



Berichte aus dem TFZ

Screening und Selektion von Amarantsorten und -linien als spurenelementreiches Biogassubstrat

Projektpartner:



Screening und Selektion von Amarantsorten und -linien als spurenelementreiches Biogassubstrat



Screening und Selektion von Amarantsorten und -linien als spurenelementreiches Biogassubstrat

Veronika Eberl
Wiebke Fahlbusch
Dr. Maendy Fritz
Dr. Benedikt Sauer

Projektpartner:

Georg-August-Universität Göttingen
Interdisziplinäres Zentrum für Nachhaltige Entwicklung
(IZNE)



GEORG-AUGUST-UNIVERSITÄT
GÖTTINGEN

Berichte aus dem TFZ 37

Straubing und Göttingen, März 2014

Projekttitel: Screening und Selektion von Amarantsorten und -linien als spurenelementreiches Biogassubstrat

Projektleiter: Dr. Maendy Fritz - Gesamtvorhaben
Dr. Benedikt Sauer - Teilvorhaben IZNE

Autoren: Veronika Eberl (TFZ)
Wiebke Fahlbusch (IZNE)
Dr. Maendy Fritz (TFZ)
Dr. Benedikt Sauer (IZNE)

Mitarbeiter: Falko Stockmann (TFZ), Christian Loher (TFZ), Alexander Grüner (TFZ)
Tino Pasold (IZNE), Thomas Dinter (IZNE)

In Zusammenarbeit mit: Georg-August-Universität Göttingen
Interdisziplinäres Zentrum für Nachhaltige Entwicklung (IZNE)

Das dem Bericht zugrunde liegende Forschungsvorhaben wurde mit Mitteln des Bayerischen Staatsministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten unter dem Förderkennzeichen EW/12/42 im Zeitraum 01.01.2013 bis 28.02.2014 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt liegt bei den Autoren.

© 2014
Technologie- und Förderzentrum
im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ), Straubing

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

ISSN: 1614-1008

Hrsg.: Technologie- und Förderzentrum
im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ)
Schulgasse 18, 94315 Straubing
E-Mail: poststelle@tfz.bayern.de
Internet: www.tfz.bayern.de

Redaktion: Veronika Eberl
Verlag: Eigenverlag
Erscheinungsort: Straubing
Erscheinungsjahr: 2014
Gestaltung: Veronika Eberl, Uli Eidenschink

Fotonachweis: TFZ, Sachgebiet für Rohstoffpflanzen und Stoffflüsse

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	7
Tabellenverzeichnis.....	9
1 Einleitung.....	11
2 Stand des Wissens.....	13
2.1 Botanik.....	13
2.1.1 Taxonomie und Morphologie des Amarants.....	13
2.1.2 Generelle Standortansprüche	14
2.2 Amarantanbau in Europa	15
2.2.1 Bestandsführung unter den klimatischen Bedingungen Europas	15
2.2.2 Anbauumfang in Europa	17
2.2.3 Ertragspotenzial in Europa.....	17
2.3 Die Bedeutung des Amarants in der Biogaserzeugung.....	19
2.3.1 Grundlegende Verfahrensschritte im Biogasprozess	19
2.3.2 Biogasertragspotenzial von Amarant	21
2.3.3 Physiologische Eigenschaften des Amarants in der Biogaserzeugung	21
3 Zielsetzung.....	23
4 Material und Methoden	25
4.1 Versuchsdurchführung	25
4.1.1 Betrachtetes Sortenmaterial im Screening.....	25
4.1.1.1 Herkünfte der Genotypen.....	26
4.1.1.2 Kurzporträts der im Screening vertretenen Arten	27
4.1.2 Charakteristik des Versuchsstandorts.....	29
4.1.3 Witterungsverlauf am Standort Straubing	29
4.1.4 Versuchsanlage und Versuchsdurchführung	31
4.1.5 Ernte und Probenaufbereitung	32
4.1.6 Wertgebende Inhaltsstoffe und Biogaspotenzial	33
4.1.7 Spurenelementanalyse	35
4.2 Vegetationsbegleitende Datenerhebung und statistische Auswertung	36
4.3 Saatgutgewinnung.....	36
5 Ergebnisse und Diskussion	39
5.1 Bestandsentwicklung	39
5.1.1 Allgemeine Bestandsentwicklung.....	39
5.1.2 Abiotische Stressfaktoren	40
5.1.3 Biotische Schadbilder	41
5.1.3.1 Weißer Rost (<i>Albugo candida</i>)	41
5.1.3.2 Kohleule (<i>Mamestra brassicae</i>)	42
5.2 Ertragsleistung der Genotypen	43

5.3	Wertgebende Inhaltsstoffe auf Basis der Weender Futtermittelanalyse	48
5.4	Biogasertragspotenzial.....	52
5.5	Spurenelementanalyse	55
5.5.1	Spurenelementgehalte von Amaranth im Vergleich mit anderen Energiepflanzen des Versuchsstandorts	56
5.5.1.1	Cobalt und Nickel	57
5.5.1.2	Weitere Spurenelementgehalte von Amaranth im Vergleich mit anderen Energiepflanzen des Versuchsstandorts	59
5.5.2	Spurenelementauswertung der verschiedenen Amaranth-Genotypen	63
5.5.3	Nutzungsmöglichkeit von Amaranth als spurenelementreicher Zusatzinput in Biogasanlagen.....	64
5.5.4	Abschließende Empfehlung.....	66
	Zusammenfassung und Schlussfolgerung.....	69
	Quellenverzeichnis	71

