtsblatt der Europäischen Union*, Jg. 49, Nr. L 364, S. 5–24

- [38] FABIO, A. D.; PARRAGA, G. (2017): Origin, Production and Utilization of Pseudocereals. In: HAROS, C. M.; SCHÖNLECHNER, R. (Hrsg.): Pseudocereals – Chemistry and technology, 1. Aufl. Hoboken, New Jersey, USA: John Wiley & Sons, S. 1–27, ISBN 978-1-118-93825-6
- [39] FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE E. V. (FNR) (2018): Faustzahlen. URL: <https://biogas.fnr.de/daten-und-fakten/faustzahlen/> (Stand: 05.09.2018)
- [40] FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE E. V. (FNR) (2013): Leitfaden Biogas. Von der Gewinnung zur Nutzung. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR). URL: [http://mediathek.fnr.de/media/downloadable/files/samples/l/e/leitfadenbioga013\\_wew\\_komp.pdf](http://mediathek.fnr.de/media/downloadable/files/samples/l/e/leitfadenbioga013_wew_komp.pdf) (Stand: 13.04.2016)
- [41] FAHLBUSCH, W.; HEY, K.; SAUER, B.; RUPPERT, H. (2018): Trace element delivery for biogas production enhanced by alternative energy crops: results from two-year field trials. *Energy, Sustainability and Society*, Jg. 9, S. 1–11, DOI: 10.1186/s13705-018-0180-1
- [42] FATHEPURE, B. (1987): Factors Affecting the Methanogenic Activity of *Methanotrix soenghenii*. *Applied and Environmental Microbiology*, Jg. 53, Nr. 12, S. 2978–2982
- [43] FRITZ, M.; DEIGLMAYR, K. (2009): Amaranth als Biogassubstrat. Zusammenge stellt von der Arbeitsgruppe I (Substratproduktion) im „Biogas Forum Bayern“. Arbeitsgemeinschaft Landtechnik und landwirtschaftliches Bauwesen in Bayern e. V. (ALB Bayern e. V.) (Hrsg.). Freising. Biogas Forum Bayern, Nr. I – 5/2009, 4 Seiten
- [44] GANSBERGER, M.; WEINHAPPEL, M.; LEONHARDT, C.; BRANDSTETTER, A.; SCHALLY, H.; LIEBHARD, P. (2009): Einfluss der Verweildauer ausgewählter Unkrautsamen in Biogasanlagen auf die Keimfähigkeit. In: MÄRLÄNDER, B.; CHRISTEN, O.; KENTER, C.; DÜKER, A. (Hrsg.): Pflanzenbauwissenschaften – Systembezug und Modellierung. 52. Jahrestagung vom 1. bis 3. September 2009 in Halle/Saale – Kurzfassung der Vorträge und Poster. Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften e. V. (GfP). Göttingen: Liddy Halm (Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, 21), S. 75–76
- [45] GIMPLINGER, D. M.; DOBOS, G.; KAUL H.-P. (2009): Körneramarant – Nischenfrucht für den heimischen Anbau? In: Lehr- und Forschungszentrum Raumberg-Gumpenstein (Hrsg.), Fachtagung Biologischer Ackerbau: Sonderkulturen und Nischenprodukte, 11.11.2009, Sankt Florian, Linz. Irdning: Lehr- und Forschungszentrum Raumberg-Gumpenstein, S. 35–36; ISBN 978-3-902559-38-8; ISSN 1818-7722
- [46] GIMPLINGER, D. M.; DOBOS, G.; SCHÖNLECHNER, R.; KAUL, H.-P. (2007): Yield and quality of grain amaranth (*Amaranthus* sp.) in Eastern Austria. *Plant Soil and Environment*, Jg. 53, Nr. 3, S. 105–112
- [47] GIMPLINGER, D. M.; SCHULTE AUF’M ERLEY, G.; DOBOS, G.; KAUL, H.-P. (2008): Optimum crop densities for potential yield and harvestable yield of grain amaranth are conflicting. *European Journal of Agronomy*, Jg. 28, S. 119–125
- [48] GÖMANN H.; FRÜHAUF C.; LÜTTGER A.; WEIGEL, H.-J. (2017): Landwirtschaft. In: BRASSEUR, G.; JACOB, D.; SCHUCK-ZÖLLER, S. (Hrsg.): Klimawandel in Deutschland, 1. Aufl. Heidelberg: Springer Spektrum Verlag, S. 184–191, ISBN 978-3-662-50397-3

- [49] HAAG, N. L.; NÄGELE, H.-J.; FRITZ, T.; OECHSNER, H. (2015): Effects of ensiling treatments on lactic acid production and supplementary methane formation of maize and amaranth – an advanced green biorefining approach. *Bioresource technology*, Jg. 178, S. 217–225
- [50] HARTEL, M.; ANDRADE, D.; BIELOCH, C.; CALLAGHAN, A.; YOUNG, D.; SAUER, B.; FRITZ, M.; TRAUNER, A.; EBERL, V.; BRUNNER, S.; NEUMANN, L.; FÖRSTER, L.; LEBUHN, M.; LICHTI, F. (2019): Amarant als spurenelementreiches Biogassubstrat: Dauererhebung in Durchflussfermentern, Abschlussbericht. Freising: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), 100 Seiten
- [51] HARTMANN, A.; BURMEISTER, J.; FRITZ, M.; WALTER, R. (2018): Dauerkulturen. Aufzeigen der bayernweiten Anbaueignung. Förderkennzeichen: N/14/10, 01.04.2014–31.03.2017. Berichte aus dem TFZ, Nr. 54. Straubing: Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ), 240 Seiten, ISSN 1614-1008
- [52] HERRMANN, C.; IDLER, C.; HEIERMANN, M. (2016): Biogas crops grown in energy crop rotations: Linking chemical composition and methane production characteristics. *Bioresource Technology*, Jg. 206, S. 23–35
- [53] HERRMANN, C.; PLOGSTIES, V.; WILLMS, M.; HENGELHAUPT, F.; EBERL, V.; ECKNER, J.; STRAUß, C.; IDLER, C.; HEIERMANN, M. (2016): Methane production potential of various crop species grown in energy crop rotations. *Landtechnik*, Jg. 71, Nr. 6, S. 194–208
- [54] HINKEN, L.; URBAN, I.; HAUN, E.; URBAN, I.; WEICHGREBE, D.; ROSENWINKEL, K. H. (2008): The valuation of malnutrition in the mono-digestion of maize silage by anaerobic batch tests. *Water Science and Technology*, Jg. 58, Nr. 7, S. 1453–1459
- [55] IKENMEYER, K.; WILKEN, D.; KNABEL, M.; LEBUHN, M. (2014): Einsatzstoffe und Konsequenzen rechtlicher Änderungen 2013. In: ARBEITSGEMEINSCHAFT LANDTECHNIK UND LANDWIRTSCHAFTLICHES BAUWESEN IN BAYERN E. V. (ALB) (Hrsg.): Biogas Forum Bayern Nr. III – 10/2014, URL: [https://www.biogas-forum-bayern.de/publikationen/Einsatzstoffe\\_und\\_Konsequenzen\\_rechtlicher\\_Aenderungen\\_2013.pdf](https://www.biogas-forum-bayern.de/publikationen/Einsatzstoffe_und_Konsequenzen_rechtlicher_Aenderungen_2013.pdf). (Stand: 25.04.2015)
- [56] INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA) (2018): World Energy Balances – Complete energy balances for over 150 countries and regions. Paris, France: IEA URL: <https://www.iea.org/statistics/balances/> (Stand: 18.12.2018)
- [57] JACOB, D.; KOTTMEIER, C.; PETERSEN, J.; RECHID, D.; TEICHMANN, C. (2017): Regionale Klimamodellierung. In: BRASSEUR, G.; JACOB, D.; SCHUCK-ZÖLLER, S. (Hrsg.): Klimawandel in Deutschland. 1. Aufl. Heidelberg: Springer Spektrum Verlag, S. 28–35, ISBN 978-3-662-50397-3
- [58] KAISER, E.; WEIß, K. (2005): Gute Silagen erzeugen ohne Nitrat im Grundfutter. In: SÄCHSISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (Hrsg.): 49. Jahrestagung vom 25. bis 27. August 2005 in Bad Elster – Referate und Poster, Mitteilungen der Arbeitsgemeinschaft Grünland und Futterbau, Nr. 7. Dresden: Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, S. 131–134, ISBN 3-00-016913-X
- [59] KAISER, F. L. (2007): Einfluss der stofflichen Zusammensetzung auf die Verdaulichkeit nachwachsender Rohstoffe beim anaeroben Abbau in Biogasreaktoren. Dissertation. Lehrstuhl für Agrarsystemtechnik. München: Technische Universität. 176 Seiten

- [60] KAMPHUES, P. D. J.; COENEN, M.; IBEN, C.; KIENZLE, E.; PALLAUF, J.; SIMON, O.; WAN-  
NER, M.; ZENTEK, J. (2008): Supplemente zu Vorlesung und Übungen in der Tierer-  
nährung. Unter Mitarbeit von A. C. Häbich, P. Kölle, A. Liesegang, K. Männer, A.  
Mösseler, I. Vervuert und P. Wolf. 11. Aufl. Hannover: M. & H. Schaper GmbH, 374  
Seiten, ISBN 3794402235
- [61] KAUL, H.-P.; AUFHAMMER, W.; LAIBLE, B.; NALBORCZYK, E.; WASIAK, K. (1996): The  
suitability of amaranth genotypes for grain and fodder use in Central Europe. *Die  
Bodenkultur*, Jg. 47, Nr. 3, S. 173–181
- [62] KIDA, K.; SHIGEMATSU, T.; KIJIMA, J.; MUMAGUCHI, M.; MOCHINAGA, Y.; ABE, N.; MORI-  
MURA, S. (2001): Influence of Ni<sup>2+</sup> and Co<sup>2+</sup> on methanogenic activity and the  
amounts of coenzymes involved in methanogenesis. *Journal of Bioscience and Bi-  
oengineering*, Jg. 91, Nr. 6, S. 590–595
- [63] KIETLINSKI, K. D.; JIMENEZ, F.; JELLEN, E. N.; MAUGHAN, P. J.; SMITH, S. M.; PRATT, D.  
B. (2014): Relationships between the Weedy *Amaranthus hybridus* (Amaranthace-  
ae) and the Grain Amaranths. *Crop Science*, Jg. 54, S. 220–228
- [64] KOCH, K.; GEPPERTH, S.; ANDRADE, D.; EBERTSEDER, F.; GRONAUER, A. (2011): Hilfs-  
mitteleinsatz 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, S. 16–31, ISBN 978-3-94-714703-3
- [65] 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
- [66] KUDSK, P.; TABERNER, A.; TROIANI, R. M. DE; SÁNCHEZ, T. M.; MATHIASSEN, S. K.  
(2012): Herbicide tolerance and seed survival of grain amaranth (*Amaranthus sp.*).  
*Australian Journal of Crop Science*, Jg. 6, Nr. 12, S. 1674–1680
- [67] LANDWIRTSCHAFTSKAMMER NORDRHEIN-WESTFALEN (2018) Durchschnittliche N<sub>min</sub>-  
Richtwerte – 5-jähriges Mittel. Münster: Landwirtschaftskammer Nordrhein-  
Westfalen. URL:  
[https://www.landwirtschaftskammer.de/landwirtschaft/ackerbau/pdf/nmin-  
richtwerte-5-j-mittel.pdf](https://www.landwirtschaftskammer.de/landwirtschaft/ackerbau/pdf/nmin-richtwerte-5-j-mittel.pdf) (Stand: 17.12.2018)
- [68] LEBUHN, M.; ANDRADE, D.; BAUER, C.; GRONAUER, A. (2010): Intensivierung des an-  
aeroben Biomasseabbaus zur Methanproduktion aus NawaRo. Abschlussbericht  
Teilvorhaben 6. URL: [http://www.lfl.bayern.de/itt/umwelttechnik/biogastechnik/  
40725/index.php](http://www.lfl.bayern.de/itt/umwelttechnik/biogastechnik/40725/index.php) (Stand: 05.12.2016)
- [69] LEBUHN, M.; EFFENBERGER, M. (2012): Hygienisierung durch Biogastechnologie.  
*Korrespondenz Wasserwirtschaft*, Nr. 8, S. 419–424
- [70] LEBUHN, M.; LIU, F.; HEUWINKEL, H.; GRONAUER, A. (2008): Biogas production from  
mono-digestion of maize silage – long-term process stability and requirements. *Wa-  
ter Science and Technology*, Jg. 58, Nr. 8, S. 1645–1651

- [71] LEMBACHER, F.; SCHALLY, H.; SCHLAGER, A. (2015): Amarant (*Amaranthus cruentus*, *Amaranthus hypochondriacus*). Anbauinformation, Stand: September 2015. Niederösterreichische Landes-Landwirtschaftskammer (Hrsg.). St. Pölten, 3 Seiten
- [72] LEMMER, A.; VINTILOIU, A.; PREIßLER, 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, S. 45–77, ISBN 978-3-94714703-3
- [73] LENFERS, C. (2018) Maissilo: Vorsicht vor giftigen Gärgasen! URL: <https://www.top-agrar.com/management-und-politik/news/maissilo-vorsicht-vor-giftigen-gaergasen-9841502.html> (Stand: 20.11.2018)
- [74] LEONHARDT, C.; WEINHAPPEL, M.; GANSBERGER, M.; BRANDSTETTER, A.; SCHALLY, H.; PFUNDTNER, E. (2010): Untersuchungen zur Verbreitungsgefahr von samenübertragbaren Krankheiten, Unkräutern und austriebsfähigen Pflanzenteilen mit Fermentationsendprodukten aus Biogasanlagen. Endbericht zum Forschungsprojekt 100296/2. AGES – Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit GmbH. URL: [https://www.ages.at/fileadmin/\\_migrated/content\\_uploads/100296\\_Endbericht\\_biogas\\_dafne\\_letztfassung.pdf](https://www.ages.at/fileadmin/_migrated/content_uploads/100296_Endbericht_biogas_dafne_letztfassung.pdf) (Stand: 12.10.2018)
- [75] LÜTKE ENTRUP, N.; OEMICHEN, J.; BLANKENBURG, J. V.; BORGMAN, F.; BUCHER, W.; FRIEDT, W.; ORDON, F.; KNAUER, N.; MÜLLER, J.; RULAND, W.; SOMMER, C.; BRUNOTTE, H.; SOURELL, H.; STEINBERGER, J.; WEYER, T (Hg.) (2006): Lehrbuch des Pflanzenbaus. Grundlagen, Nr. 1. 3. Aufl. Bonn: Verlag AgroConcept, 823 Seiten
- [76] MENGEL, K. (1999): Ernährung und Stoffwechsel der Pflanze. 7. Aufl. Stuttgart: Gustav Fischer Verlag, 431 Seiten, ISBN 9783334003107
- [77] MIEDANER, T. (2010): Grundlagen der Pflanzenzüchtung. 1. Aufl. Frankfurt am Main: DLG-Verlags GmbH, 261 Seiten, ISBN 9783769007527
- [78] MOSHAVER, E.; MADANI, H.; EMAM, Y.; MOHAMADI, G. N.; SHARIFABAD, H. (2016): Effect of planting date and density on amaranth (*Amaranthus hypochondriacus* L.) growth indices and forage yield. *Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences (JEBAS)*, Jg. 4, Nr. 5, S. 541–547
- [79] MOSYAKIN, S. L.; ROBERTSON, K. R. (1996): New infrageneric taxa and combinations in *Amaranthus* (*Amaranthaceae*). *Annales Botanici Fennici*, Jg. 33, S. 275–281
- [80] MUNK, B.; BAUER, C.; GRONAUER, A.; LEBUHN, M. (2012): A Metabolic Quotient for Methanogenic Archaea. *Water Science and Technology*, Jg. 66, Nr. 11, S. 2311–2317
- [81] MUNK, B.; LEBUHN, M. (2014): Process diagnosis using methanogenic Archaea in maize-fed, trace element depleted fermenters. *Anaerobe*, Jg. 29, Nr. 10 (Oktober), S. 22–28
- [82] NATIONAL RESEARCH COUNCIL (1984). *Amaranth: Modern prospects for an ancient-crop*. Washington, D. C.: National Academies Press, 92 Seiten
- [83] NULTSCH, W., (2001): *Allgemeine Botanik*. 11. Aufl. Stuttgart: Thieme. 663 Seiten. ISBN 3-13-383311-1