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Umwandlung von Gärsubstrat in Biogas (Quelle: modifiziert nach [23]).....	19
Abbildung 2: <i>Amaranthus caudatus</i> (Quelle: modifiziert nach eFloras.org [22])	27
Abbildung 3: <i>Amaranthus cruentus</i> (Quelle: modifiziert nach Grubben [29])	27
Abbildung 4: <i>Amaranthus tricolor</i> (Quelle: modifiziert nach Grubben [30])	27
Abbildung 5: <i>Amaranthus hybridus</i> (Quelle: modifiziert nach eFloras.org [22])	28
Abbildung 6: <i>Amaranthus hypochondriacus</i> (Quelle: modifiziert nach University of Florida [54])	28
Abbildung 7: <i>Amaranthus powellii</i> (Quelle: modifiziert nach eFloras.org [22]).....	28
Abbildung 8: Witterungsverlauf am Standort Straubing im Vegetationsjahr	30
Abbildung 9: Versuchsanlage Amarant-Screening (nicht maßstabsgetreu)	32
Abbildung 10: Dichter Reihenschluss in den Großparzellen gegenüber lückigen Beständen bei den Kleinparzellen	39
Abbildung 11: Ergebnisse der Lagerbonitur im Vergleich von 1. und 2. Saattermin	40
Abbildung 12: Trockenmasseertrag und Trockensubstanzgehalt von Amarant getrennt nach Saattermin	44
Abbildung 13: Ergebnisse der Lagerbonitur im 2. Saattermin in Abhängigkeit des erzielten Trockensubstanzgehalts bei der Ernte.....	46
Abbildung 14: Ertragsleistung von Amarant im Vergleich zu anderen Energiepflanzen; Fehlerbalken = Standardfehler	47
Abbildung 15: Inhaltsstoffe von Amarant im Vergleich zu anderen Energiepflanzen; ADL = Säure Detergenz Lignin, NfE = N-freie Extraktstoffe, ST = Saattermin	49
Abbildung 16: Nitratgehalte bei Amarant im Vergleich der Saattermine und Versuchsanlagen (Box: 25 – 75 %; Whisker 5 – 95 %; Strich: Median; Viereck: arithmetisches Mittel)	51
Abbildung 17: Mittlerer Methanertrag und -ausbeute von Amarant im Vergleich mit anderen Energiepflanzen	53
Abbildung 18: Cobaltgehalte in verschiedenen Substraten: Amarant GP (n = 65), Amarant KP (n = 10), Buchweizen (n = 5), Quinoa (n = 5), Sorghum (n = 4) und Mais (n = 6); Fehlerbalken = Standardfehler	57
Abbildung 19: Nickelgehalte in verschiedenen Substraten: Amarant GP (n = 64), Amarant KP (n = 10), Buchweizen (n = 5), Quinoa (n = 5), Sorghum (n = 4) und Mais (n = 6); Fehlerbalken = Standardfehler	58
Abbildung 20: Molybdängehalte in verschiedenen Substraten: Amarant GP (n = 67), Amarant KP (n = 10), Buchweizen (n = 5), Quinoa (n = 5), Sorghum (n = 4) und Mais (n = 6); Fehlerbalken = Standardfehler.....	60

Abbildung 21: Kupfergehalte in verschiedenen Substraten: Amaranth GP (n = 65), Amaranth KP (n = 10), Buchweizen (n = 5), Quinoa (n = 5), Sorghum (n = 4) und Mais (n = 6); Fehlerbalken = Standardfehler 61

Abbildung 22: Eisengehalte in verschiedenen Substraten: Amaranth GP (n = 64), Amaranth KP (n = 9), Buchweizen (n = 5), Quinoa (n = 5), Sorghum (n = 4) und Mais (n = 6); Fehlerbalken = Standardfehler 61

Abbildung 23: Mangengehalte in verschiedenen Substraten: Amaranth GP (n = 67), Amaranth KP (n = 10), Buchweizen (n = 5), Quinoa (n = 5), Sorghum (n = 4) und Mais (n = 6); Fehlerbalken = Standardfehler 62

Abbildung 24: Zinkgehalte in verschiedenen Substraten: Amaranth GP (n = 67), Amaranth KP (n = 10), Buchweizen (n = 4), Quinoa (n = 5), Sorghum (n = 4) und Mais (n = 6); Fehlerbalken = Standardfehler 62

Abbildung 25: Blick auf die Versuchsanlage der Großparzellen; gut entwickelte Bestände im 2. Saattermin (vorne) zeugen vom hervorragenden Kompensationsvermögen des Amaranths 111

Abbildung 26: Sortenvielfalt in der Kleinparzellenanlage 111

Abbildung 27: Homogene Saatreihen des 1. Saattermins (links) gegenüber vergleichsweise lückigen Beständen im 2. Saattermin (rechts) 112

Abbildung 28: Lagernde Bestände nach starken Winden Anfang September 2013 112

Abbildung 29: Frostschäden an Amaranthpflanzen im Oktober 2013..... 113

Abbildung 30: Schadbild an Amaranthpflanzen, vermutlich verursacht durch den Pilzerreger *Albugo candida*..... 114

Abbildung 31: Typischer Fensterfraß (links) durch *Mamestra brassicae*, der sich mit zunehmendem Wachstum der Larven zum Skelettierfraß (rechts) erweiterte..... 114

Abbildung 32: Larve der Kohleule im früheren (links) und späteren Entwicklungsstadium (Mitte) sowie Löcher im Boden (rechts), in denen die Larven im Puppenstadium überdauern 114

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Mindestgehalte ausgewählter Spurenelemente im Substrat [43].....	21
Tabelle 2:	Übersicht über das verfügbare Sortenmaterial im Hinblick auf die vertretenen Amaranarten und die verfügbaren Saatgutmengen.....	25
Tabelle 3:	Standortbedingungen am Versuchsfeld „Brunnenfeld“, Standort Straubing.....	29
Tabelle 4:	Versuchsbedingungen am Standort Straubing im Versuchsjahr 2013, differenziert nach den zwei Saatterminen.....	31
Tabelle 5:	Wertgebende Inhaltsstoffe und ihre Schwankungsbreiten bei Amaran in Abhängigkeit des Saattermins	50
Tabelle 6:	Methanerträge von 25 Amaran-Genotypen im Vergleich von rechnerischen Modellen und Hohenheimer Biogasertragstest	54
Tabelle 7:	Elementtotalgehalte des Oberbodens des Versuchsstandorts „Brunnenfeld“ bei Straubing	55
Tabelle 8:	Übersicht über die Pflanzenprobensätze der Spurenelementanalyse	56
Tabelle 9:	Statistische Parameter für die Spurenelementanalyse der Amaranproben aus den Großparzellen des 1. Saattermins.....	63
Tabelle 10:	Auswahl spurenelementreicher Amarantsorten aus den Großparzellen des 1. Saattermins.....	64
Tabelle 11:	Zu erreichende Elementkonzentrationen im feuchten Fermenter bei Zugabe verschiedener Mischungen, basierend auf 30 % TS-Gehalt für Pflanzen und 8 % für Gülle	65
Tabelle 12:	Betrachtete Genotypen im Screening.....	77
Tabelle 13:	Entwicklungsstadien der Reismelde, stark modifiziert nach [15]	82
Tabelle 14:	Bonitur- und Ertragsdaten der Genotypen des 1. Saattermins	83
Tabelle 15:	Bonitur- und Ertragsdaten der Genotypen des 2. Saattermins	86
Tabelle 16:	Boniturdaten der Kleinparzellen	88
Tabelle 17:	Ertragsleistung von Amaran im Vergleich zu anderen Energiepflanzen; Basis der Berechnungsbeispiele in Kapitel 5.5	91
Tabelle 18:	Übersicht über die bei den einzelnen Genotypen veranlassten Analysen	92
Tabelle 19:	Inhaltsstoffgehalte der Genotypen nach der erweiterten Weender Futtermittelanalyse im 1. Saattermin	99
Tabelle 20:	Inhaltsstoffgehalte der Genotypen nach der erweiterten Weender Futtermittelanalyse im 2. Saattermin	101
Tabelle 21:	Inhaltsstoffgehalte der Genotypen nach der erweiterten Weender Futtermittelanalyse bei den Kleinparzellen	103

Tabelle 22:	Biogas- und Methanausbeuten der betrachteten Genotypen auf Basis des Hohenheimer Biogasertragstests sowie Methanerträge	106
Tabelle 23:	Elementgehalte der verschiedenen Probensets in mg/kg auf TS bezogen; ausgewiesen als Median mit zugehörigem Standardfehler ...	107
Tabelle 24:	Physiologische Elementgehalte von Amaranth und Buchweizen, Quinoa, Sorghum und Mais, gemessene Elementgehalte bei Rindergülle	108
Tabelle 25:	Fortsetzung der Elementgehalte in Tabelle 24: Physiologische Elementgehalte von Amaranth und Buchweizen, Quinoa, Mais und Sorghum; gemessene Elementgehalte bei Rindergülle	109

1 Einleitung

Die deutsche Energiepolitik hat in den letzten Jahren einen gravierenden Änderungsprozess durchlaufen. Seit der Verabschiedung der 1. Fassung des Gesetzes für den Vorrang Erneuerbarer Energien (EEG) im Jahr 2000 hat auch der Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen in der energetischen Nutzung sukzessive an Bedeutung gewonnen. Mit dem Reaktorunglück in Fukushima im März 2011 erlangte die Thematik eine noch nie dagewesene Brisanz. Der nachfolgende Beschluss der Bundesregierung zum endgültigen Atomausstieg bis zum Jahr 2022 und die damit einhergehende Beschleunigung der Energiewende erfordern nun einen noch stärkeren Fokus auf die nachwachsenden Rohstoffe.

Der Anbau von Energiepflanzen kann hier im Speziellen dazu beitragen, fossile Rohstoffe in der Energiegewinnung zu ergänzen und letztendlich zu ersetzen. Das aus der Biomasse gewonnene Biogas ähnelt in seiner Zusammensetzung in hohem Maße dem Erdgas und lässt sich für den Betrieb verschiedenster Verbrennungskraftmaschinen nutzen, um nachfolgend in elektrische Energie umgewandelt zu werden. Unabhängig von externen Faktoren wie Sonne oder Wind leisten Biogasanlagen somit schon heute einen wichtigen Beitrag zur Sicherung der Grundlast. Von besonderer Bedeutung ist jedoch, dass Biogasanlagen – bei weiterer sinnvoller Ausgestaltung der Novellen des EEG – in der Lage sein werden, bedarfsorientiert Spitzenlastkapazität bereitzustellen, wenn andere Elektrizitätsquellen versiegen.

Die absolut dominierende Fruchtart in der Biogasproduktion stellt aktuell der Mais dar. Eine Limitierung des Einsatzes von Maissubstrat nach dem EEG 2012 macht die Integration neuer Kulturpflanzen in den Anbau von Energiepflanzen deshalb unumgänglich. Ferner muss es Ziel sein, mit der Gestaltung ausgewogener Fruchtfolgen die Biodiversität in der Agrarlandschaft zu verbessern und dem bei Monokulturen verstärkt auftretenden Schädlingsdruck (z. B. Westlicher Maiswurzelbohrer) im Sinne der guten fachlichen Praxis auf diese Weise entgegenzuwirken. Die viel diskutierte Konkurrenz von Energiepflanzenbau und Nahrungsmittelproduktion um landwirtschaftliche Flächen verdeutlicht zudem die Notwendigkeit, die Effizienz der Biogasproduktion weiter zu steigern. Die effektivste Maßnahme zur Verbesserung des Wirkungsgrads dieser Anlagen liegt dabei in der Erhöhung der Flächenproduktivität. Neben dem Anbau ertragreicher Kulturen kann auch der Einsatz neuer Energiepflanzen als Zweitfrucht helfen, die Biogasausbeute pro Flächeneinheit zu steigern. Ein weiterer Ansatz liegt in der Optimierung der Methanproduktivität. Hier setzt man auf Kulturpflanzen, deren besonders hoher Gehalt an Spurenelementen wie z. B. Cobalt oder Nickel die Prozessstabilität im Biogasfermenter unterstützt und so den Methanertrag positiv beeinflussen kann.