- [84] NUSSBAUM, H., (2003): Gute Gassilage braucht Nitrat zur Gärung. URL: [http://www.landwirtschaft-bw.info/site/pbsbw/get/documents/MLR.LEL/PB5Documents/lazbw\\_g/Futterkonservierung/Nitrat\\_Silage.pdf](http://www.landwirtschaft-bw.info/site/pbsbw/get/documents/MLR.LEL/PB5Documents/lazbw_g/Futterkonservierung/Nitrat_Silage.pdf) (Stand: 20.11.2018)
- [85] ORTIZ-RIBBING, L.; WILLIAMS, M. M. (2006): Potential of *Phomopsis amaranthicola* and *Microsphaeropsis amaranthi*, as bioherbicides for several weedy *Amaranthus* species. *Crop Protection*, Jg. 25, Nr. 1, S. 39–46
- [86] PANDEY, R. M.; SINGH, R. (2009): Genetic improvement of grain amaranths: A review. *Current Advances in Agricultural Sciences*, Jg. 1, Nr. 2, S. 61–64
- [87] PÍSAŘÍKOVÁ B.; KRÁČMAR S.; HERZIG I. (2005): Amino acid contents and biological value of protein in various amaranth species. *Czech Journal of Animal Science*, Jg. 50, S. 169–174
- [88] POSPIECH, S.; FAHLBUSCH, W.; SAUER, B.; PASOLD, T.; RUPPERT, H. (2017): Alteration of trace element concentrations in plants by adhering particles – Methods of correction. *Chemosphere*, Jg. 182, S. 501–508
- [89] RATH, J.; HEUWINKEL, H.; HERRMANN, A. (2013): Specific Biogas Yield of Maize Can Be Predicted by the Interaction of Four Biochemical Constituents. *BioEnergy Research*, Jg. 6, Nr. 3, S. 939–952
- [90] RATH, J.; HEUWINKEL, H.; TAUBE, F.; HERRMANN, A. (2015): Predicting Specific Biogas Yield of Maize-Validation of Different Model Approaches. *BioEnergy Research*, Jg. 8, Nr. 2, S. 832–842
- [91] RAUPP, J.; DOBIASCHOWSKI, L.; OLTMANN, M. (2009): Ertrag und Korninhaltsstoffe von Amaranth (Neuer Typ) bei organischer und mineralischer Düngung auf einem Sandstandort. *Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften*, Jg. 21, S. 243–244
- [92] SÁNCHEZ-DEL PINO, I.; PRATT, D.; FLORES-OLVERA, H. (2017): A new species of *Amaranthus* (Amaranthaceae) from Mexico. *Phytotaxa*, Jg. 291, Nr. 3, S. 201–208
- [93] SAUER, B.; FAHLBUSCH, W. (2014): Möglichkeiten einer ausgeglichenen Spurenelementversorgung von Biogasanlagen durch Mischungen unterschiedlicher Energiepflanzen. Abschlussbericht Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR). FKZ: 22041611. Gülzow: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), 37 Seiten
- [94] SAUER, B.; FAHLBUSCH, W.; RUPPERT, H. (2017): Bioenergetische Nutzungskonzepte für kontaminierte Standorte. In: RUPPERT, H.; IBENDORF, J. (Hrsg.): *Bioenergie im Spannungsfeld. Wege zu einer nachhaltigen Bioenergieversorgung*. Göttingen: Universitätsverlag Göttingen, 464 Seiten, ISBN 978-3-86-395164-1
- [95] 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, S. 425–444, ISBN 9789400766419

- [96] SAUER, B.; RUPPERT, H. (2013): Spurenelemente in Biogasanlagen: Eine ausreichende Versorgung durch Zufuhr unterschiedlicher Energiepflanzenmischungen oder Gülle ist möglich. In: KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAUWESEN IN DER LANDWIRTSCHAFT E. V. (KTBL) (Hrsg.): Biogas in der Landwirtschaft – Stand und Perspektiven. FNR/KTBL-Kongress 2011 in Göttingen. KTBL-Schrift, Nr. 488, S. 356–357, ISBN 3941583565
- [97] SAUER, J. D. (1950): The Grain Amaranths: A Survey of Their History and Classification. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, Jg. 37, Nr. 4, S. 561–632
- [98] SAUER, J. D. (1967): The grain amaranths and their relatives: a revised taxonomic and geographic survey. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, Jg. 54, S. 103–137
- [99] SAUER, J. D. (1993): *Amaranthaceae: Amaranth family. Historical geography of crop plants: a select roster*. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, S. 9–15, ISBN 0-8493-8901-1
- [100] SAUERBECK, G. (2004): Amaranth – Ergänzungspflanze für Mischsilagen mit Mais? In: GESELLSCHAFT FÜR PFLANZENBAUWISSENSCHAFTEN e. V. (Hrsg.): 47. Jahrestagung. Effizienter Pflanzenbau für Nahrung und Rohstoffe im 21. Jahrhundert, 21.–23. September 2004, Braunschweig. *Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften e. V.*, Nr. 16. Stuttgart: Verlag Günter Heimbach, S. 35–36, ISSN 0934-5116
- [101] SCHEFTELOWITZ, M.; RENSBERG, N.; DENYSENKO, V.; DANIEL-GROMKE, J.; STINNER, W.; HILLEBRAND, K.; NAUMANN, K.; PEETZ, D.; HENNIG, C.; THRÄN, D.; BEIL, M.; KASTEN, J.; VOGEL, L. (2015): *Stromerzeugung aus Biomasse (Vorhaben Ila Biomasse). Zwischenbericht Mai 2015 (Projektnummer 3310025)*. Leipzig: Deutsches Biomasseforschungszentrum (DBFZ), 154 Seiten
- [102] SCHIEDER, D.; GRONAUER, A.; LEBUHN, M.; BAYER, K.; BECK J.; HIEPP, G.; BINDER S. (2010): Prozessmodell Biogas. In: ARBEITSGEMEINSCHAFT LANDTECHNIK UND LANDWIRTSCHAFTLICHES BAUWESEN IN BAYERN E. V. (ALB) (Hrsg.): *Biogas Forum Bayern Nr. III – 03/2010*, URL: [https://www.biogas-forum-bayern.de/publikationen/Prozessmodell\\_Biogas.pdf](https://www.biogas-forum-bayern.de/publikationen/Prozessmodell_Biogas.pdf) (Stand: 28.04.2016)
- [103] SCHÖNHEIT, P.; MOLL, J.; THAUER, R. K. (1979): Nickel, cobalt, and molybdenum requirement for the growth of *Methanobacterium thermoautotrophicum*. *Archives of Microbiology*, Jg. 123, Nr. 1, S. 105–107
- [104] SCHULTE AUF'M ERLEY, G.; KAUL, H.-P.; KRUSE, M.; AUFHAMMER, W. (2005): Yield and nitrogen utilization efficiency of the pseudocereals amaranth, quinoa, and buckwheat under differing nitrogen fertilization. *European Journal of Agronomy*, Jg. 22, S. 95–100
- [105] STETTER, M. G.; SCHMID, K. J. (2017): Analysis of phylogenetic relationships and genome size evolution of the *Amaranthus* genus using GBS. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, Jg. 109, S. 80–92
- [106] STETTER, M. G.; ZEITLER, L.; STEINHAUS, A.; KROENER, K.; BILJECKI, M.; SCHMID, K. J. (2016): Crossing Methods and Cultivation Conditions for Rapid Production of Segregating Populations in Three Grain Amaranth Species. *Frontiers in Plant Science*, Jg. 7, S. 1–8

- [107] STOCKMANN, F.; FRITZ, M. (2015): Eignung von Buchweizen und Quinoa als späte Zweitfrüchte für die Biogasnutzung. Berichte aus dem TFZ, Nr. 39. Straubing: Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ), 140 Seiten, ISSN 1614-1008
- [108] TRUCCO, F.; TRANEL, P. J. (2011): Amaranthus. In: KOLE, C. (Hrsg.): Wild Crop Relatives: Genomic and Breeding Resources, Vegetables. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, S. 11–21, ISBN 987-3-64-220449-4
- [109] VDI 4630 (2006): RICHTLINIE VDI 4630 – Vergärung organischer Stoffe Substratcharakterisierung, Probenahme, Stoffdatenerhebung, Gärversuche. Düsseldorf: Verein Deutscher Ingenieure (VDI), 92 Seiten
- [110] WEISS, K. (2002): Aktuelle Entwicklungen in der Silagebewertung. In: BUNDESANSTALT FÜR ALPENLÄNDISCHE LANDWIRTSCHAFT GUMPENSTEIN (Hrsg.): Zeitgemäße Futtermittelkonservierung, 8. Alpenländisches Expertenforum, 9.–10. April 2002, Irdning: LFZ Gumpenstein, S. 51–56
- [111] WEIßBACH F. (2008): Zur Bewertung des Gasbildungspotenzials von nachwachsenden Rohstoffen. Landtechnik, Jg. 63, Nr. 6, S. 365–358
- [112] WEIßBACH, F. (2010): Gasbildungspotenzial nachwachsender Rohstoffe. BIOGAS Journal, Jg. 13, Nr. 4, S. 84–90
- [113] WESTERMAN, P. R.; HILDEBRANDT, F.; GEROWITT, B. (2012): Weed seed survival following ensiling and mesophilic anaerobic digestion in batch reactors. Weed Research, Jg. 52, Nr. 3, S. 286–295
- [114] ZEISE, K.; FRITZ, M. (2011): Sorghum als Biogassubstrat. URL: <http://www.biogasforum-bayern.de/publikationen/substratproduktion/4> (Stand: 28.09.2012)
- [115] ZEISE, K.; HALLER, J.; HARTMANN, A.; EBERL, V.; GRIEB, M.; HAAG, J.; SCHUMANN, D.; FRITZ, M. (2016): Sorghum als Biogassubstrat. Präzisierung der Anbauempfehlungen für bayerische Anbaubedingungen. Berichte aus dem TFZ, Nr. 48. Straubing: Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ), 214 Seiten, ISSN 1614-1008

## Anhang

Tabelle 29: Betrachtete Linien im Screening 2015

Linie	Art	Bezeichnung	Herkunft <sup>1</sup>	Nutzung <sup>1</sup>
AMA 181	<i>Amarantus</i> sp.	EA 1-4		
AMA 182	<i>Amarantus</i> sp.	Gelber Amarant		
AMA 183	<i>Amarantus</i> sp.	Roter Amarant		
AMA 184	<i>A. cruentus</i>	Bärnkrafft	Deutschland	Korn
AMA 185	<i>A. hybridus</i>	Pastewny		Futter
AMA 186	<i>Amarantus</i> sp.	„Konsumsorte“	Österreich	
AMA 201	<i>A. cruentus</i>	K 226		
AMA 202	<i>A. hypochondriacus</i>	K 343 (= Plainsman)		Korn
AMA 203	<i>A. hypochondriacus</i> <i>x A. hybridus</i>	K 432	USA	Korn
AMA 204	<i>A. cruentus</i>	K 436	USA	Korn
AMA 205	<i>A. cruentus</i>	MT 3	USA	Korn
AMA 206	<i>A. cruentus</i>	Nu World	USA	Korn
AMA 207	<i>A. tricolor</i>	A 10	China	Korn
AMA 208	<i>A. caudatus</i>	C 4	China	Doppel
AMA 209	<i>A. caudatus</i>	C 6	China	Doppel
AMA 210	<i>A. cruentus</i>	Suvarna	Indien	Korn
AMA 211	<i>A. caudatus</i>	K 61		
AMA 212	<i>A. caudatus</i>	K 63		
AMA 213	<i>A. cruentus</i>	K 72		
AMA 214	<i>Amarantus</i> sp.	K 78		
AMA 215	<i>Amarantus</i> sp.	K 91		
AMA 216	<i>A. hybridus</i>	Pastewny		Futter
AMA 217	<i>A. hybridus</i>	Turkiestan	Russland	Futter
AMA 218	<i>A. hybridus</i>	Ural	Russland	Futter
AMA 219	<i>A. cruentus</i>	Anden	Südamerika	
AMA 220	<i>A. cruentus</i>	Puerto Moult	Südamerika	
AMA 221	<i>A. cruentus</i>	Villarica	Südamerika	
AMA 222	<i>A. caudatus</i>	K 67		
AMA 223	<i>Amarantus</i> sp.	Sierra Leone		

Linie	Art	Bezeichnung	Herkunft <sup>1</sup>	Nutzung <sup>1</sup>
AMA 224	<i>Amarantus</i> sp.	C 2		
AMA 225	<i>Amarantus</i> sp.	C 3		
AMA 226	<i>Amarantus</i> sp.	C 5		
AMA 227	<i>A. caudatus</i>	K 10		
AMA 228	<i>A. caudatus</i>	K 25		
AMA 229	<i>A. caudatus</i>	K 39		
AMA 230	<i>A. caudatus</i>	K 41		
AMA 231	<i>A. caudatus</i>	K 42		
AMA 232	<i>A. caudatus</i>	K 47		
AMA 233	<i>A. caudatus</i>	K 48		
AMA 234	<i>A. caudatus</i>	K 50		
AMA 235	<i>Amarantus</i> sp.	K 51		
AMA 236	<i>A. caudatus</i>	K 53		
AMA 237	<i>A. caudatus</i>	K 62		
AMA 238	<i>A. caudatus</i>	K 64		
AMA 239	<i>A. caudatus</i>	K 71		
AMA 240	<i>Amarantus</i> sp.	K 80		
AMA 241	<i>Amarantus</i> sp.	K 88		
AMA 242	<i>Amarantus</i> sp.	Poleski Ukrai.		
AMA 243	<i>Amarantus</i> sp.		Südamerika	
AMA 244	<i>A. cruentus</i>	Bärnkrafft	Deutschland	Korn
AMA 245	<i>A. cruentus</i>	Anna	Österreich	Korn
AMA 246	<i>Amarantus</i> sp.	Arma	Österreich	Korn
AMA 247	<i>Amarantus</i> sp.	K 343 bunt		
AMA 248	<i>A. hypochondriacus</i>	Mittlerer Typ (Z2111P/07)	Österreich	Korn
AMA 249	<i>A. hypochondriacus</i>	Anderer Typ (AT 2007 MA)	Österreich	Korn
AMA 250	<i>Amarantus</i> sp.	Typ X (Z10/03)	Österreich	Korn
AMA 251	<i>A. hypochondriacus</i>	Neuer Typ (D2011)	Österreich	Korn
AMA 252	<i>Amarantus</i> sp.	NTCX (CX2007MA)	Österreich	Korn
AMA 253	<i>A. hypochondriacus</i>	Mittlerer Typ Rot (Z12a-c/05)	Österreich	Korn
AMA 254	<i>A. hypochondriacus</i>	Mittlerer Typ OR hell (Z21-24/07)	Österreich	Korn
AMA 255	<i>A. cruentus</i>	Amar (Z/01)	Österreich	Korn

Linie	Art	Bezeichnung	Herkunft <sup>1</sup>	Nutzung <sup>1</sup>
AMA 256	<i>A. hypochondriacus</i>	Neuer Typ (D 072/07)	Österreich	Korn
AMA 257	<i>A. hypochondriacus</i>	Mittlerer Typ Rot (Z12/06)	Österreich	Korn
AMA 258	<i>Amarantus</i> sp.	Energietyp (Z02/07)	Österreich	Korn
AMA 259	<i>A. hypochondriacus</i>	Mittlerer Typ OR dkl. (Z21-24/07)	Österreich	Korn
AMA 260	<i>A. hypochondriacus</i>	Anderer Typ (AT2006MA)	Österreich	Korn
AMA 261	<i>Amarantus</i> sp.	Riesenamarant		
AMA 008	<i>A. caudatus</i>			
AMA 009	<i>A. caudatus</i>			
AMA 010	<i>A. caudatus</i>			
AMA 011	<i>A. caudatus</i>			
AMA 012	<i>A. hypochondriacus</i>		China, Tunghua, LW-Versuchsstation	
AMA 015	<i>A. tricolor</i>		China, Harbin,	
AMA 016	<i>A. tricolor</i>			
AMA 017	<i>A. tricolor</i>		China, Tsingtao, Gemüse-LPG Tungwu	
AMA 018	<i>A. tricolor</i>			
AMA 020	<i>A. hypochondriacus</i>	Roter Dom		
AMA 023	<i>A. tricolor</i>			
AMA 025	<i>A. tricolor</i>		China, Kantonjklöj, Bot. Garten	
AMA 026	<i>A. tricolor</i>	Lal Sag		
AMA 031	<i>A. powellii</i>			
AMA 032	<i>A. hypochondriacus</i>	Pigmy Torch		
AMA 033	<i>A. hypochondriacus</i>			
AMA 035	<i>A. hybridus</i>			
AMA 036	<i>A. hybridus</i>			
AMA 037	<i>A. hybridus</i>			
AMA 039	<i>A. hypochondriacus</i>	Sanguineus		
AMA 043	<i>A. caudatus</i>			
AMA 044	<i>A. cruentus</i>			
AMA 045	<i>A. hypochondriacus</i>			
AMA 048	<i>A. hybridus</i>			

Linie	Art	Bezeichnung	Herkunft <sup>1</sup>	Nutzung <sup>1</sup>
AMA 050	<i>A. hypochondriacus</i>			
AMA 051	<i>A. hypochondriacus</i>			
AMA 052	<i>A. hypochondriacus</i>			
AMA 055	<i>A. hypochondriacus</i>			
AMA 057	<i>A. powellii</i>		Priesitz, Krs. Wittenberg	
AMA 061	<i>A. hypochondriacus</i>			
AMA 064	<i>A. powellii</i>			
AMA 067	<i>A. caudatus</i>			
AMA 069	<i>A. powellii</i>			
AMA 072	<i>A. hybridus</i>			
AMA 073	<i>A. hybridus</i>			
AMA 074	<i>A. powellii</i>			
AMA 078	<i>A. hybridus</i>			
AMA 088	<i>A. hybridus</i>			
AMA 090	<i>A. hypochondriacus</i>		China, Provinz Djilin	
AMA 091	<i>A. hypochondriacus</i>		Georgien	
AMA 094	<i>A. cruentus</i>		Südafrika	
AMA 104	<i>A. hypochondriacus</i>	Dzidzilak'a	Süd-Georgien	
AMA 108	<i>A. hypochondriacus</i>		China, Provinz Yünnan	
AMA 110	<i>A. hypochondriacus</i>			
AMA 113	<i>A. caudatus</i>			
AMA 114	<i>A. hypochondriacus</i>		Nordkorea, Hyangsan	
AMA 116	<i>A. hypochondriacus</i>		Georgien, Mcheta	
AMA 121	<i>A. hybridus</i>	Quintoil		
AMA 128	<i>A. tricolor</i>	Merah Amaranth		
AMA 130	<i>A. cruentus</i>	Reselected RL 58		
AMA 133	<i>A. cruentus</i>			
AMA 134	<i>A. cruentus</i>			
AMA 135	<i>A. cruentus</i>			
AMA 136	<i>A. cruentus</i>			
AMA 137	<i>A. cruentus</i>			
AMA 141	<i>A. hybridus</i>			
AMA 142	<i>A. hypochondriacus</i>			

Linie	Art	Bezeichnung	Herkunft <sup>1</sup>	Nutzung <sup>1</sup>
AMA 143	<i>A. hypochondriacus</i>			
AMA 144	<i>A. hypochondriacus</i>			
AMA 145	<i>A. hypochondriacus</i>			
AMA 146	<i>A. hybridus</i>			
AMA 147	<i>A. hybridus</i>			
AMA 148	<i>A. hybridus</i>	Deswia		
AMA 149	<i>A. tricolor</i>	Puteh Amaranth		
AMA 152	<i>A. tricolor</i>	Chinese spinazie		
AMA 153	<i>A. cruentus</i>	Alegria		
AMA 154	<i>A. cruentus</i>	San Martin		
AMA 162	<i>A. cruentus</i>	Hopi Red Dye		
AMA 166	<i>A. hybridus</i>			
AMA 170	<i>A. powellii</i>			
AMA 176	<i>A. hybridus</i>		China, Provinz Sichuan	
AMA 177	<i>A. hybridus</i>		Georgien, Provinz Svanetien	
AMA 180	<i>A. hypochondriacus</i>	B 111		
AMA 190	<i>Amarantus</i> sp.	Dhanta Sag	Indien	
AMA 191	<i>Amarantus</i> sp.	Green amaranth	Philippinen	
AMA 192	<i>Amarantus</i> sp.	Kiwicha	Peru	
AMA 193	<i>A. gangeticus</i>	Färberamaranth „Hop Red Dye“	Nordamerika	
AMA 194	<i>A. hypochondriacus</i>			
AMA 195	<i>A. caudatus</i>	CAC 48 A	Peru	
AMA 196	<i>Amarantus</i> sp.		Haiti	
AMA 197	<i>A. cruentus</i>	R 124	Peru	
AMA 198	<i>A. tricolor</i>	White Leaf	Frankreich, Reaumur Bot. Garten	
AMA 199	<i>A. hybridus</i>		Schweiz, Zürich Bot. Garten	
SON 1	<i>A. giganteus</i>		Universität Hohenheim	
SON 2			Universität Hohenheim	
SON 3			Universität Hohenheim	
SEL 1			Aus AMA 136	
SEL 2			Aus AMA 220	

Linie	Art	Bezeichnung	Herkunft <sup>1</sup>	Nutzung <sup>1</sup>
SEL 3			Aus AMA 250	
SEL 4			Aus AMA 245	
SEL 5			Aus AMA	
SEL 6			Aus AMA 213	
SEL 7			Aus AMA 213	
SEL 8			Aus AMA 114	
SEL 9			Aus AMA 136	
SEL 10			Aus AMA 144	
SEL 11			Aus AMA 182	
SEL 12			Aus AMA 204	
SEL 13			Aus AMA 208	
SEL 14			Aus AMA 224	
SEL 15			Aus AMA 250	
SEL 16			Aus AMA 258	

1) Angaben zur Herkunft und Nutzungsrichtung soweit vorhanden

**Tabelle 30:** Bonitur- und Ertragsergebnisse Zuchtgarten 2015, für das Folgejahr selektierte Amarantlinien

Linie	BBCH	Höhe	TS-Gehalt	Lager	Homogenität Linie	Homogenität Herkunft
		in cm	in %			
AMA 050	69	130	17,9	3	9	9
AMA 051	69	220	19,0	1	9	9
AMA 055	69	190	19,6	3	9	9
AMA 072	69	150	22,1	3	9	9
AMA 090	57	210	20,3	1	9	9
AMA 094	51	220	17,8	1	9	9
AMA 108	69	200	18,4	1	9	9
AMA 110	69	170	20,4	1	9	9
AMA 114	69	190	19,3	1	9	9
AMA 130	69	160	21,9	3	9	9

Linie	BBCH	Höhe	TS-Gehalt	Lager	Homogenität Linie	Homogenität Herkunft
		in cm	in %			
AMA 134	73	160	23,1	3	9	9
AMA 136	73	150	21,0	1	9	9
AMA 137	73	160	22,6	1	9	9
AMA 141	73	170	17,8	1	9	9
AMA 142	73	190	21,3	1	9	9
AMA 145	69	120	24,6	1	9	9
AMA 148	69	180	23,9	3	9	9
AMA 153	73	200	22,5	3	9	9
AMA 180	73	220	23,6	3	9	9
AMA 181 F <sub>1</sub>	73	230	22,6	3	9	9
AMA 182	69	220	21,7	1	9	9
AMA 184 F <sub>1</sub>	73	150	26,3	1	9	9
AMA 190	69	220	21,2	3	7	7
AMA 192	47	270	16,6	1	9	9
AMA 195	73	170	22,8	1	9	9
AMA 197	73	170	24,4	1	9	9
AMA 202	69	190	22,5	1	9	9
AMA 205	73	170	24,7	1	9	9
AMA 206	73	160	24,1	1	9	9
AMA 208	73	220	24,4	1	9	9
AMA 210	73	190	20,9	3	9	9
AMA 214	75	180	26,0	1	9	9
AMA 218	69	230	26,1	3	9	9
AMA 219	73	170	23,4	1	9	9
AMA 220	69	210	22,1	1	7	7
AMA 222	69	220	21,7	3	7	7
AMA 223	69	240	19,9	3	9	9
AMA 224	69	240	21,1	3	9	9
AMA 229	73	250	26,5	3	9	9
AMA 230	73	230	26,0	3	7	7

Linie	BBCH	Höhe	TS-Gehalt	Lager	Homogenität Linie	Homogenität Herkunft
		in cm	in %			
AMA 243	73	150	24,0	1	9	9
AMA 245	73	150	24,7	1	9	9
AMA 246	73	150	24,2	1	9	9
AMA 247	73	180	27,6	1	9	9
AMA 253	69	200	23,2	3	5	7
AMA 255	73	150	23,6	1	9	9
AMA 257	73	210	26,2	3	9	9
AMA 258	69	200	22,0	3	5	7
AMA 050	69	130	17,9	3	9	9
AMA 051	69	220	19,0	1	9	9
AMA 055	69	190	19,6	3	9	9
AMA 072	69	150	22,1	3	9	9

Tabelle 31: Boniturdaten Zuchtgarten 2015, alle Amarantlinien

Linie	BBCH	Höhe	Lager	Homogenität	Rispenform	Rispenfarbe	Rispenanteil	Bemerkungen
		in cm					in %	
AMA 008	69	100	1	8	locker	Gelb	25	
AMA 009	69	90	1	8	locker	Gelb	25	
AMA 010	69	100	1	8	locker	Rosa	33	
AMA 011	69	90	1	6	locker	Rosa	40	
AMA 012	65	180	7	9	intermediär	Grün	25	
AMA 018	69	80	1	7	locker	Grün	25	
AMA 020	65	200	5	8	intermediär	Dunkelrot	40	
AMA 025	65	100	1	7	locker	zweifarbzig	33	
AMA 026	61	90	1	6	locker	Dunkelrot	25	
AMA 031	65	150	1	9	kompakt	Grün	10	ähnlich Unkraut
AMA 032	65	170	1	9	intermediär	Dunkelrot	25	sehr schlank
AMA 033	69	180	1	9	intermediär	Gelb	33	schmaler Aufbau
AMA 033 F1	69	180	1	9	intermediär	Gelb	33	
AMA 033 S1	69	180	1	9	intermediär	Gelb	33	
AMA 035	69	100	1	6	locker	Grün	25	
AMA 037	69	110	1	7	locker	Grün	20	ähnlich Unkraut
AMA 039	69	90	1	8	intermediär	Dunkelrot	33	schlank
AMA 043	65	80	1	7	locker	Rosa	40	
AMA 044	69	130	1	9	locker	Rot	25	schlank
AMA 044 F1	69	130	1	9	locker	Rot	25	schlank
AMA 044 S1	69	130	1	9	locker	Rot	25	schlank
AMA 045	69	180	3	7	kompakt	Pink	20	sehr schlank
AMA 048	69	120	7	9	locker	zweifarbzig	20	ähnlich Unkraut
AMA 050	69	130	3	9	intermediär	Grün	33	schlank
AMA 051	69	220	1	9	intermediär	Grün	25	schlank, stabil
AMA 052	69	200	1	9	intermediär	Grün	40	
AMA 055	69	190	3	9	intermediär	Grün	40	
AMA 055 S1	69	200	3	9	intermediär	Grün	40	
AMA 057	69	80	1	9	kompakt	Grün	25	

Linie	BBCH	Höhe	Lager	Homogenität	Rispenform	Rispenfarbe	Rispenanteil	Bemerkungen
		in cm					in %	
AMA 061	69	120	1	9	locker	Rosa	25	schlank
AMA 064 (2)	69	170	3	9	kompakt	Grün	10	ähnlich Unkraut
AMA 067	69	90	3	9	locker	Rosa	33	
AMA 069	69	170	3	9	kompakt	Grün	20	ähnlich Unkraut
AMA 072	69	150	3	9	locker	Braun	20	sehr stark verzweigt
AMA 073	69	100	1	9	kompakt	Grün	40	
AMA 074	69	130	1	9	locker	Grün	20	ähnlich Unkraut
AMA 078	69	90	1	9	locker	Grün	33	
AMA 090	57	210	1	9	intermediär	Rot	25	schlank, stabil
AMA 090 S1	57	200	1	9	intermediär	Rot	25	schlank, stabil
AMA 091	69	70	1	9	intermediär	Dunkelrot	40	
AMA 094	51	220	1	9	intermediär	Grün	40	kräftige Stiele
AMA 108	69	200	1	9	locker	Dunkelrot	25	kräftige Stiele
AMA 108 F1	69	200	1	9	locker	Dunkelrot	25	kräftige Stiele
AMA 108 S1	69	210	1	9	locker	Dunkelrot	25	kräftige Stiele
AMA 110	69	170	1	9	locker	Dunkelrot	33	eher schlank
AMA 110 F1	69	170	1	9	locker	Dunkelrot	33	eher schlank
AMA 110 S1	69	170	1	9	locker	Dunkelrot	33	eher schlank
AMA 113	69	90	1	9	locker	Rosa	24	
AMA 114	69	190	1	9	intermediär	Grün	33	aufrechter Wuchs
AMA 114 S1	69	190	1	9	intermediär	Grün	33	aufrechter Wuchs
AMA 116	77	80	1	9	kompakt	Rot	25	
AMA 121	69	140	7	9	intermediär	Grün	10	ähnlich Unkraut
AMA 128	75	90	1	7	intermediär	Grün	40	
AMA 130	69	160	3	9	intermediär	Dunkelrot	25	dünner Stiel
AMA 130 F1	69	160	3	9	intermediär	Dunkelrot	25	dünner Stiel
AMA 130 S1	75	160	3	9	intermediär	Dunkelrot	25	dünner Stiel
AMA 133	59	170	1	9	intermediär	Grün	25	schlank
AMA 134	73	160	3	9	intermediär	zweifarbige	40	hoher Rispenanteil
AMA 134 F1	73	160	3	9	intermediär	zweifarbige	40	hoher Rispenanteil

Linie	BBCH	Höhe	Lager	Homogenität	Rispenform	Rispenfarbe	Rispenanteil	Bemerkungen
		in cm					in %	
AMA 134 S1	73	160	3	9	intermediär	zweifarbzig	40	hoher Rispenanteil
AMA 135 F1	73	130	1	9	intermediär	Rot	25	schlank
AMA 135 S1	73	130	1	9	intermediär	Rot	25	schlank
AMA 136	73	150	1	9	intermediär	Dunkelrot	50	hoher Rispenanteil
AMA 136 F1	73	150	1	9	intermediär	Dunkelrot	50	hoher Rispenanteil
AMA 137	73	160	1	9	intermediär	Gelb	33	stabil
AMA 137 F1	73	160	1	9	intermediär	Gelb	33	stabil
AMA 137 S1	73	160	1	9	intermediär	Gelb	33	stabil
AMA 141	73	170	1	9	intermediär	Rot	25	schlank
AMA 141 F1	73	170	1	9	intermediär	Rot	25	schlank
AMA 141 S1	73	170	1	9	intermediär	Rot	25	schlank
AMA 142	73	190	1	9	locker	Rot	33	schlank
AMA 143	69	180	1	9	intermediär	Rot	25	sehr schlank
AMA 143 F1	69	180	1	9	intermediär	Rot	25	sehr schlank
AMA 143 S1	69	180	1	9	intermediär	Rot	25	sehr schlank
AMA 144	75	120	1	9	kompakt	zweifarbzig	40	kompakte Rispe
AMA 144 F1	75	120	1	9	kompakt	zweifarbzig	40	kompakte Rispe
AMA 144 S1	75	120	1	9	kompakt	zweifarbzig	40	kompakte Rispe
AMA 145	69	120	1	9	intermediär	Grün	40	kompakte Rispe
AMA 145 F1	69	120	1	9	intermediär	Grün	40	kompakte Rispe
AMA 145 S1	69	120	1	9	intermediär	Grün	40	kompakte Rispe
AMA 146	57	150	1	9	kompakt	grün	15	hoher Blattanteil
AMA 147	69	160	1	9	kompakt	Grün	25	
AMA 148	69	180	3	9	locker	zweifarbzig	25	schlank, kopflastig
AMA 148 F1	69	180	3	9	locker	zweifarbzig	25	schlank, kopflastig
AMA 148 S1	69	180	3	9	locker	zweifarbzig	25	schlank, kopflastig
AMA 149	69	100	1	9	locker	Grün	33	
AMA 153	73	200	3	9	locker	zweifarbzig	33	schlank, kopflastig
AMA 153 F1	73	200	3	9	locker	zweifarbzig	33	schlank, kopflastig
AMA 153 S1	73	200	3	9	locker	zweifarbzig	33	schlank, kopflastig