Als interessante Kulturart in jeglicher Hinsicht zeigt sich dabei der Amaranth, dessen Bestände ein großes Ertragspotenzial aufweisen [7] [27] [35] [50]. Diese vielversprechenden Ergebnisse aus ersten Versuchen sind Anlass für eine eingehendere Betrachtung.

2 Stand des Wissens

2.1 Botanik

Die Geschichte des Amarants als Kulturpflanze reicht lange zurück. Die Körner der Pseudocerealie Amarant dienten bereits vor Jahrtausenden den Völkern der Anden- und Hochländer Südamerikas als wichtiges Nahrungsmittel. Eine weitere, nicht zur Körnerproduktion genutzte Gruppe an Amarantarten ist seit Langem in Asien beheimatet und dient dort der Nutzung als Blatt- und Zierpflanze.

Die Gattung *Amaranthus* besteht aus einer Vielzahl verschiedener Arten. Ebenso mannigfaltig gestaltet sich die Ausprägung der Phänotypen. Diese Varianz gilt nicht nur zwischen den verschiedenen Arten, sondern bisweilen auch für die verschiedenen Genotypen innerhalb einer Art und erstreckt sich neben der Morphologie auch auf das Abreifeverhalten und die Ertragsbildung.

2.1.1 Taxonomie und Morphologie des Amarants

Der Amarant ist ein Fuchsschwanzgewächs und gehört damit zur Familie der Amaranthaceae. Im Gegensatz zu den klassischen Getreidearten wie Weizen, Gerste oder Roggen, die den einkeimblättrigen Süßgräsern zuzurechnen sind, ist der Amarant eine zweikeimblättrige Pflanzenart. Die Vertreter sämtlicher bekannter Arten sind einjährig. Die Gattung *Amaranthus* umfasst rund 70 verschiedene Arten, welche wiederum verschiedenen Subgattungen zugeordnet werden können. Die Klassifikation wurde mehrfach überarbeitet und reicht von der ursprünglichen Einteilung nach Sauer (1967) [48] in zwei verschiedene Subgattungen bis hin zur modifizierten Klassifikation nach Mosyakin und Robertson (2003) [40] auf der Basis dreier verschiedener Subgattungen. Sauer stützt sich bei seiner Einteilung allein auf eine Differenzierung nach monözischen und diözischen Pflanzen, um diese nachfolgend den Subgattungen *Amaranthus* L. bzw. *Acnida* (L.) Aellen ex K. R. Robertson zuzuordnen. Mosyakin und Robertson ziehen weitere Merkmale wie die Ausprägung der Rispe und der einzelnen Blüten hinzu und weisen als Ergebnis der vorgenommenen Klassifikation die folgenden drei Subgattungen aus: *Acnida* (L.) Aellen ex K. R. Robertson, *Amaranthus* und *Albersia*. Kritisiert wird der modellhafte Charakter dieser neuen Gliederung. Da bisher noch keine abschließende Einteilung der Amarantarten nach der neuen Klassifikation vorgenommen wurde, wird von verschiedener Seite der Einwand erhoben, dass sich die Sinnhaftigkeit der überarbeiteten Spezifikation bisher nicht beweisen lässt [14]. Nachfolgende Angaben in dieser Arbeit, die einen Bezug zur Taxonomie erfordern, beziehen sich daher stets auf die klassische Einteilung der Subgattungen nach Sauer [48].

Die morphologischen Unterschiede bestehen in der Wuchshöhe sowie in der Form und Farbe der vegetativen und generativen Teile der Pflanzen. Es besteht eine erhebliche Varianz hinsichtlich der Blatt- und Stängelfarben, die sich von grün bis dunkelrot erstrecken. Auch bei der Blattgröße und der Dichte der Belaubung gibt es Unterschiede. Zahlreiche Varianten weist auch die Ausprägung der Rispenstände auf. Es existieren sowohl aufrechte als auch hängende Varianten, die Färbung reicht von grün über gelb und

orange bis hin zu den verschiedensten Rottönen. Als monözische Pflanzen bilden die einzelnen Individuen sowohl männliche als auch weibliche Blüten aus, deren räumliche Anordnung auf der Rispe zu einer überwiegenden Selbstbefruchtung führt. Eine Ausnahme stellt eine Gruppe morphologisch abweichender Amarantarten dar, die, als Zier- und Blattpflanze genutzt, in Asien beheimatet ist. Die Vertreter dieser Gruppe sind diözisch, wurden laut Aufhammer (2000) [6] nach bisherigem Kenntnisstand aber weder domestiziert noch großräumig verbreitet. Auch die im Rahmen des Sortenscreenings betrachteten Genotypen sind ausschließlich der monözischen Untergattung des Amarants zuzuordnen. Die rund bis rund-ovalen Samen sind ebenfalls in einer großen farblichen Mannigfaltigkeit zu erkennen. Die Samenfarbe lässt zwar keine Rückschlüsse hinsichtlich der Art zu, gilt aber als Indikator für die Domestikation von Amarant. Während die wilden Amarantarten sehr kleine, dunkelbraune bis schwarze Samen entwickeln, weist der Kulturamarant helle, etwas größere Samen auf. Der Hintergrund dieser Entwicklung liegt im höheren Tanningehalt der dunkelfarbigem Samen. Diese pflanzlichen Gerbstoffe führen zu einem unangenehm bitteren Geschmack und sind in der Kornerzeugung deshalb unerwünscht.