Linie	BBCH	Höhe	Lager	Homogenität	Rispenform	Rispenfarbe	Rispenanteil	Bemerkungen
		in cm					in %	
AMA 154	69	160	3	5	kompakt	zweifarbige	33	schlank
AMA 154 F1	69	160	3	5	kompakt	zweifarbige	33	schlank
AMA 154 S1	69	160	3	5	kompakt	zweifarbige	33	schlank
AMA 162	69	200	5	9	intermediär	Dunkelrot	25	kopflastig
AMA 162 F1	69	200	5	9	intermediär	Dunkelrot	25	kopflastig
AMA 162 S1	69	200	5	9	intermediär	Dunkelrot	25	kopflastig
AMA 166	69	160	5	9	kompakt	bunt	33	instabil
AMA 170	75	90	1	9	kompakt	Grün	40	
AMA 176	69	200	3	9	locker	Grün	33	sehr schlank
AMA 177	73	100	5	9	intermediär	Grün	10	ähnlich Unkraut
AMA 180	73	220	3	9	kompakt	Dunkelrot	40	hoher Rispenanteil
AMA 180 F1	73	220	3	9	kompakt	Dunkelrot	40	hoher Rispenanteil
AMA 180 S1	73	220	3	9	kompakt	Dunkelrot	40	hoher Rispenanteil
AMA 181 F1	73	230	3	9	intermediär	Rosa	25	sehr schlank
AMA 181 S1	73	230	3	9	intermediär	Rosa	25	sehr schlank
AMA 182	69	220	1	9	intermediär	Orange	33	stabil
AMA 182 F1	69	220	1	9	intermediär	Orange	33	stabil
AMA 182 S1	69	220	1	9	intermediär	Orange	33	stabil
AMA 183 F1	69	170	3	7	intermediär	Rosa	25	
AMA 183 S1	69	170	3	7	intermediär	Rosa	25	
AMA 184 F1	73	150	1	9	kompakt	Grün	40	hoher Rispenanteil
AMA 184 S1	73	150	1	9	kompakt	Grün	40	hoher Rispenanteil
AMA 185 F1	69	170	7	9	locker	Rot	33	
AMA 185 S1	69	170	7	9	locker	Rot	33	
AMA 186 F1	73	110	1	9	locker	zweifarbige	25	
AMA 186 S1	73	110	1	9	locker	zweifarbige	25	
AMA 190	69	220	3	7	locker	Rosa	25	dünner Stiel
AMA 190 F1	69	220	3	7	locker	Rosa	25	dünner Stiel
AMA 190 S1	69	220	3	7	locker	Rosa	25	dünner Stiel
AMA 191								

Linie	BBCH	Höhe	Lager	Homogenität	Rispenform	Rispenfarbe	Rispenanteil	Bemerkungen
		in cm					in %	
AMA 192	47	270	1	9	kompakt	Grün	10	dicker Stiel
AMA 193	69	180	5	5	locker	Dunkelrot	40	hoher Rispenanteil
AMA 193 F1	69	180	5	5	locker	Dunkelrot	40	hoher Rispenanteil
AMA 193 S1	69	180	5	5	locker	Dunkelrot	40	hoher Rispenanteil
AMA 194	75	100	1	9	intermediär	Grün	10	
AMA 195	73	170	1	9	kompakt	gelblich	25	schlank
AMA 195 F1	73	170	1	9	kompakt	gelblich	25	schlank
AMA 195 S1	73	170	1	9	kompakt	gelblich	25	schlank
AMA 196	69	200	1	9	locker	Dunkelrot	33	schlank
AMA 196 F1	69	200	1	9	locker	Dunkelrot	33	schlank
AMA 196 S1	69	200	1	9	locker	Dunkelrot	33	schlank
AMA 197	73	170	1	9	kompakt	gelblich	40	hoher Rispenanteil
AMA 197 F1	73	170	1	9	kompakt	gelblich	40	hoher Rispenanteil
AMA 197 S1	73	170	1	9	kompakt	gelblich	40	hoher Rispenanteil
AMA 198	75	90	1	9	locker	Grün	25	
AMA 199	57	150	1	9	intermediär	Grün	20	ähnlich Unkraut
AMA 201	69	220	3	5	intermediär	Grün	33	
AMA 201 F1	69	220	3	5	intermediär	Grün	33	
AMA 202	69	190	1	9	intermediär	Rot	33	schlank, stabil
AMA 202 F1	69	190	1	9	intermediär	Rot	33	schlank, stabil
AMA 202 S1	69	190	1	9	intermediär	Rot	33	schlank, stabil
AMA 203	73	170	3	7	kompakt	zweifarbige	33	
AMA 203 F1	73	170	3	7	kompakt	zweifarbige	33	
AMA 203 S1	73	170	3	7	kompakt	zweifarbige	33	
AMA 204	73	230	3	9	locker	Dunkelrot	25	sehr schlank
AMA 204 F1	73	230	3	9	locker	Dunkelrot	25	sehr schlank
AMA 204 S1	73	230	3	9	locker	Dunkelrot	25	sehr schlank
AMA 205	73	170	1	9	kompakt	Grün	40	hoher Rispenanteil
AMA 205 F1	73	170	1	9	kompakt	Grün	40	hoher Rispenanteil
AMA 205 S1	73	170	1	9	kompakt	Grün	40	hoher Rispenanteil

Linie	BBCH	Höhe	Lager	Homogenität	Rispenform	Rispenfarbe	Rispenanteil	Bemerkungen
		in cm					in %	
AMA 206	73	160	1	9	kompakt	zweifarbige	40	hoher Rispenanteil
AMA 206 F1	73	160	1	9	kompakt	zweifarbige	40	hoher Rispenanteil
AMA 206 S1	73	160	1	9	kompakt	zweifarbige	40	hoher Rispenanteil
AMA 207	69	190	3	5	locker	Rot	25	
AMA 207 F1	69	190	3	5	locker	Rot	25	
AMA 207 S1	69	190	3	5	locker	Rot	25	
AMA 208	73	220	1	9	intermediär	Gelb	40	hoher Rispenanteil
AMA 208 S1	73	220	1	9	intermediär	Gelb	40	hoher Rispenanteil
AMA 209	69	160	5	5	intermediär	Purpur	33	
AMA 209 F1	69	160	5	5	intermediär	Purpur	33	
AMA 209 S1	69	160	5	5	intermediär	Purpur	33	
AMA 210	73	190	3	9	kompakt	Grün	25	
AMA 210 F1	73	190	3	9	kompakt	Grün	25	
AMA 210 S1	73	190	3	9	kompakt	Grün	25	
AMA 211	69	240	7	7	locker	zweifarbige	25	sehr schlank
AMA 211 F1	69	240	7	7	locker	zweifarbige	25	sehr schlank
AMA 211 S1	69	240	7	7	locker	zweifarbige	25	sehr schlank
AMA 212	69	200	3	9	intermediär	Dunkelrot	25	dünnere Stiel
AMA 212 F1	69	200	3	9	intermediär	Dunkelrot	25	dünnere Stiel
AMA 213	69	200	5	7	intermediär	Dunkelrot	33	
AMA 213 F1	69	200	5	7	intermediär	Dunkelrot	33	
AMA 213 S1								
AMA 214	75	180	1	9	intermediär	Rot	25	
AMA 214 F1	75	180	1	9	intermediär	Rot	25	
AMA 214 S1	75	180	1	9	intermediär	Rot	25	
AMA 215	73	160	3	7	locker	Rosa	33	schlank
AMA 215 F1	73	160	3	7	locker	Rosa	33	schlank
AMA 215 S1	73	160	3	7	locker	Rosa	33	schlank
AMA 216	73	170	3	9	locker	Rot	25	
AMA 216 F1	73	170	3	9	locker	Rot	25	

Linie	BBCH	Höhe	Lager	Homogenität	Rispenform	Rispenfarbe	Rispenanteil	Bemerkungen
		in cm					in %	
AMA 217	73	220	3	9	intermediär	Rot	25	sehr schlank
AMA 217 F1	73	220	3	9	intermediär	Rot	25	sehr schlank
AMA 218	69	230	3	9	locker	Rot	25	sehr schlank
AMA 218 F1	69	230	3	9	locker	Rot	25	sehr schlank
AMA 218 S1	69	230	3	9	locker	Rot	25	sehr schlank
AMA 219	73	170	1	9	kompakt	zweifarbige	40	hoher Rispenanteil
AMA 219 F1	73	170	1	9	kompakt	zweifarbige	40	hoher Rispenanteil
AMA 219 S1	73	170	1	9	kompakt	zweifarbige	40	hoher Rispenanteil
AMA 220	69	210	1	7	intermediär	Purpur	25	
AMA 220 F1	69	210	1	7	intermediär	Purpur	25	
AMA 221	69	180	3	5	intermediär	zweifarbige	33	
AMA 221 F1	69	180	3	5	intermediär	zweifarbige	33	
AMA 221 S1								
AMA 222	69	220	3	7	locker	Dunkelrot	25	
AMA 222 F1	69	220	3	7	locker	Dunkelrot	25	
AMA 222 S1	69	220	3	7	locker	Dunkelrot	25	
AMA 223	69	240	3	9	locker	Dunkelrot	33	sehr schlank
AMA 223 F1	69	240	3	9	locker	Dunkelrot	33	sehr schlank
AMA 224	69	240	3	9	locker	Rot	25	sehr schlank
AMA 224 F1	69	240	3	9	locker	Rot	25	sehr schlank
AMA 224 S1	69	240	3	9	locker	Rot	25	sehr schlank
AMA 225	69	230	3	5	intermediär	Gelb	25	sehr schlank
AMA 225 F1	69	230	3	5	intermediär	Gelb	25	sehr schlank
AMA 225 S1	69	230	3	5	intermediär	Gelb	25	sehr schlank
AMA 226	69	230	3	7	locker	Rosa	33	sehr schlank
AMA 226 F1	69	230	3	7	locker	Rosa	33	sehr schlank
AMA 226 S1	69	250	3	5	locker	Rosa	33	sehr schlank
AMA 227	73	130	3	9	locker	Dunkelrot	25	schlank
AMA 227 F1	73	130	3	9	locker	Dunkelrot	25	schlank
AMA 227 S1	73	130	3	9	locker	Dunkelrot	25	schlank

Linie	BBCH	Höhe	Lager	Homogenität	Rispenform	Rispenfarbe	Rispenanteil	Bemerkungen
		in cm					in %	
AMA 228	73	210	3	9	locker	Dunkelrot	33	sehr schlank
AMA 228 F1	73	210	3	9	locker	Dunkelrot	33	sehr schlank
AMA 228 S1	73	210	3	9	locker	Dunkelrot	33	sehr schlank
AMA 229	73	250	3	7	intermediär	Grün	33	sehr schlank
AMA 229 F1	73	250	3	7	intermediär	Grün	33	sehr schlank
AMA 229 S1	73	250	3	7	intermediär	Grün	33	sehr schlank
AMA 230	73	230	3	7	intermediär	Dunkelrot	33	sehr schlank
AMA 230 F1	73	230	3	7	intermediär	Dunkelrot	33	sehr schlank
AMA 230 S1	73	230	3	7	intermediär	Dunkelrot	33	sehr schlank
AMA 231	73	220	3	5	locker	Dunkelrot	25	sehr schlank
AMA 231 X	73	220	3	5	locker	Dunkelrot	25	sehr schlank
AMA 231 S1	73	220	3	5	locker	Dunkelrot	25	sehr schlank
AMA 232	73	240	3	7	intermediär	Rosa	33	
AMA 232 F1								
AMA 232 F1 X	73	240	3	7	intermediär	Rosa	33	
AMA 232 S1	73	240	3	7	intermediär	Rosa	33	
AMA 233	73	180	3	7	intermediär	Dunkelrot	33	
AMA 233 F1								
AMA 233 S1	73	180	3	7	intermediär	Dunkelrot	33	
AMA 234	69	170	3	5	locker	Dunkelrot	25	
AMA 234 F1	69	170	3	5	locker	Dunkelrot	25	
AMA 235	69	200	3	7	intermediär	Grün	33	
AMA 235F1 X								
AMA 235F1	69	200	3	5	intermediär	Grün	33	
AMA 235 S1	69	200	3	5	intermediär	Grün	33	
AMA 236	69	230	3	5	locker	Grün	25	schlank
AMA 236 F1	69	230	3	5	locker	Grün	25	schlank
AMA 236 S1	69	230	3	5	locker	Grün	25	schlank
AMA 237	73	200	3	7	kompakt	Rosa	33	
AMA 237 F1	73	200	3	7	kompakt	Rosa	33	

Linie	BBCH	Höhe	Lager	Homogenität	Rispenform	Rispenfarbe	Rispenanteil	Bemerkungen
		in cm					in %	
AMA 237 S1	73	200	3	7	kompakt	Rosa	33	
AMA 238	73	160	3	5	locker	Rosa	25	
AMA 238 F1	73	160	3	5	locker	Rosa	25	
AMA 238 S1	73	160	3	5	locker	Rosa	25	
AMA 239	69	170	3	7	locker	Rosa	25	
AMA 239 F1	69	170	3	7	locker	Rosa	25	
AMA 239 S1	69	170	3	7	locker	Rosa	25	
AMA 240	73	180	3	9	locker	Dunkelrot	25	sehr schlank
AMA 240 F1	73	180	3	9	locker	Dunkelrot	25	sehr schlank
AMA 240 S1	73	180	3	9	locker	Dunkelrot	25	sehr schlank
AMA 241	69	180	3	5	intermediär	Dunkelrot	33	sehr schlank
AMA 241 F1	69	170	3	5	intermediär	Dunkelrot	33	sehr schlank
AMA 241 S1	69	180	3	5	intermediär	Dunkelrot	33	sehr schlank
AMA 242	69	180	3	9	kompakt	Rot	33	sehr schlank
AMA 242 F1	69	180	3	9	kompakt	Rot	33	sehr schlank
AMA 242 S1	69	180	3	9	kompakt	Rot	33	sehr schlank
AMA 243	73	150	1	9	locker	Rot	40	hoher Rispenanteil
AMA 243 F1	73	150	1	9	locker	Rot	40	hoher Rispenanteil
AMA 243 S1	73	150	1	9	locker	Rot	40	hoher Rispenanteil
AMA 244	73	150	1	9	kompakt	Grün	40	hoher Rispenanteil
AMA 244 F1	73	150	1	9	kompakt	Grün	40	hoher Rispenanteil
AMA 244 S1	73	150	1	9	kompakt	Grün	40	hoher Rispenanteil
AMA 245	73	150	1	9	kompakt	Rosa	33	
AMA 245 F1	73	150	1	9	kompakt	Rosa	33	
AMA 245 F2	73	150	1	5	kompakt	versch.	33	
AMA 246	73	150	1	9	kompakt	Gelb	40	hoher Rispenanteil
AMA 246 F1	73	150	1	9	kompakt	Gelb	40	hoher Rispenanteil
AMA 246 S1	73	150	1	9	kompakt	Gelb	40	hoher Rispenanteil
AMA 247	73	180	1	9	intermediär	Purpur	40	hoher Rispenanteil
AMA 247 F1	73	180	1	9	intermediär	Purpur	40	hoher Rispenanteil