2.1.2 Generelle Standortansprüche

Als C4-Pflanze weist der Amarant eine besonders effiziente Form der Photosynthese auf. Durch die aktive Anreicherung von Kohlenstoffdioxid wird im Vergleich zu den C3-Pflanzen eine höhere Photosyntheserate erzielt – eine vorteilhafte Eigenschaft, die besonders unter ariden Bedingungen zum Tragen kommt. Im Pflanzenbau stellt sich der Amarant so als eine Kulturart dar, die sich in verschiedenen geografischen Regionen den unterschiedlichsten Umweltbedingungen anzupassen vermag. Allerdings hat Amarant, ähnlich dem Sorghum, einen hohen Wärmebedarf und ist sehr frostempfindlich. Als Mindestkeimtemperatur werden in der einschlägigen Literatur Werte von 12 °C bis 15 °C aufgeführt, Frostschäden treten in der Regel bereits ab 0 °C auf, einzelne Amarantsorten sollen auch Kältebereiche bis zu - 3 °C überstehen [5].

In Abhängigkeit von der Art weist Amarant eine mehr oder weniger ausgeprägte Kurztagsempfindlichkeit auf. Diese Tageslängenabhängigkeit von Entwicklungsprozessen, genannt Photoperiodismus, ist genetisch bedingt. Für Genotypen, die einer ausgeprägten Kurztagsempfindlichkeit unterliegen, bedeutet dies konkret, dass ein Eintritt in die generative Phase der Entwicklung erst mit dem Unterschreiten einer gewissen, als kritisch zu bezeichnenden Tageslänge eingeleitet wird. Erst wenn die Tage kurz genug sind, kommt es zur Blüte und Samenbildung. Herrschen bei der Aussaat Langtagsbedingungen vor, reagieren Kurztagspflanzen darauf mit einer verlängerten vegetativen Entwicklungsphase. Sowohl der Aussattermin für eine Nutzung als Hauptfrucht als auch der Aussattermin für eine Nutzung als Zweitfrucht liegt beim Amarant unter bayerischen Standortbedingungen im Langtag. Als Arten mit ausgeprägter Kurztagsempfindlichkeit gelten *Amaranthus hypochondriacus* und dessen am nächsten verwandte Wildform *Amaranthus powellii* sowie *Amaranthus caudatus*. Typen des *Amaranthus hybridus* und des *Amaranthus tricolor* sind dagegen als weitgehend tagneutral einzustufen, d. h. viele Typen kommen auch unter Langtagsbedingungen zur Blüte und reifen relativ zügig ab.

Am besten sind die Vertreter des *Amaranthus cruentus* an die Bedingungen im Langtag angepasst; unter diesen Voraussetzungen scheinen sie im Vergleich mit den anderen Amaranarten für den Anbau in mitteleuropäischen Breitengraden prädestiniert [6].

2.2 Amaranentanbau in Europa

2.2.1 Bestandsführung unter den klimatischen Bedingungen Europas

Verglichen mit den dominierenden Getreidearten wurde Amaranth bisher nur marginal züchterisch bearbeitet. Eine Anpassung der Pflanze an die in Mitteleuropa vorherrschenden Aufwuchsbedingungen konnte folglich nur in begrenztem Umfang realisiert werden. Umso wichtiger ist es, die Bestände mit pflanzenbaulichen Maßnahmen bestmöglich in ihrer Entwicklung zu unterstützen, damit sie den Ansprüchen einer Kulturpflanze gerecht werden können.

Im Hinblick auf die breite Arten- und Sortenvielfalt lassen sich Amaranthbestände auf Böden unterschiedlicher Qualität und mit unterschiedlichen pH-Werten etablieren. Wichtiges Kriterium bei der Wahl eines geeigneten Standorts ist eine rasche Bodenerwärmung, sodass leichtere Böden im Zweifelsfall besser geeignet sind als zu schwere und kalte Böden. Je später im Frühjahr der Standort und auch die Vorfrüchte die Aussaat erlauben, desto schmaler wird das Zeitfenster für die Abreife der Bestände vor den einsetzenden Frösten im Herbst. Parallel ist auf eine geeignete Sortenwahl für die verfügbare Vegetationszeit zu achten. Herkunftsbezogen bewegen sich die Vegetationszeitanprüche von Amaranthsorten zur Körnernutzung zwischen 120 und 210 Tagen [6]. Im Hinblick auf eine ausreichende Abreife und Trockenmassebildung ist bei der Energiepflanzennutzung ein ähnlicher Zeitraum anzusetzen wie bei der Kornnutzung. Unter diesen Rahmenbedingungen sollten anbauwürdige Sorten einen Vegetationszeitanpruch von 120 Tagen nicht überschreiten. Denn nur so bleibt eine ausreichende Abreife auch bei ungünstiger Jahreswitterung und demzufolge der Verlängerung der nötigen Vegetationszeit garantiert. Darauf weist insbesondere Aufhammer hin, der bei seinen Anbauversuchen am Standort Hohenheim bei der Vegetationsdauer auf jahresabhängige Differenzen von 3 bis 32 Tagen verweist [6].

Ein weiterer Aspekt ist die sinnvolle Einordnung der Kultur in die Fruchtfolge. Der Anbau auf Flächen mit großen Mengen an Vorfruchtückständen birgt die Gefahr einer unkontrollierbaren Stickstoffnachlieferung, welche ein starkes vegetatives Wachstum fördert und somit die Lagerneigung des Bestands begünstigt. Auch im Hinblick auf die generelle Abreifeproblematik ist ein zu hohes Angebot an Stickstoff unerwünscht. Demzufolge sollte auch die Düngung generell verhalten erfolgen. Für eine gute Bestandsentwicklung genügen ein Sollwert von rund 150 kg N/ha sowie 50 kg P₂O₅/ha und 100 kg K₂O/ha. Auch Stallmist, Gülle und Gärreste sind, dosiert eingesetzt, gut verträglich. Anderweitig besteht die Gefahr einer unkontrollierten Stickstoffnachlieferung.

Voraussetzung für einen hohen Feldaufgang ist ein optimal vorbereitetes, feinkrümeliges Saatbeet, denn verschlammte oder gar verkrustete Oberflächenstrukturen kann die epigäisch keimende Pflanze mit ihrem feinen Hypokotylhaken nicht durchdringen. Beobachtungen von Kübler et al. [35], nach denen der Feldaufgang infolge eines starken Regeneignisses mit anschließender Verkrustung der Bodenoberfläche bei nur 15 % lag, bestätigen diese Empfehlung. Ebenso sollte die Aussaat wegen der genannten Wärmebedürftigkeit möglichst nicht vor Mitte Mai erfolgen [6]. Als Saatverfahren eignen sich sowohl der Einsatz üblicher Drilltechnik als auch die Verwendung spezieller Einzelkornsäegeräte für Feinsämereien mit exakter Tiefenablage. Der Reihenabstand kann dabei auf den üblichen Getreideabstand festgelegt werden. Um die Option einer mechanischen Unkrautbekämpfung zu einem späteren Zeitpunkt offenzuhalten, hat es sich jedoch bewährt, den Reihenabstand, abhängig von der vorhandenen Hacktechnik, auf bis zu 37,5 cm zu erweitern. Für eine angemessene Bestandsdichte ist eine Saatedichte von 150 keimfähigen Körnern/m² anzustreben. Je nach Keimfähigkeit und Tausendkorngewicht entspricht dies einer Saatmenge von 0,5 bis 1,5 kg/ha. Um bei dieser geringen Menge eine gleichmäßige Ablage sicherzustellen, empfiehlt sich eine Aufmischung des Saatguts mit zweckmäßigen Füllmaterialien wie z. B. Grieß oder Semmelbrösel.

Generell ist Amarant in der Jugendentwicklung sehr zögerlich und der Bestandsschluss kann von einer Vielzahl Faktoren gefährdet werden. Die ausgesprochen kleinen Pflanzen zeigen sich anfällig gegenüber Verunkrautung und sind erst mit vollzogenem Bestandsschluss in der Lage, aufkommendes Unkraut zu unterdrücken. Zur chemischen Unkrautbekämpfung ist seit 2006 das Herbizid Mikado (Zulassungsende 31.12.2016) im Nachauflauf zur Bekämpfung einjähriger zweikeimblättriger Unkräuter vom 4-Blatt- bis zum 6-Blatt-Stadium zugelassen; die empfohlene Aufwandmenge liegt bei 1,5 l/ha. Alternativ ist der Einsatz einer Hacke bei einer Wuchshöhe von 5 bis 10 cm möglich. Weitere Pflanzenschutzmaßnahmen sind im Allgemeinen nicht nötig.

Die Entwicklung und das Wachstum der verschiedenen vegetativen und generativen Organe verlaufen bei Pseudocerealien wie dem Amarant in stärkerem Maße simultan als bei den klassischen Getreidearten. Die fortgesetzte Verzweigung führt zu einer Überlagerung der Entwicklungsabschnitte, d. h., die Makro- und Mikrostadien gehen soweit ineinander über, dass die Pflanze gleichzeitig Blütenknospen, offene Blüten sowie Körner in differenzierten Ausbildungsstadien trägt. Dies kann die klare Zuordnung und die genaue Beschreibung des Entwicklungsstands erheblich erschweren. Die ungleichmäßige Abreife mit unterschiedlich ausgereiften Kornfraktionen als Folge stellt insbesondere bei der Nutzung der Pflanze für die Korngewinnung ein Problem dar.

Bei einer Nutzung des Amarants für die Biogaserzeugung sollte der Erntetermin möglichst spät angesetzt werden, um eine ausreichende Abreife der Pflanze und gute Siliereigenschaften erzielen zu können. Den beschränkenden Faktor in den mitteleuropäischen Breitengraden wird dabei stets die herbstlich-kühle Witterung zum Ende der Vegetationsperiode bilden, denn die Beerntung der kälteempfindlichen Amarantbestände muss unter allen Umständen vor den ersten Frösten erfolgen. Als Erntetechnik empfiehlt sich für eine Bergung der Gesamtpflanze der Einsatz eines Feldhäckslers mit Maiserntevorsatz.

2.2.2 Anbauumfang in Europa

Infolge des allgemein geringen Bekanntheitsgrads und der schwierigen Rahmenbedingungen für eine erfolgreiche Bestandsetablierung, beschränkt sich der Anbauumfang des Amarants in Europa auf wenige Hundert Hektar. Genaue Zahlen konnten nicht ermittelt werden. Einen Anhaltspunkt bietet lediglich ein Wert aus dem Jahr 2000, der den weltweiten Anbauumfang auf eine Fläche von 300.000 ha schätzt. Ausgehend von der Annahme, dass in etwa die Hälfte der Körnerproduktion dient, hat Amarant mit einem Wert von 0,01 % einen äußerst geringen Anteil an der weltweiten jährlichen Getreideproduktion [6].

Verschiedene Forschungsvorhaben zum Anbau von Amarant liefen zuletzt neben Deutschland auch in Österreich, Polen, Tschechien sowie den baltischen Ländern. Im Fokus stand dabei meist die Körnernutzung. Im Jahr 1998 wurde der bisher einzigen deutschen Amarantsorte, „Bärnkrafft“, der Sortenschutz erteilt. Als Besonderheit ist festzuhalten, dass Sorten von Pseudogetreidearten nach deutschem Recht zwar schutzaber nicht zulassungsfähig sind. Der Sortenschutz wird auf Antrag und nach Prüfung der Sorte auf Homogenität, Unterscheidbarkeit und Beständigkeit durch das Bundessortenamt erteilt. Dem entgegen würde die Zulassung nach dem Saatgutverkehrsgesetz eine umfangreiche Wertprüfung mit der Beschreibung der agronomischen Eigenschaften voraussetzen. Da den Arten bis heute kein landeskultureller Wert zuerkannt wird, erfolgt auch keine Wertprüfung. Eine Beurteilung der Sorte nach Parametern wie Abreifeverhalten oder Lageranfälligkeit wird von offizieller Seite daher nicht abgegeben.