Linie	BBCH	Höhe	Lager	Homogenität	Rispenform	Rispenfarbe	Rispenanteil	Bemerkungen
		in cm					in %	
AMA 247 S1	73	180	1	9	intermediär	Purpur	40	hoher Rispenanteil
AMA 248	69	220	3	5	intermediär	versch.	33	
AMA 248 F1	69	180	3	5	intermediär	versch.	33	
AMA 248 S1	69	220	3	5	intermediär	versch.	33	
AMA 248 F2	69	250	3	5	intermediär	versch.	33	
AMA 249	83	120	1	9	kompakt	Grün	33	
AMA 249 F1	83	120	1	9	kompakt	Grün	33	
AMA 249 S1	83	120	1	9	kompakt	Grün	33	
AMA 250	83	90	1	5	kompakt	zweifarbige	45	hoher Rispenanteil
AMA 251	69	150	1	9	intermediär	zweifarbige	33	
AMA 251 F1	69	150	1	9	intermediär	zweifarbige	33	
AMA 251 S1	69	150	1	9	intermediär	zweifarbige	33	
AMA 252	73	90	1	7	intermediär	Rosa	33	
AMA 252 F1 X								
AMA 252 F1	73	90	1	7	intermediär	Rosa	33	
AMA 252 S1	73	90	1	7	intermediär	Rosa	33	
AMA 253	69	200	3	5	intermediär	Pink	33	
AMA 253 F1	69	240	3	5	intermediär	Pink	33	
AMA 253 S1	69	220	3	5	intermediär	Pink	33	
AMA 254	69	160	3	5	kompakt	Orange	25	schlank
AMA 254 F1	69	200	3	5	kompakt	Orange	25	schlank
AMA 254 S1	69	180	3	5	kompakt	Orange	25	schlank
AMA 255	73	150	1	9	kompakt	Grün	33	sehr schlank
AMA 255 F1	73	150	1	9	kompakt	Grün	33	sehr schlank
AMA 255 S1	73	150	1	9	kompakt	Grün	33	sehr schlank
AMA 256	69	180	3	7	kompakt	Grün	33	sehr schlank
AMA 256 F1	69	180	3	7	kompakt	Grün	33	sehr schlank
AMA 256 S1	69	180	3	7	kompakt	Grün	33	sehr schlank
AMA 257	73	210	3	9	intermediär	Dunkelrot	33	sehr schlank
AMA 257 F1	73	210	3	9	intermediär	Dunkelrot	33	sehr schlank

Linie	BBCH	Höhe	Lager	Homogenität	Rispenform	Rispenfarbe	Rispenanteil	Bemerkungen
		in cm					in %	
AMA 257 S1	73	210	3	9	intermediär	Dunkelrot	33	sehr schlank
AMA 258	69	200	3	5	intermediär	Dunkelrot	25	sehr schlank
AMA 258 F1	69	200	3	5	intermediär	Dunkelrot	25	sehr schlank
AMA 258 S1	69	200	3	7	intermediär	Dunkelrot	25	sehr schlank
AMA 259	73	200	3	7	intermediär	Dunkelrot	33	sehr schlank
AMA 259 F1	73	200	3	7	intermediär	Dunkelrot	33	sehr schlank
AMA 260	83	110	1	9	intermediär	Grün	25	sehr schlank
AMA 260 F1	83	110	1	9	intermediär	Grün	25	sehr schlank
AMA 260 S1	83	110	1	9	intermediär	Grün	25	sehr schlank

Tabelle 32: Boniturergebnisse der untersuchten Amaranthlinien im Zuchtgarten 2016 (Anlagen 1 und 2)

Linie	Zuchtgarten 1			Zuchtgarten 2			Bemerkungen	
	Höhe in cm	BBCH	Lager	Höhe in cm	BBCH	Lager	schlank	inhomogen
AMA 033	220	65	9	180	53	7		
AMA 051	69	220	1	190	47	9		
AMA 055	69	130	3	180	45	9		
AMA 090	69	220	1	240	59	3		
AMA 094	73	150	1	250	55	5		X
AMA 108	240	65	9	220	60	5	X	
AMA 110	180	65	7	220	61	5	X	
AMA 114	69	220	3	220	60	3		
AMA 134	69	190	3	210	65	5		
AMA 135 F <sub>1</sub>	69	150	3	170	65	1		
AMA 136 spät	47	270	1	220	60	1		X
AMA 137	180	69	3	160	71	1		
AMA 141	57	210	1	210	60	5		
AMA 142	73	170	1	200	65	1		
AMA 144 A	230	65	5	120	65	1		X
AMA 153	270	65	9	190	65	3		
AMA 180	73	170	1	180	60	3		
AMA 181 F <sub>1</sub>	51	220	1	170	65	1		
AMA 182 A	69	200	1	180	59	1		
AMA 193	69	190	1	200	65	1		X
AMA 195 A	170	65	9	200	47	3		
AMA 197 F <sub>1</sub> A	260	60	9	180	65	3	X	X
AMA 201	230	65	9	250	60	9		X
AMA 202 A	69	170	1	230	65	9		
AMA 204 A	69	190	1	250	55	9	X	X
AMA 205	240	65	9	180	65	5		X
AMA 206	280	60	9	190	65	3	X	
AMA 208	250	65	5	240	60	9	X	X
AMA 210	180	65	7	210	65	9		
AMA 214	69	160	3	180	65	3		X
AMA 216	73	160	3	210	60	9		

Linie	Zuchtgarten 1			Zuchtgarten 2			Bemerkungen	
	Höhe in cm	BBCH	Lager	Höhe in cm	BBCH	Lager	schlank	inhomogen
AMA 218	140	65	3	220	60	9		X
AMA 219	240	69	3	220	71	9	X	
AMA 222	240	65	7	250	60	3	X	X
AMA 223	120	65	3	250	60	3	X	
AMA 224	73	150	1	250	60	3	X	
AMA 229	73	160	1	250	55	5	X	X
AMA 230	200	65	7	250	65	9	X	
AMA 233	220	65	9	190	65	9	X	
AMA 243	250	65	9	200	65	9		
AMA 245	170	65	3	200	65	5		
AMA 246	73	170	1	220	65	5		
AMA 247	73	190	1	250	60	9		
AMA 250	180	69	3	230	65	9		
AMA 253	260	65	9	230	60	9	X	
AMA 255	180	65	7	210	60	9		
AMA 257	190	65	5	220	60	9	X	
AMA 258	69	120	1	240	60	9	X	
AMA 259	69	180	3	220	60	9	X	
AMA 260	220	69	9	160	60	9		X
AMA SEL 1	200	71	9	180	65	3	X	
AMA SEL 2	250	65	9	240	65	9	X	
AMA SEL 3	200	65	3	240	65	7		
AMA SEL 4	73	200	3	220	60	5		X
AMA SEL 5	73	220	3	260	55	9	X	X
AMA SEL 6	220	65	3	220	60	9		X
AMA SEL 7	280	65	9	240	60	3	X	
AMA SON 1	73	230	3	k. A. 1)	k. A. 1)	k. A. 1)		X
AMA SON 2	230	69	9	230	65	3		
AMA SON 3	280	69	9	180	37	1		X

Tabelle 33: Boniturdaten Amarantlinien Zuchtgarten Selektion 2017

Linie	Höhe in cm	Lager	Rispen- form	Rispen- farbe	Rispen- anteil in %	Kornfarbe	Homoge- nität
AMA 090	243	1	intermediär	Rot	20	Weiß	8
AMA 108	233	6	locker	Rot	20	Schwarz	7
AMA 110	248	2	intermediär-locker	Rot (+ wenige Gelb)	20	Schwarz	5
AMA 114	249	1	intermediär	Rot	25	Weiß	8
AMA 134	185	1	kompakt-intermediär	Gelbgrün	20	Weiß	8
AMA 135	182	1	kompakt	Rot	30	Weiß	8
AMA 136	198	1	kompakt-intermediär	Gelb	25	Weiß	8
AMA 137	234	6	kompakt-intermediär	Gelbgrün	20	Weiß	8
AMA 141	145	1	kompakt	Orange	50	Weiß	8
AMA 142	237	1	intermediär-locker	Rot	30	Weiß	7
AMA 144	249	1	intermediär	Rot	20	Weiß	8
AMA 153	244	5	intermediär	Rot	25	Weiß	8
AMA 181	219	6	locker	Gelb mit roten Spitzen	20	Weiß	7
AMA 182	192	6	intermediär	Grün	20	Weiß	8
AMA 195	242	4	locker	Orange	20	Weiß	7
AMA 197	274,5	3	intermediär-locker	Rot (+ wenige Gelborange)	20	Weiß	5
AMA 202	255	5	locker	Rot	30	Schwarz	7
AMA 204	204	2	kompakt	Gelb	25	Weiß	8
AMA 205	219	4	kompakt-intermediär	Gelb	20	Weiß	7
AMA 208	311	1	locker	Rot	20	Schwarz	5
AMA 214	266	1	locker	Rot/Orange/Gelb	15	Schwarz	5
AMA 216	221	2	intermediär	Gelb (leichte rote Flecken)	25	Weiß	7
AMA 219	275	1	intermediär-locker	Rot	20	Weiß	6
AMA 222	266	1	locker	Rot	20	Schwarz	6
AMA 224	211	1	kompakt	Gelb	25	Weiß	8
AMA 229	210	1	intermediär	Gelb	20	Weiß	8
AMA 233	242	2	intermediär-locker	Rot (+ wenige Gelb)	15	Schwarz	7
AMA 245	205	1	intermediär	Rot (+ wenige Gelb)	20	Weiß	8
AMA 250	228	2	intermediär	Rot	20	Schwarz	7

Linie	Höhe	Lager	Rispen- form	Rispen- farbe	Rispen- anteil	Kornfarbe	Homoge- nität
	in cm				in %		
AMA 253	276	6	intermediär	Rot	30	Schwarz	7
AMA 257	254	2	intermediär	Rot	20	Weiß	7
AMA 258	197	1	kompakt	Gelb	30	Weiß	6
AMA 259	201	1	kompakt	Rot	30	Weiß	8
H17_10	260	2	locker	Rot	20	Schwarz	6
H17_11	257	1	Intermediär/ locker	Rot	20	Schwarz	5
H17_12	241	2	locker	Rot (+ wenige Grün)	10	Schwarz	6
H17_17	253	2	intermediär	Rot	15	Schwarz	7
H17_33	255	1	Intermediär/ locker	Gelbgrün	15	Weiß	7
H17_36	252	3	intermediär	Rot (+ wenige Grün)	15	Schwarz	5
H17_38	226	4	locker	Rot	20	Schwarz	7
SEL 1	258	1	intermediär	Orange (+ einige rötlich)	25	Weiß	6
SEL 2	225	4	locker	Rot	20	Weiß	8
SEL 3	215	5	kompakt	Gelb mit rötlichen Stielen	20	Weiß	8
SEL 5	268	2	locker	Rot	30	Schwarz	6
SEL 6	274	4	locker	Rot	20	Schwarz	7
SEL 7	285	2	locker	Rot	10	Weiß	5
SON 2	255	2	kompakt-intermediär	Rot	20	Weiß	8

Tabelle 34: Boniturdaten Amarantlinien Zuchtgarten Selektion 2018

Linie	BBCH	Höhe	Lager	Rispen- form	Rispen- farbe	Rispen- anteil	Kornfarbe	Homoge- nität
		in cm				in %		
AMA 090	69	200	1	kompakt/ intermediär	Rot	10	Weiß	3
AMA 108	69	230	6	locker	Rot	30	Weiß	6
AMA 110	69	190	4	locker	Rot	30	Schwarz	6
AMA 114	69	160	1	intermediär	Rot	20	Weiß	8
AMA 134	69	155	1	kompakt/intermediär	Gelb mit roten Spitzen	25	Weiß	7
AMA 135	69	155	1	kompakt/intermediär	Rot	30	Weiß	4
AMA 136	71	170	1	kompakt	Gelb	25	Weiß	7
AMA 137	69	175	1	kompakt	Gelb	20	Weiß	8
AMA 141	69	120	1	kompakt	Hellrot	40	Weiß	6
AMA 142	69	200	2	intermediär	Rot	20	Weiß	8
AMA 144	69	225	3	intermediär	Rot	20	Weiß	7
AMA 153	69	240	2	kompakt	Rot	30	Weiß	8
AMA 181	69	205	4	intermediär	Gelb mit roten Spitzen	20	Weiß	8
AMA 182	69	180	2	kompakt	Gelb	20	Weiß	8
AMA 195	69	200	3	kompakt	Orange	20	Weiß	6
AMA 197	69	210	6	intermediär/locker	Rot	30	Weiß	6
AMA 202	69	180	4	locker	Rot	30	Schwarz	8
AMA 204	69	170	1	kompakt	Gelb	30	Weiß	7
AMA 205	69	190	2	kompakt	Gelb mit roten Spitzen	20	Weiß	7
AMA 208	69	170	2	locker	Rot	25	Schwarz	7
AMA 214	69	230	3	locker	Rot	20	Schwarz	6
AMA 216	69	190	3	kompakt	Gelb mit roten Spitzen	30	Weiß	7
AMA 219	69	170	2	intermediär	Rot	20	Weiß	8
AMA 222	69	240	1	locker	Rot	20	Schwarz	1
AMA 224	69	180	1	kompakt	Gelb	25	Weiß	5
AMA 229	69	175	2	kompakt	Gelb	30	Weiß	7
AMA 233	69	230	2	intermediär/locker	Rot	30	Schwarz	7
AMA 245	69	150	1	kompakt	Hellrot	20	Weiß	4
AMA 250	69	210	2	locker	Rot	20	Weiß	6

Linie	BBCH	Höhe	Lager	Rispen- form	Rispen- farbe	Rispen- anteil	Kornfarbe	Homoge- nität
		in cm				in %		
AMA 253	69	235	3	locker	Rot	15	Schwarz	8
AMA 257	69	225	1	intermediär	Rot	25	Weiß	6
AMA 258	69	175	1	kompakt	Gelb	20	Weiß	7
AMA 259	69	180	1	kompakt	Rot	25	Weiß	6
SEL 1	69	270	1	intermediär	Rot	20	Weiß	7
SEL 2	69	210	2	intermediär	Rot	30	Weiß	8
SEL 3	69	195	2	kompakt	Gelb	20	Weiß	7
SEL 5	69	210	1	locker	Rot	40	Schwarz	7
SEL 6	69	200	5	locker	Rot	20	Schwarz	5
SEL 7	69	260	2	locker	Rot	20	Schwarz	7
SON 2	69	250	2	kompakt	Rot	20	Weiß	8

Tabelle 35: Spurenelementgehalte Zuchtgarten 2015

Linie	Fraktion	Co	Ni	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn
		in mg/kg TS						
AMA 050		0,07	0,31	4,21	27,60	62,85	0,61	34,51
AMA 051		0,07	0,28	3,95	35,85	62,24	0,40	28,80
AMA 055		0,11	0,40	4,87	79,02	98,95	0,48	36,09
AMA 072		0,08	0,23	2,88	41,10	29,77	0,53	18,71
AMA 090		0,06	0,21	3,88	20,23	40,54	0,69	31,23
AMA 094		0,10	0,35	4,02	32,74	58,53	0,65	24,96
AMA 108		0,07	0,28	3,94	41,01	68,96	0,48	30,05
AMA 110		0,09	0,29	4,75	34,85	53,35	0,65	31,40
AMA 114		0,11	0,32	4,03	106,80	38,71	0,71	27,60
AMA 130		0,06	0,35	5,21	69,79	34,22	0,78	24,13
AMA 134		0,05	0,27	4,76	50,29	37,12	0,53	23,01
AMA 136		0,07	0,39	4,20	42,32	49,22	0,39	22,50
AMA 137		0,06	0,30	4,02	27,81	40,99	0,55	20,13
AMA 141		0,09	0,38	5,10	22,89	55,80	0,66	30,08
AMA 142		0,08	0,36	4,99	46,62	47,74	0,58	26,04
AMA 145		0,05	0,33	4,33	24,80	30,92	0,48	25,00
AMA 148		0,05	0,26	4,29	31,20	45,09	0,54	22,05
AMA 153		0,05	0,29	4,54	21,93	44,20	0,53	21,84
AMA 180		0,06	0,37	4,98	57,09	51,75	0,42	28,46
AMA 181		0,07	0,32	4,83	47,62	52,93	0,38	32,94
AMA 182		0,05	0,27	4,95	27,36	50,41	0,35	23,85
AMA 184		0,05	0,29	5,76	34,50	45,69	0,60	25,22
AMA 190		0,04	0,29	3,79	16,72	28,91	0,46	21,17
AMA 192		0,09	0,32	5,67	41,56	65,96	1,27	28,31
AMA 195		0,06	0,20	3,55	30,68	36,24	0,56	20,44
AMA 197		0,08	0,28	4,29	42,24	43,02	0,62	24,92
AMA 202		0,07	0,32	4,92	47,19	38,27	0,61	28,37
AMA 205		0,05	0,26	4,76	41,02	38,92	0,57	20,91
AMA 206		0,06	0,29	4,32	10,01	57,38	0,50	20,22
AMA 208		0,08	0,28	5,16	35,09	45,17	0,46	54,96
AMA 210		0,07	0,30	5,04	34,70	44,73	0,49	25,71
AMA 214		0,06	0,31	4,69	39,58	57,63	0,48	29,04