2.2.3 Ertragspotenzial in Europa

Zum Ertragspotenzial von Amarant wurden bereits einige Studien veröffentlicht. Im Ergebnis kann für den Amarantanbau in Europa dabei eine übliche Ertragsspanne von 60 bis 100 dt TM/ha festgelegt werden. Die Hintergründe der Differenz liegen zum einen in gegebenen Parametern wie der gewählten Sorte, den Klimabedingungen und den Bodeneigenschaften. Zum anderen beeinflussen aber auch variable Faktoren, auf die im Rahmen pflanzenbaulicher Maßnahmen Einfluss genommen werden kann und zu denen Düngung, Saattermin und Saattiefe zählen, die Ertragsbildung. So bewegen sich sowohl die Ergebnisse von Aufhammer & Kübler [7] und Kübler et al. [35] als auch von Sauerbeck [50] exakt in der oben aufgeführten Spanne. Spitzenwerte wurden unter niederbayerischen Versuchsbedingungen auf einem Straubinger Löss-Standort realisiert. Hier erreichte der Amarant einen maximalen TM-Ertrag von 150 dt TM/ha [27]. Auch im Baltikum gibt es Untersuchungen zur Ertragsleistung und Anbauwürdigkeit von Amarant. Bei den von Svirskis in Litauen durchgeführten Versuchen ergaben sich im Mittel Erträge von 68 dt TM/ha [53]. Balodis et al., die in Lettland Versuche zum Biomasseertrag verschiedener Pflanzen für die Biogasproduktion durchführten, wiesen für Amarant durchschnittliche Erträge von 78 dt TM/ha aus [8]. Sämtliche Studien bestätigen den o. g. Ertragsrahmen von Amarant, bringen gleichzeitig aber auch den Standorteinfluss zum Ausdruck.

Neben dem generellen Ertragspotenzial des Amarants wurde in einigen Studien zusätzlich die Bedeutung der optimalen Aussaatstärke untersucht. Diese Fragestellung wurde bisher primär vor dem Hintergrund eines maximalen Kornertrags diskutiert. In der Energiepflanzenproduktion stellt der Trockenmasseertrag einer Kultur den wertbestimmenden Parameter dar, sodass die optimale Saatkichte dort liegt, wo ein möglichst hoher TM-Gehalt und hohe Anteile an Sprossmasse zu erreichen sind. Während Gimlinger et al. [28] zu dem Ergebnis kamen, dass Kornertrag und Aussaatstärke negativ korrelieren, darf dieser Zusammenhang so nicht auf den Trockenmasseertrag/ha übertragen werden. Gestützt auf mehrere Studien [28] [35] gilt zusammenfassend die Aussage, dass mit einer höheren Aussaatmenge ein entsprechend höherer TM-Ertrag realisiert werden kann. Übersteigt allerdings die Menge der ausgebrachten Körner/m² bzw. die Pflanzendichte/m² bestimmte Werte, so tritt ein gegenläufiger Trend ein. So kamen mehrere Studien [28] [35], deren maximale Saatkichte aber niemals über 400 keimfähige Körnern/m² lag, zu dem Ergebnis, dass der Ertrag mit zunehmender Saatkichte jeweils signifikant anstieg. Svirskis [53] erhöhte in seinen Versuchen die maximale Aussaatstärke auf bis zu 1000 Körner/m². An dieser Stelle zeigte sich, dass die Saatkichte nicht beliebig gesteigert werden kann, ohne dass gleichzeitig eine Umkehr der Effekte zu erwarten ist. Die Erträge der Variante mit der maximalen Aussaatstärke lagen in diesem Falle sogar noch unter den Erträgen des Bestands mit der geringsten Aussaatstärke im Umfang von 250 Körnern/m². Explizite Angaben zu den Hintergründen der festgestellten Ertragsdegression wurden von Svirskis [53] nicht gemacht. Vorstellbar wäre, dass infolge der verstärkten Konkurrenz um das Keimwasser die Aufgangsrate gesunken ist. An einem trockenen Standort ist zudem denkbar, dass selbst der Amarant als C4-Pflanze bei einer übermäßigen Konkurrenz um Wasser und Nährstoffe eine Schwelle erreicht, bei deren Überschreiten mit Ertragseinbußen zu rechnen ist.

Im Vergleich zur Saatkichte scheint der Einfluss des Saattermins auf die erzielbaren Trockenmasseerträge eher marginal zu sein. Kübler et al. [35] kamen in ihrer Studie zwar zu dem Ergebnis, dass sich der Saattermin wesentlich auf den Feldaufgang auswirkt, die saatterminbedingten Unterschiede in der Trockenmassebildung waren aber wesentlich geringer. Die Tatsache, dass sie im Vergleich der einzelnen Jahre zu völlig unterschiedlichen Ergebnissen kamen, lässt die Vermutung zu, dass der Jahreseffekt hier deutlich ausgeprägter war als der Einfluss des Saattermins.

Im Vergleich mit der führenden Energiepflanze Mais ist festzuhalten, dass Amarant auch bei einem Ertragsniveau von 100 dt TM/ha noch deutlich unter dem Ertragsniveau von Mais bleibt. Gleichzeitig benötigt Amarant mit einem Transpirationskoeffizienten von 230 l Wasser je kg Trockenmasse aber auch deutlich weniger Wasser als Mais, welcher 300 l Wasser pro kg TM braucht [6]. Höchstwahrscheinlich würde eine gesteigerte N-Düngung durchaus den TM-Ertrag von Amarant steigern, jedoch auch die Abreife verzögern und damit den Wassergehalt erhöhen, was das Ziel einer verlustfreien Silierbarkeit der Biomasse weiter gefährden würde.