Linie	Fraktion	Co	Ni	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn
		in mg/kg TS						
AMA 218		0,07	0,29	3,66	45,68	57,03	0,33	25,14
AMA 219		0,07	0,36	5,48	38,66	75,32	0,34	25,85
AMA 220		0,07	0,44	4,85	24,89	60,79	0,59	23,73
AMA 222		0,09	0,36	4,21	33,90	71,12	0,61	26,33
AMA 223		0,07	0,27	3,44	31,04	76,22	0,37	24,90
AMA 224		0,06	0,26	3,08	21,92	61,81	0,34	25,34
AMA 229		0,07	0,26	4,57	28,05	59,68	0,54	29,03
AMA 230		0,07	0,32	3,79	28,51	66,63	0,38	23,77
AMA 243		0,09	0,48	3,77	24,44	56,22	0,51	29,31
AMA 245		0,07	0,43	5,30	28,79	67,66	0,49	19,76
AMA 246		0,06	0,50	6,40	32,38	108,78	0,46	26,75
AMA 247		0,08	0,47	5,68	34,42	85,62	0,47	34,83
AMA 253		0,07	0,41	3,70	27,11	51,35	0,41	21,53
AMA 255		0,08	0,30	4,66	33,46	55,83	0,39	23,69
AMA 257		0,08	0,38	3,84	46,70	61,03	0,31	26,94
AMA 258		0,07	0,36	4,34	53,49	61,17	0,38	27,52
Gelber Amaranth, Silageproduktion		0,06	0,36	5,24	30,58	55,48	0,60	22,49
Mais		0,02	0,18	5,28	66,06	40,58	0,25	30,71
AMA 184	Rispe	0,05	0,41	6,79	44,38	44,91	0,55	28,75
AMA 184	Stängel und Blätter	0,06	0,29	2,64	28,54	71,32	0,38	18,40
AMA 134	Rispe	0,07	0,49	6,29	71,92	33,94	0,56	29,92
AMA 134	Stängel und Blätter	0,06	0,15	2,12	16,68	52,64	0,29	13,55
AMA 182	Rispe	0,08	0,52	8,80	72,06	50,52	0,55	31,67
AMA 182	Stängel und Blätter	0,06	0,29	2,90	4,91	63,09	0,18	18,51

Tabelle 36: Spurenelementgehalte Zuchtgarten 2016

Linie	Co	Ni	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn
	in mg/kg TS						
AMA 033	0,07	0,74	4,55	72,32	44,61	1,70	24,93
AMA 051	0,10	0,83	3,70	117,72	31,64	1,04	21,02
AMA 055	0,07	0,59	3,65	77,66	33,46	0,90	21,70
AMA 090	0,06	0,84	4,74	65,60	31,72	0,94	29,87
AMA 094	0,08	0,52	3,11	53,99	38,97	1,10	14,49
AMA 108	0,06	0,71	3,80	64,85	31,62	1,77	15,13
AMA 110	0,08	0,69	3,07	67,10	19,72	1,35	20,23
AMA 114	0,10	0,83	3,01	88,20	27,01	0,95	12,94
AMA 134	0,09	0,94	4,50	111,85	38,45	0,85	14,51
AMA 135	0,08	0,80	4,81	85,65	43,91	0,89	14,25
AMA 136	0,08	0,72	4,01	74,05	45,73	1,96	15,15
AMA 137	0,14	1,23	4,71	122,81	48,29	2,27	16,79
AMA 141	0,11	0,95	3,96	136,45	43,38	0,53	18,88
AMA 142	0,07	0,93	3,99	59,62	34,16	1,59	16,65
AMA 144 A	0,07	0,97	3,04	65,20	35,86	1,06	15,77
AMA 153	0,08	0,51	3,78	75,42	33,31	1,51	14,59
AMA 180	0,05	0,45	4,02	59,89	27,95	1,98	15,81
AMA 181 F1	0,08	0,66	4,75	98,61	39,77	1,09	18,25
AMA 182 A	0,10	0,60	4,42	81,48	55,48	0,72	14,19
AMA 193	0,09	0,46	3,90	83,56	38,81	2,15	14,12
AMA 195 A	0,09	0,89	5,36	89,52	37,09	1,46	16,03
AMA 197 F1	0,11	0,71	3,43	90,07	44,78	1,60	17,49
AMA 201	0,08	0,80	3,24	73,21	59,64	2,01	13,99
AMA 202 A	0,09	0,70	4,29	108,42	52,00	0,64	13,53
AMA 204 A	0,09	0,60	4,12	91,25	50,29	1,10	15,72
AMA 205	0,07	0,83	4,50	81,45	49,93	2,70	15,47
AMA 206	0,08	0,56	3,06	62,03	32,65	1,48	13,40
AMA 208	0,04	0,51	3,00	49,49	21,73	1,51	11,26
AMA 210	0,09	0,91	4,22	90,18	42,86	2,42	15,35
AMA 214	0,07	0,60	3,74	52,42	33,78	0,90	25,46
AMA 216	0,09	0,74	4,44	99,10	42,55	0,88	13,97
AMA 218	0,09	0,80	3,90	104,21	40,37	1,38	13,14

Linie	Co	Ni	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn
	in mg/kg TS						
AMA 219	0,08	0,60	3,55	61,86	42,73	2,03	17,34
AMA 222	0,14	1,15	4,18	114,00	40,49	1,95	42,43
AMA 223	0,09	0,64	2,69	80,03	27,72	1,63	17,18
AMA 224	0,10	0,91	3,63	104,11	38,66	0,74	15,20
AMA 229	0,07	0,86	3,43	58,20	36,88	0,62	11,17
AMA 230	0,07	0,43	2,34	55,43	27,66	0,99	12,34
AMA 233	0,08	1,09	3,36	80,53	40,36	1,36	14,88
AMA 243	0,08	0,67	4,39	84,86	34,85	1,51	12,80
AMA 245	0,10	0,92	4,68	99,96	64,55	2,21	15,13
AMA 246	0,08	0,79	4,26	90,45	31,56	0,92	20,66
AMA 247	0,06	0,52	2,96	58,12	30,98	0,81	13,62
AMA 250	0,10	0,72	4,53	85,22	37,07	2,28	15,32
AMA 253	0,10	0,74	3,68	77,94	48,02	1,55	16,42
AMA 255	0,08	0,55	3,96	90,06	31,29	1,55	15,34
AMA 257	0,07	0,62	3,09	76,19	24,02	1,31	13,61
AMA 258	0,11	0,67	4,57	79,78	32,52	0,96	14,84
AMA 259	0,11	0,70	4,57	59,32	44,70	0,86	15,71
AMA 260	0,08	1,04	4,86	130,66	21,58	1,84	20,66
AMA SEL 1	0,07	0,60	3,57	63,96	38,32	1,27	14,57
AMA SEL 2	0,09	1,05	3,60	61,62	58,28	1,82	15,84
AMA SEL 3	0,08	0,67	4,36	71,51	40,11	1,85	15,35
AMA SEL 4	0,08	0,60	4,45	63,11	35,30	1,00	15,16
AMA SEL 5	0,08	0,78	2,81	63,78	35,14	0,54	12,29
AMA SEL 6	0,13	1,10	3,07	209,49	34,16	1,80	15,15
AMA SEL 7	0,08	0,78	2,86	82,24	27,87	0,93	14,48
AMA SON 1	0,07	0,82	3,66	61,51	38,88	1,35	16,30
AMA SON 2	0,10	0,81	5,25	83,33	42,42	1,35	20,90
AMA SON 3	0,07	0,60	3,18	55,07	43,46	1,60	15,14
Mittelwert AMA	0,09	0,75	3,87	82,60	38,35	1,38	16,57
Referenz Mais	0,02	0,18	5,3	66	41	0,25	31
Bodengehalte	10,08	23,95	19,1	24247	959	0,59	57

Tabelle 37: Spurenelementgehalte Zuchtgarten 2017

Linie	Co	Ni	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn
	in mg/kg TS						
AMA 090	0,04	0,55	4,13	58,34	17,13	0,29	20,60
AMA 108	0,02	0,38	3,27	59,53	15,87	0,15	15,62
AMA 110	0,03	0,62	3,42	79,82	21,86	0,27	16,67
AMA 114	0,06	0,68	5,28	108,54	23,99	0,43	15,76
AMA 134	0,08	0,68	5,75	126,69	79,59	0,34	19,17
AMA 135	0,07	0,54	5,38	80,27	62,98	0,28	16,25
AMA 136	0,04	0,45	4,72	89,37	28,43	0,42	14,30
AMA 137	0,06	0,63	5,25	78,64	53,33	0,31	16,99
AMA 141	0,10	1,02	4,89	92,09	70,29	0,33	17,94
AMA 142	0,06	0,58	3,49	62,36	19,10	0,45	16,36
AMA 144	0,06	0,57	3,76	80,92	17,73	0,47	17,08
AMA 153	0,06	0,52	3,70	76,70	12,30	0,23	12,24
AMA 181	0,03	0,84	4,06	82,65	24,68	0,25	12,68
AMA 182	0,06	0,55	4,43	83,82	84,03	0,24	12,36
AMA 195	0,07	0,55	3,95	72,83	20,80	0,26	11,92
AMA 197	0,05	0,64	3,75	63,80	17,69	0,22	17,73
AMA 202	0,05	0,70	3,44	52,68	40,68	0,17	13,10
AMA 204	0,09	1,06	4,68	89,38	85,45	0,32	15,63
AMA 205	0,07	0,52	5,68	83,84	70,71	0,30	18,49
AMA 208	0,06	0,60	3,29	63,00	42,70	0,19	15,85
AMA 214	0,06	1,47	3,66	65,89	16,46	0,24	21,74
AMA 216	0,07	0,97	4,36	92,34	25,93	0,32	13,92
AMA 219	0,06	0,53	3,37	59,21	23,10	0,26	14,81
AMA 222	0,06	0,40	3,08	58,35	14,99	0,27	14,14
AMA 224	0,05	0,45	4,08	87,84	27,74	0,32	12,55
AMA 229	0,06	0,39	3,66	66,80	23,49	0,21	10,10
AMA 233	0,05	0,93	2,80	56,08	11,72	0,23	13,68
AMA 245	0,05	0,70	4,53	96,25	26,91	0,46	12,75
AMA 250	–	–	–	–	–	–	–

Legende: (–) Daten fehlen

Tabelle 38: Spurenelementgehalte Zuchtgarten 2018

Typ	Co	Ni	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn
	in mg/kg TS						
AMA 090	0,07	0,37	3,80	40,53	50,87	0,65	25,11
AMA 108	0,09	0,40	3,84	49,75	131,75	0,60	27,23
AMA 110	0,08	0,37	4,70	63,00	45,64	0,74	21,78
SEL 8 (aus Ama 114)	0,08	0,41	4,91	66,19	41,09	0,89	17,67
AMA 134	0,08	0,44	5,07	74,30	64,27	0,73	20,00
AMA 135	0,12	0,68	7,76	84,46	50,56	1,01	30,30
SEL 9 (aus AMA 136)	0,08	0,50	6,53	64,48	59,80	0,66	24,25
AMA 137	0,06	0,40	4,41	48,49	41,83	0,78	14,48
AMA 141	0,09	0,58	7,19	68,80	32,36	0,80	30,76
AMA 142	0,11	0,74	6,89	263,84	36,48	0,59	45,12
AMA 144	0,10	0,48	6,92	77,45	42,58	1,33	36,19
AMA 153	0,07	0,53	5,76	69,96	26,59	0,93	27,34
AMA 181	0,08	0,44	5,77	85,06	48,82	0,85	25,76
SEL 11 (aus AMA 182)	0,06	0,44	4,71	64,26	43,13	1,07	16,60
AMA 195	0,07	0,39	6,22	60,55	54,43	0,82	20,43
AMA 197	0,07	0,36	4,49	50,67	25,09	1,13	22,09
AMA 202	0,05	0,32	5,22	51,55	22,79	0,60	19,79
SEL 12 ( aus AMA 204)	0,08	0,38	5,27	76,29	68,43	0,72	21,20
AMA 205	0,07	0,47	5,18	66,95	49,13	0,92	18,39
SEL 13 (aus AMA 208)	0,06	0,34	4,22	49,06	35,55	0,61	20,29
AMA 214	0,07	0,41	3,52	34,69	22,01	0,67	19,52
AMA 216	0,08	0,40	4,87	58,12	60,30	0,76	18,49
AMA 219	0,07	0,42	3,47	56,76	31,16	0,83	19,52
AMA 222	0,06	0,38	4,02	40,67	56,85	0,77	20,46
SEL 14(aus AMA 224)	0,07	0,47	6,12	65,90	48,51	0,92	21,87
AMA 229	0,06	0,37	3,64	50,77	44,47	0,82	13,01
AMA 233	0,07	0,45	3,78	42,39	47,09	0,55	18,61
AMA 245	0,08	0,45	3,65	42,88	53,47	0,94	12,74
SEL 15 (aus AMA 250)	0,07	0,40	5,19	59,78	42,41	0,83	21,03
AMA 253	0,08	0,34	4,07	64,15	33,15	0,77	19,33
AMA 257	0,09	0,40	5,93	71,68	40,40	1,07	30,82
SEL 16 (aus AMA 258)	0,07	0,49	4,89	57,71	57,34	0,90	18,41

Typ	Co	Ni	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn
	in mg/kg TS						
AMA 259	0,07	0,44	3,64	49,24	55,48	0,92	14,43
SEL 1	0,06	0,34	3,98	50,92	44,81	0,72	15,12
SEL 2	0,11	0,51	6,96	71,90	70,66	1,29	24,14
SEL 3	0,07	0,38	4,61	90,11	48,30	0,88	16,49
SEL 5	0,08	0,45	5,91	94,02	40,11	0,81	25,48
SEL 6	0,07	0,30	4,79	52,31	27,19	0,74	25,68
SEL 7	0,09	0,32	4,05	44,47	82,06	0,49	23,86
SON 2	0,08	0,36	4,56	48,48	31,74	0,82	22,22

Tabelle 39: Spurenelementgehalte Düngerversuch 2017

Linie	Düngestufe	Wiederholung	Fraktion	Co	Ni	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn
				in mg/kg TS						
AMA 182	70 kg N/ha	1	GP	0,10	0,95	5,05	92,45	32,35	0,27	16,96
AMA 182	70 kg N/ha	2	GP	0,07	1,04	5,29	81,90	33,34	0,43	16,47
AMA 182	70 kg N/ha	3	GP	0,08	1,01	5,50	81,67	32,33	0,15	19,79
AMA 182	70 kg N/ha	4	GP	0,08	0,96	5,78	78,37	41,26	0,20	18,24
AMA 182	120 kg N/ha	1	GP	0,06	0,64	5,07	85,71	37,61	0,09	16,69
AMA 182	120 kg N/ha	2	GP	0,09	1,02	5,91	76,74	78,22	0,21	19,37
AMA 182	120 kg N/ha	3	GP	0,10	1,13	7,37	102,23	97,48	0,18	21,87
AMA 182	120 kg N/ha	4	GP	0,11	0,88	6,40	89,45	73,30	0,33	19,98
AMA 182	170 kg N/ha	1	GP	0,11	1,24	6,10	104,71	89,92	0,23	19,18
AMA 182	170 kg N/ha	2	GP	0,11	0,94	5,21	103,07	70,06	0,17	16,70
AMA 182	170 kg N/ha	3	GP	0,09	1,10	6,03	114,73	69,16	0,20	19,46
AMA 182	170 kg N/ha	4	GP	0,11	1,03	5,82	89,72	89,46	0,09	17,84
AMA 182	220 kg N/ha	1	GP	0,15	1,36	6,01	106,16	58,28	0,27	18,79
AMA 182	220 kg N/ha	2	GP	0,10	1,01	6,21	94,49	123,40	0,14	17,25
AMA 182	220 kg N/ha	3	GP	0,11	1,05	5,48	86,15	133,08	0,13	16,04
AMA 182	220 kg N/ha	4	GP	0,12	0,99	5,45	93,07	119,61	0,13	16,94
AMA 182	270 kg N/ha	1	GP	0,12	0,85	5,70	83,25	119,37	0,19	18,82
AMA 182	270 kg N/ha	2	GP	0,13	1,07	5,19	60,51	187,67	0,11	15,69
AMA 182	270 kg N/ha	3	GP	0,11	1,09	6,07	90,25	167,93	0,09	19,56
AMA 182	270 kg N/ha	4	GP	0,10	0,94	6,27	94,15	136,07	0,10	19,35
AMA 186	70 kg N/ha	Mischprobe	GP	0,08	0,81	3,52	112,45	34,70	0,22	13,47
AMA 186	120 kg N/ha	Mischprobe	GP	0,08	0,77	4,30	97,46	53,75	0,21	14,31
AMA 186	170 kg N/ha	Mischprobe	GP	0,07	0,83	5,22	191,27	59,70	0,19	16,52
AMA 186	220 kg N/ha	Mischprobe	GP	0,09	0,80	4,60	124,10	71,26	0,18	17,71
AMA 186	270 kg N/ha	Mischprobe	GP	0,08	0,98	4,73	139,59	74,39	0,17	18,47
AMA 186	70 kg N/ha	Mischprobe	Korn	0,07	0,27	7,46	90,21	24,43	0,10	34,61
AMA 186	120 kg N/ha	Mischprobe	Korn	0,06	0,29	7,52	96,79	29,72	0,17	33,67
AMA 186	170 kg N/ha	Mischprobe	Korn	0,07	0,34	6,76	93,10	29,46	0,12	32,85
AMA 186	220 kg N/ha	Mischprobe	Korn	0,06	0,32	7,81	91,72	27,39	0,14	36,68
AMA 186	270 kg N/ha	Mischprobe	Korn	0,04	0,35	7,45	98,74	31,41	0,11	41,94
AMA 186	70 kg N/ha	Mischprobe	Stroh	0,07	1,23	1,87	229,11	22,25	0,19	7,62
AMA 186	120 kg N/ha	Mischprobe	Stroh	0,07	0,98	2,36	111,12	53,78	0,14	8,72

---

Linie	Düngestufe	Wiederholung	Fraktion	Co	Ni	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn
				in mg/kg TS						
AMA 186	170 kg N/ha	Mischprobe	Stroh	0,08	1,19	2,26	142,48	71,53	0,17	8,91
AMA 186	220 kg N/ha	Mischprobe	Stroh	0,24	2,87	2,68	355,03	61,33	0,48	11,63
AMA 186	270 kg N/ha	Mischprobe	Stroh	0,07	0,74	3,18	102,16	95,03	0,15	12,70

Tabelle 40: Spurenelementgehalte Düngerversuch 2018

Linie	Düngestufe	Wiederholung	Fraktion	Co	Ni	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn
				in mg/kg TS						
AMA 182	70 kg N/ha	1	GP	0,08	0,48	5,20	45,36	63,95	0,69	17,66
AMA 182	70 kg N/ha	2	GP	0,08	0,53	5,07	40,76	62,13	0,67	16,32
AMA 182	70 kg N/ha	3	GP	0,09	0,41	4,25	30,49	83,11	0,37	12,88
AMA 182	70 kg N/ha	4	GP	0,08	0,37	4,22	39,39	65,60	1,00	14,21
AMA 182	120 kg N/ha	1	GP	0,10	0,52	6,17	62,00	87,45	0,46	20,42
AMA 182	120 kg N/ha	2	GP	0,09	0,39	3,90	38,88	56,91	0,46	12,26
AMA 182	120 kg N/ha	3	GP	0,10	0,52	5,87	56,83	99,53	0,56	18,65
AMA 182	120 kg N/ha	4	GP	0,12	0,66	5,73	62,58	105,12	0,59	19,88
AMA 182	170 kg N/ha	1	GP	0,08	0,49	5,16	42,08	64,31	0,42	16,01
AMA 182	170 kg N/ha	2	GP	0,11	0,54	6,48	58,23	117,75	0,43	21,26
AMA 182	170 kg N/ha	3	GP	0,09	0,53	6,01	63,55	62,27	0,54	19,16
AMA 182	170 kg N/ha	4	GP	0,09	0,51	4,93	30,19	79,41	0,40	14,25
AMA 182	220 kg N/ha	1	GP	0,14	0,81	6,72	51,25	10,21	0,20	20,94
AMA 182	220 kg N/ha	2	GP	0,09	0,45	4,08	43,76	64,69	0,47	12,35
AMA 182	220 kg N/ha	3	GP	0,10	0,76	6,67	49,57	142,95	0,30	18,41
AMA 182	220 kg N/ha	4	GP	0,10	0,47	4,61	41,10	91,02	0,60	14,86
AMA 182	270 kg N/ha	1	GP	0,09	0,58	4,53	42,53	63,86	0,38	13,78
AMA 182	270 kg N/ha	2	GP	0,12	0,56	4,74	58,32	102,33	0,41	20,89
AMA 182	270 kg N/ha	3	GP	0,10	0,58	5,61	72,67	78,42	0,65	19,14
AMA 182	270 kg N/ha	4	GP	0,10	0,60	5,53	55,55	109,23	0,39	18,61
AMA 186	70 kg N/ha	Mischprobe	Stroh	0,09	0,52	3,86	51,48	42,30	0,63	14,40
AMA 186	120 kg N/ha	Mischprobe	Stroh	0,11	0,59	4,61	73,36	43,78	0,56	19,47
AMA 186	170 kg N/ha	Mischprobe	Stroh	0,10	0,56	3,41	40,12	56,41	0,53	13,31
AMA 186	220 kg N/ha	Mischprobe	Stroh	0,11	0,54	6,14	93,07	40,03	0,62	27,04
AMA 186	270 kg N/ha	Mischprobe	Stroh	0,10	0,73	4,73	69,46	40,10	0,47	19,50
AMA 186	70 kg N/ha	Mischprobe	Korn	0,03	0,25	1,97	23,16	15,35	0,17	7,39
AMA 186	120 kg N/ha	Mischprobe	Korn	0,04	0,28	2,80	36,18	19,46	0,27	10,38
AMA 186	170 kg N/ha	Mischprobe	Korn	0,04	0,30	2,58	30,04	31,82	0,17	9,69
AMA 186	220 kg N/ha	Mischprobe	Korn	0,04	0,32	2,75	34,13	26,77	0,22	12,39
AMA 186	270 kg N/ha	Mischprobe	Korn	0,04	0,37	3,55	52,59	29,57	0,28	15,47
AMA 186	70 kg N/ha	Mischprobe	GP	0,09	0,24	6,84	96,37	26,90	0,54	38,66
AMA 186	120 kg N/ha	Mischprobe	GP	0,08	0,23	6,40	88,53	23,89	0,49	38,23

---

Linie	Düngestufe	Wiederholung	Fraktion	Co	Ni	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn
				in mg/kg TS						
AMA 186	170 kg N/ha	Mischprobe	GP	0,07	0,24	6,41	85,11	23,13	0,38	39,07
AMA 186	220 kg N/ha	Mischprobe	GP	0,07	0,24	6,48	87,88	25,76	0,42	40,32
AMA 186	270 kg N/ha	Mischprobe	GP	0,07	0,24	6,37	87,20	24,72	0,42	39,67

Tabelle 41: Spurenelementgehalte Standortversuch 2017

Linie	Standort	Pflanze	Co	Ni	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn
			in mg/kg TS						
AMA 182	Rosenau	1	0,11	1,49	5,50	143,00	20,67	0,48	31,81
AMA 182	Rosenau	2	0,06	0,94	5,03	144,05	20,19	0,42	26,96
AMA 182	Rosenau	3	0,04	0,86	4,76	125,74	21,43	0,36	25,09
AMA 182	Rosenau	4	0,03	0,74	4,72	103,34	18,45	0,26	29,16
AMA 182	Rosenau	5	0,04	0,64	5,53	130,31	22,69	0,25	31,11
AMA 182	Rosenau	6	0,03	0,50	4,82	112,97	16,54	0,24	25,27
AMA 182	Rosenau	7	0,01	0,40	4,10	90,21	24,95	0,61	25,91
AMA 182	Rosenau	8	0,04	0,58	4,66	130,43	27,74	0,35	31,42
AMA 182	Straubing	1	0,12	1,30	6,70	119,29	80,98	0,29	18,41
AMA 182	Straubing	2	0,14	1,29	6,28	117,73	119,00	0,17	20,34
AMA 182	Straubing	3	0,08	0,99	6,07	96,12	78,98	0,20	18,37
AMA 182	Straubing	4	0,10	1,06	5,99	85,02	89,56	0,16	16,85
AMA 182	Straubing	5	0,10	0,88	4,79	80,72	81,70	0,11	14,56
AMA 182	Straubing	6	0,16	1,56	6,19	136,14	86,99	0,34	18,15
AMA 182	Straubing	7	0,08	1,18	6,59	93,88	94,64	0,23	20,06
AMA 182	Straubing	8	0,08	0,86	6,77	90,83	68,74	0,22	19,12

Tabelle 42: Spurenelementgehalte Mischanbau 2018

Variante	Linie/ Sorte	Wiederholung	Co	Ni	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn
			in mg/kg TS						
Amarant	AMA 182	1	0,06	0,43	5,61	56,56	65,21	0,31	17,68
Amarant	AMA 182	2	0,07	0,43	5,52	41,37	70,55	0,44	17,13
Amarant	AMA 182	3	0,08	0,55	6,33	29,96	82,36	0,47	19,46
Amarant	AMA 182	4	0,07	0,52	6,37	7,87	88,04	0,43	19,14
A&M früh	AMA 182, Stacey	1	0,014	0,31	4,37	38,61	30,73	0,31	15,02
A&M früh	AMA 182, Stacey	2	0,014	0,29	4,34	31,01	36,45	0,32	15,14
A&M früh	AMA 182, Stacey	3	0,037	0,39	4,90	28,95	53,48	0,34	14,46
A&M früh	AMA 182, Stacey	4	< 0,002	0,27	3,83	15,56	29,07	0,35	11,81
A&M spät	AMA 182, Stacey	2	0,055	0,40	5,39	28,02	62,86	0,43	15,55
Mais	Stacey	1	< 0,002	0,31	4,70	41,46	23,14	0,27	16,53
Mais	Stacey	2	< 0,002	0,24	4,62	53,78	23,68	0,28	17,35
Mais	Stacey	3	< 0,002	0,30	5,27	38,02	28,74	0,32	16,20
Mais	Stacey	4	0,006	0,82	5,45	75,72	26,52	0,34	15,19

Tabelle 43: Trockensubstanzgehalte und Trockenmasseerträge Zuchtgarten 2016

Linie	Zuchtgarten 1		Zuchtgarten 2	
	Trocken- substanzgehalt	Trocken- masseertrag	Trocken- substanzgehalt	Trocken- masseertrag
	in %	in dt/ha	in %	in dt/ha
AMA 033	21,0	61,3	16,1	63,2
AMA 051	20,0	128,3	17,2	118,2
AMA 055	21,6	125,8	19,1	100,6
AMA 090	21,3	97,1	20,5	92,3
AMA 094	22,8	101,4	18,7	110,4
AMA 108	20,3	129,4	22,8	82,5
AMA 110	20,6	113,0	18,6	87,6
AMA 114	20,6	127,7	18,2	73,8
AMA 134	19,1	94,3	16,7	101,0
AMA 135 F <sub>1</sub>	20,6	126,9	20,4	76,4
AMA 136 spät	19,0	90,1	19,3	81,6
AMA 137	20,0	141,6	16,7	89,0
AMA 141	21,1	123,6	18,5	98,4
AMA 142	18,8	115,6	18,8	84,2
AMA 144A	21,9	42,9	19,0	81,2
AMA 153	21,1	114,1	17,7	91,2
AMA 180	20,4	89,0	20,1	84,5
AMA 181 F <sub>1</sub>	20,5	77,1	18,0	91,7
AMA 182 A	20,5	199,1	18,2	91,5
AMA 193	24,5	95,0	k.A.	k.A.
AMA 195 A	18,6	91,2	16,8	70,9
AMA 197 F <sub>1</sub> A	16,8	139,5	16,7	140,2
AMA 201	17,2	160,7	18,4	132,2
AMA 202 A	17,5	78,9	18,9	118,7
AMA 204 A	18,6	123,7	18,6	114,9
AMA 205	19,2	118,5	19,7	92,4
AMA 206	19,0	124,5	18,4	81,5
AMA 208	20,5	119,8	19,4	87,3
AMA 210	17,4	128,6	17,5	95,9
AMA 214	18,3	122,5	17,4	99,9
AMA 216	20,7	89,3	21,7	74,5

Linie	Zuchtgarten 1		Zuchtgarten 2	
	Trocken- substanzgehalt	Trocken- masseertrag	Trocken- substanzgehalt	Trocken- masseertrag
	in %	in dt/ha	in %	in dt/ha
AMA 218	18,4	137,9	17,2	106,7
AMA 219	19,7	191,5	19,7	92,5
AMA 222	17,1	101,0	18,4	62,0
AMA 223	21,7	157,8	17,7	94,8
AMA 224	22,6	141,1	19,2	79,5
AMA 229	26,0	56,1	29,0	68,7
AMA 230	19,8	120,9	18,0	108,4
AMA 233	19,3	163,8	17,5	102,3
AMA 243	22,0	125,8	18,9	90,5
AMA 245	17,2	91,5	18,1	122,1
AMA 246	18,2	139,5	19,4	127,1
AMA 247	18,2	91,3	17,7	88,1
AMA 250	17,7	66,8	18,3	98,3
AMA 253	18,5	135,3	20,3	90,6
AMA 255	20,4	145,7	17,9	101,3
AMA 257	19,5	101,9	17,8	54,1
AMA 258	18,9	124,1	17,2	85,2
AMA 259	17,6	126,7	22,2	63,2
AMA 260	17,1	154,0	18,3	102,4
AMA SEL 1	20,6	125,6	17,7	74,9
AMA SEL 2	15,7	104,0	17,7	93,3
AMA SEL 3	21,7	197,5	20,3	83,6
AMA SEL 4	18,1	104,2	18,3	58,3
AMA SEL 5	20,6	134,8	20,8	84,5
AMA SEL 6	19,9	108,0	18,3	82,3
AMA SEL 7	20,7	123,4	16,5	71,8
AMA SON 1	19,2	120,6	17,8	92,4
AMA SON 2	20,3	150,8	18,8	107,3
AMA SON 3	16,7	151,1	15,0	94,1

Tabelle 44: Trockensubstanzgehalte und Trockenmasseerträge Zuchtgarten 2017

Linie	TS	FM dt/ha	TM dt/ha
	in %	in dt/ha	in dt/ha
AMA 090	19,9	766,9	152,6
AMA 108	24,5	361,0	88,4
AMA 110	20,7	626,5	129,6
AMA 114	17,7	803,9	142,4
AMA 134	20,4	517,4	105,7
AMA 135	23,8	360,6	85,7
AMA 136	21,9	479,6	105,1
AMA 137	21,9	607,2	133,2
AMA 141	22,5	453,1	101,9
AMA 142	19,9	651,9	129,5
AMA 144	18,4	722,6	132,7
AMA 153	22,3	520,2	115,8
AMA 181	18,6	551,0	102,3
AMA 182	22,2	480,0	106,7
AMA 195	20,0	531,5	106,3
AMA 197	18,8	732,3	137,9
AMA 202	19,4	592,7	114,8
AMA 204	23,4	478,5	112,2
AMA 205	20,2	561,5	113,3
AMA 208	20,1	831,0	167,3
AMA 214	22,2	732,5	162,5
AMA 216	19,0	598,8	113,8
AMA 219	19,7	773,7	152,2
AMA 222	19,5	752,3	146,6
AMA 224	19,8	–	–
AMA 229	20,8	624,4	129,9
AMA 233	21,4	611,8	130,7
AMA 245	20,7	505,4	104,8
AMA 250	20,1	544,6	109,7
AMA 253	21,1	503,6	106,4
AMA 257	19,0	–	–
AMA 258	20,5	527,0	108,2

Linie	TS	FM dt/ha	TM dt/ha
	in %	in dt/ha	in dt/ha
AMA 259	19,5	534,0	104,0
SEL 1 (aus Ama 136)	24,0	556,7	133,3
SEL 2 (aus Ama 220)	20,0	593,2	118,9
SEL 3 (aus Ama 250)	21,1	579,0	122,3
SEL 5	19,2	489,9	94,3
SEL 6 (aus Ama 213)	19,4	662,5	128,8
SEL 7 (aus Ama 213)	–	–	–
SON 2 (Amarant vegetativ)	21,1	571,7	120,5

Legende: (–) Daten fehlen

Tabelle 45: Trockensubstanzgehalte und Trockenmasseerträge Zuchtgarten 2018

Linie	Wiederholung	TS	FM	TM
		in %	in dt/ha	in dt/ha
AMA 141	1	25,7	460,6	118,5
AMA 141	2	24,1	625,0	150,9
AMA 141	3	22,9	600,4	137,6
AMA 135	1	23,6	525,7	124,1
AMA 135	2	25,4	474,3	120,3
AMA 135	3	24,8	577,9	143,3
AMA 137	1	23,3	731,4	170,7
AMA 137	2	25,1	776,2	195,1
AMA 137	3	23,7	749,7	177,3
AMA 182	1	23,0	787,0	181,1
AMA 182	2	23,5	731,9	172,1
AMA 182	3	24,5	682,2	167,5
AMA 134	1	24,6	670,7	164,9
AMA 134	2	25,3	654,0	165,6
AMA 134	3	24,0	616,7	148,0
AMA 202	1	23,3	732,3	170,4
AMA 202	2	25,5	688,9	175,6
AMA 202	3	24,3	693,8	168,5
AMA 205	1	23,4	762,1	178,5
AMA 205	2	25,8	715,8	184,6
AMA 205	3	23,4	780,9	182,9
AMA 208	1	18,0	1086,2	196,0
AMA 208	2	19,2	1070,9	205,3
AMA 208	3	17,5	1067,1	187,0
AMA 258	1	25,0	722,5	180,8
AMA 258	2	25,6	678,0	173,7
AMA 258	3	25,5	728,1	185,4
AMA 259	1	24,1	722,6	174,5
AMA 259	2	25,0	662,0	165,4
AMA 259	3	23,1	727,3	167,7
AMA 204	1	22,0	660,2	145,5
AMA 204	2	24,5	724,2	177,4

Linie	Wiederholung	TS	FM	TM
		in %	in dt/ha	in dt/ha
AMA 204	3	23,7	700,4	166,0
AMA 181	1	22,2	721,8	160,6
AMA 181	2	22,9	774,6	177,4
AMA 181	3	23,0	776,0	178,8
AMA 216	1	24,9	667,1	166,0
AMA 216	2	26,1	693,3	180,8
AMA 216	3	24,7	659,2	162,5
AMA 110	1	23,4	564,9	132,2
AMA 110	2	24,9	685,3	170,6
AMA 110	3	26,9	604,7	162,6
AMA 214	1	22,4	685,1	153,5
AMA 214	2	24,1	718,2	173,3
AMA 214	3	23,9	740,5	176,6
AMA 224	1	20,9	689,1	144,0
AMA 224	2	23,2	799,6	185,7
AMA 224	3	23,3	796,4	185,2
AMA 245	1	24,2	689,6	166,6
AMA 245	2	25,2	713,6	180,1
AMA 245	3	26,0	681,9	177,2
AMA 229	1	21,9	682,9	149,2
AMA 229	2	23,4	750,4	175,4
AMA 229	3	24,5	721,3	176,7
AMA 090	1	18,2	940,3	170,8
AMA 090	2	20,2	1009,6	204,3
AMA 090	3	20,7	953,2	197,7
AMA 136	1	25,4	567,6	144,3
AMA 136	2	24,2	694,2	167,7
AMA 136	3	24,8	705,0	174,6
AMA 142	1	21,3	731,7	155,5
AMA 142	2	20,9	797,5	166,4
AMA 142	3	20,6	928,9	191,1
AMA 219	1	23,9	629,5	150,6
AMA 219	2	26,1	639,7	167,0

Linie	Wiederholung	TS	FM	TM
		in %	in dt/ha	in dt/ha
AMA 219	3	24,3	727,5	177,0
SEL 3	1	22,6	729,3	165,0
SEL 3	2	23,9	697,4	166,7
SEL 3	3	24,6	758,0	186,6
AMA 250	1	20,8	701,5	145,7
AMA 250	2	22,5	747,0	167,9
AMA 250	3	23,5	823,6	193,6
AMA 257	1	20,4	955,0	194,7
AMA 257	2	19,8	893,9	176,7
AMA 257	3	19,7	979,3	192,8
AMA 114	1	24,3	578,2	140,6
AMA 114	2	24,9	577,4	143,6
AMA 114	3	24,2	588,2	142,2
AMA 144	1	21,2	874,5	185,3
AMA 144	2	21,3	872,5	186,1
AMA 144	3	20,6	965,4	199,1
AMA 222	1	18,5	816,9	151,0
AMA 222	2	19,2	801,5	153,9
AMA 222	3	19,6	1013,1	198,2
SEL 6	1	21,4	692,4	148,4
SEL 6	2	23,6	637,4	150,3
SEL 6	3	20,7	731,8	151,1
AMA 253	1	22,2	758,2	168,2
AMA 253	2	23,6	651,6	153,9
AMA 253	3	24,2	744,3	180,0
AMA 153	1	21,2	970,5	205,6
AMA 153	2	22,0	925,0	203,6
AMA 153	3	20,9	851,0	178,0
AMA 195	1	22,7	767,7	174,2
AMA 195	2	23,9	729,7	174,7
AMA 195	3	22,3	802,0	179,2
AMA 108	1	23,6	555,5	131,1
AMA 108	2	23,8	513,8	122,2

Linie	Wiederholung	TS	FM	TM
		in %	in dt/ha	in dt/ha
AMA 108	3	23,7	656,3	155,5
AMA 197	1	25,6	611,7	156,9
AMA 197	2	27,2	577,3	156,8
AMA 197	3	25,5	555,6	141,5
SEL 2	1	24,6	742,1	182,7
SEL 2	2	23,1	707,0	163,5
SEL 2	3	21,0	777,5	163,5
SEL 5	1	20,8	650,4	135,0
SEL 5	2	22,1	659,8	145,9
SEL 5	3	22,1	597,6	131,9
SON 2	1	19,2	959,9	183,8
SON 2	2	22,0	987,1	217,2
SON 2	3	20,0	1014,8	203,3
SEL 1	1	21,3	934,1	198,5
SEL 1	2	21,8	879,6	191,7
SEL 1	3	21,1	908,3	191,8
SEL 7	1	19,0	1010,3	191,6
SEL 7	2	18,8	1020,1	191,6
SEL 7	3	18,9	1110,0	209,9
AMA 233	1	20,8	732,9	152,7
AMA 233	2	23,9	758,0	181,5
AMA 233	3	21,1	769,2	162,4

Tabelle 46: Ergebnisse des Batchtests 2017

	TS	oTS	CH <sub>4</sub> -Gehalt	Biogasausbeute			Methanausbeute		
	in %FM	in %TS	in %	1	2	3	1	2	3
AMA 182 GP	89,52	83,56	56	435,71	494,28	461,75	246,03	279,10	260,73
AMA 186 Stroh	90,07	82,85	56	440,68	422,11	378,04	246,88	236,48	211,79

Tabelle 47: Trockensubstanzgehalte und Trockenmasseerträge Düngerversuch 2017

Linie	Düngestufe	Wiederholung	Fraktion	TS	TM dt/ha
				in %	in dt/ha
AMA 182	70 kg N/ha	1	GP	22,0	68,9
AMA 182	70 kg N/ha	2	GP	22,2	84,2
AMA 182	70 kg N/ha	3	GP		
AMA 182	70 kg N/ha	4	GP	20,8	73,9
AMA 182	120 kg N/ha	1	GP		
AMA 182	120 kg N/ha	2	GP	21,3	106,7
AMA 182	120 kg N/ha	3	GP	24,9	107,2
AMA 182	120 kg N/ha	4	GP	23,6	120,4
AMA 182	170 kg N/ha	1	GP	22,3	114,8
AMA 182	170 kg N/ha	2	GP	24,9	131,6
AMA 182	170 kg N/ha	3	GP	20,8	115,7
AMA 182	170 kg N/ha	4	GP		
AMA 182	220 kg N/ha	1	GP	23,9	125,0
AMA 182	220 kg N/ha	2	GP		
AMA 182	220 kg N/ha	3	GP	20,9	129,8
AMA 182	220 kg N/ha	4	GP	21,4	122,0
AMA 182	270 kg N/ha	1	GP	21,0	114,0
AMA 182	270 kg N/ha	2	GP	21,4	131,1
AMA 182	270 kg N/ha	3	GP	21,9	126,9
AMA 182	270 kg N/ha	4	GP	22,7	132,6

Tabelle 48: Trockensubstanzgehalte und Trockenmasseerträge Düngeversuch 2018

Linie	Düngestufe	Wiederholung	Fraktion	TS	TM dt ha
				in %	in dt/ha
AMA 182	70 kg N/ha	1	GP	20,9	93,0
AMA 182	70 kg N/ha	2	GP	20,9	96,1
AMA 182	70 kg N/ha	3	GP	20,8	98,7
AMA 182	70 kg N/ha	4	GP	20,9	92,0
AMA 182	120 kg N/ha	1	GP	19,7	106,1
AMA 182	120 kg N/ha	2	GP	21,0	108,0
AMA 182	120 kg N/ha	3	GP	20,7	96,0
AMA 182	120 kg N/ha	4	GP	21,7	100,4
AMA 182	170 kg N/ha	1	GP	20,4	99,9
AMA 182	170 kg N/ha	2	GP	20,2	115,6
AMA 182	170 kg N/ha	3	GP	21,0	98,0
AMA 182	170 kg N/ha	4	GP	21,6	102,1
AMA 182	220 kg N/ha	1	GP	20,0	104,0
AMA 182	220 kg N/ha	2	GP	20,7	106,0
AMA 182	220 kg N/ha	3	GP	20,0	100,3
AMA 182	220 kg N/ha	4	GP	22,3	
AMA 182	270 kg N/ha	1	GP	20,4	107,4
AMA 182	270 kg N/ha	2	GP	19,7	95,6
AMA 182	270 kg N/ha	3	GP	19,9	102,5
AMA 182	270 kg N/ha	4	GP	22,0	106,1
AMA 186	70 kg N/ha	1	Korn	75,8	29,7
AMA 186	70 kg N/ha	2	Korn	76,8	27,6
AMA 186	70 kg N/ha	3	Korn	69,8	29,4
AMA 186	70 kg N/ha	4	Korn	77,0	31,2
AMA 186	120 kg N/ha	1	Korn	72,0	23,5
AMA 186	120 kg N/ha	2	Korn	75,9	31,5
AMA 186	120 kg N/ha	3	Korn	78,3	33,6
AMA 186	120 kg N/ha	4	Korn	76,0	29,5
AMA 186	170 kg N/ha	1	Korn	76,7	31,4
AMA 186	170 kg N/ha	2	Korn	79,2	31,8
AMA 186	170 kg N/ha	3	Korn	72,4	31,8
AMA 186	170 kg N/ha	4	Korn	72,3	30,5

---

AMA 186	220 kg N/ha	1	Korn	73,1	32,9
AMA 186	220 kg N/ha	2	Korn	73,0	32,8
AMA 186	220 kg N/ha	3	Korn	70,5	31,7
AMA 186	220 kg N/ha	4	Korn	68,4	30,5
AMA 186	270 kg N/ha	1	Korn	73,8	33,1
AMA 186	270 kg N/ha	2	Korn	70,3	35,1
AMA 186	270 kg N/ha	3	Korn	75,6	33,9
AMA 186	270 kg N/ha	4	Korn	76,1	31,2

Tabelle 49: Trockensubstanzgehalte und Trockenmasseerträge Mischanbau 2018

Variante	Linie/Sorte	Wiederholung	TS	TM
			in %	in dt/ha
Amarant	AMA 182	1	20,6	94,4
Amarant	AMA 182	2	22,2	103,3
Amarant	AMA 182	3	21,3	101,5
Amarant	AMA 182	4	21,4	102,9
Amarant Mais spät	AMA 182, Stacey	1	22,1	107,9
Amarant Mais spät	AMA 182, Stacey	2	21,9	96,4
Amarant Mais spät	AMA 182, Stacey	3	22,5	112,5
Amarant Mais spät	AMA 182, Stacey	4	22,6	108,2
Amarant Mais früh	AMA 182, Stacey	1	29,1	149,7
Amarant Mais früh	AMA 182, Stacey	2	29,4	141,4
Amarant Mais früh	AMA 182, Stacey	3	29,1	148,7
Amarant Mais früh	AMA 182, Stacey	4	29,2	137,1
Mais	Stacey	1	35,8	167,3
Mais	Stacey	2	34,3	121,5
Mais	Stacey	3	34,8	157,8
Mais	Stacey	4	36,2	157,3

Tabelle 50: Entwicklungsstadien der Reismelde, modifiziert nach Darwinkel (1997) [27]

Abschnitt	Allgemeine Definition (Makrostadium)	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



## 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 Brennwerttechnik 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 Dieselkraftstoff betriebenen Traktors

15	Befragung von Betreibern dezentraler Ölsaatenverarbeitungsanlagen
16	Schnellbestimmung des Wassergehaltes im Holzsplit
17	Untersuchungen zum Einsatz rapsölbetriebener Traktoren beim Lehr-, Versuchs- und Fachzentrum für Ökologischen Landbau und Tierhaltung Kringell
18	Miscanthus als Nachwachsender Rohstoff – Ergebnisse als 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 Anbauvarianten
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	Pflanzenöltaugliche 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
40	Optimale Bereitstellungsverfahren für Holzhackschnitzel
41	Qualitätssicherung bei der dezentralen Herstellung von Rapsölkraftstoff nach DIN 51605
42	Weiterentwicklung einer Siloabdeckung auf Basis Nachwachsender Rohstoffe
43	Brennstoffqualität von Holzpellets
44	Herstellung und Demonstration der Praxistauglichkeit von Traktoren mit Motoren der Abgasstufe IV im Betrieb mit Pflanzenöl
45	ExpRessBio – Methoden
46	Qualität von Holzhackschnitzeln in Bayern
47	Pflanzenöлтаugliche Traktoren der Abgasstufen I bis IIIB
48	Sorghum als Biogassubstrat – Präzisierung der Anbauempfehlungen für baye-rische Anbaubedingungen
49	Zünd- und Verbrennungsverhalten alternativer Kraftstoffe
50	Rapsölkraftstoffproduktion in Bayern – Analyse und Bewertung ökologischer und ökonomischer Wirkungen nach der ExpRessBio-Methode
51	Emissions- und Betriebsverhalten eines Biomethantraktors mit Zündstrahlmotor

52	Schnellbestimmung des Wassergehalts von Holzhackschnitzeln
53	Bioenergieträger mit Blühaspekt: Leguminosen-Getreide-Gemenge
54	Dauerkulturen – Aufzeigen der bayernweiten Anbaueignung
55	Lagerung von Holzhackschnitzeln
56	Holzhackschnitzel aus dem Kurzumtrieb
57	Optimierungspotentiale bei Kaminöfen – Emissionen, Wirkungsgrad und Wärmeverluste
58	Überführung einer Siloabdeckung auf Basis Nachwachsender Rohstoffe in die Praxisreife
59	Regionalspezifische Treibhausgasemissionen der Rapsverarbeitung in Bayern
60	Langzeitmonitoring pflanzenöltauglicher Traktoren der Abgasstufen I bis IV
61	Nutzereinflüsse auf die Emissionen aus Kaminöfen
62	Abgasverhalten von Fahrzeugen im realen Betrieb mit alternativen Kraftstoffen – Bestimmung mit einem portablen Emissionsmesssystem (PEMS)
63	Rapsölkraftstoff als Energieträger für den Betrieb eines forstwirtschaftlichen Vollernters (Harvester)
64	Amarant als Biogassubstrat: Selektion zur Erarbeitung praxistauglicher Amarantlinien für bayerische Standorte