2.3 Die Bedeutung des Amarants in der Biogaserzeugung

2.3.1 Grundlegende Verfahrensschritte im Biogasprozess

Biogas ist das Endprodukt eines mikrobiellen Zersetzungsprozesses, bei dem organische Substanz in Abwesenheit von Sauerstoff, also anaerob, abgebaut wird. In natürlicher Form findet dieser Stoffwechselprozess im Pansen von Wiederkäuern oder in Agrarkulturen von Reis statt. Der Abbau bzw. Umbau des Substrats erfolgt im Zusammenspiel der verschiedenen Bakteriengruppen und Archaeen. Dabei werden große organische Moleküle zu immer kleineren, einfacheren Molekülen bis hin zu Methan (CH_4) und Kohlendioxid (CO_2) ab- und umgebaut. Der Gesamtprozess lässt sich dabei in vier jeweils voneinander abhängigen Stufen betrachten, welche allesamt gleichzeitig, jedoch nicht mit identischer Geschwindigkeit ablaufen (Abbildung 1).

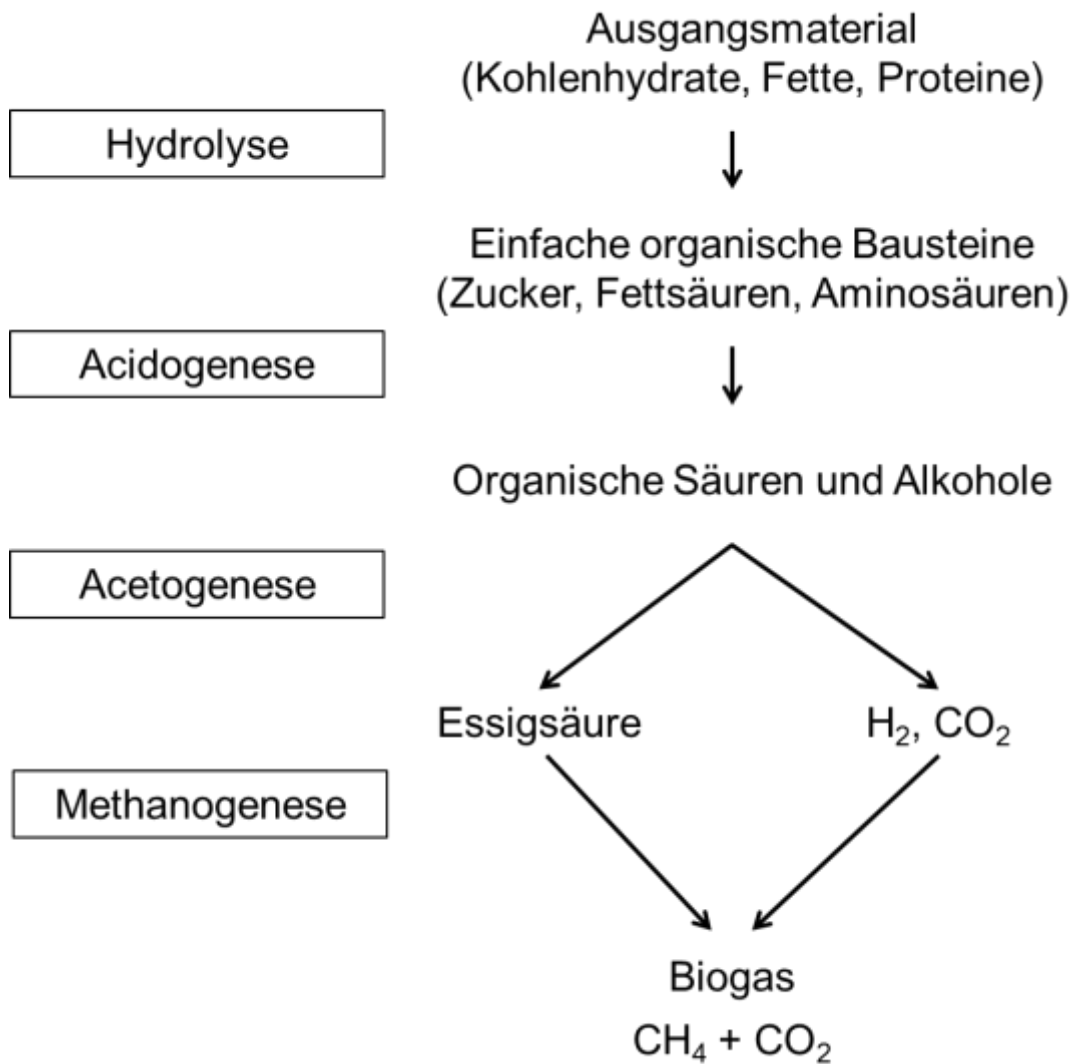


Abbildung 1: Umwandlung von Gärsubstrat in Biogas (Quelle: modifiziert nach [23])

In der ersten Stufe, der Hydrolyse, spalten Bakterien die komplexen Ausgangsmoleküle unter der Reaktion mit Wasser in ihre jeweiligen Untereinheiten auf. Die aus Kohlenhydraten, Fetten und Proteinen entstehenden Spaltprodukte wie Zucker, Fettsäuren und Aminosäuren stehen nun in der zweiten Phase den fermentativen Bakterien zur Verfügung. Diese wandeln im Verlauf der sog. Acidogenese die in der Hydrolyse gelösten Stoffe überwiegend zu einfachen Fettsäuren (z. B. Propionsäure, Buttersäure) und in geringerem Umfang in Alkohol um. Der Vorgang wird deshalb auch als Versäuerung bezeichnet. In der dritten Phase, der Acetogenese oder Essigsäurebildung, werden die Produkte der Acidogenese in kleinere Produkte umgesetzt. In der Hauptsache entsteht die bezeichnende Essigsäure, aber auch Wasserstoff und Kohlendioxid werden synthetisiert. Erst in der letzten Phase, der Methanogenese, werden die Zwischenprodukte durch methanogene Archaeen in Methan, Kohlendioxid und Wasser umgewandelt [23].

Der gesamte Prozess der Biogassynthese ist äußerst sensibel und kann durch zahlreiche Einflüsse empfindlich gestört werden. Die Rahmenbedingungen für einen optimalen Ablauf der Reaktionen bilden neben dem Sauerstoffgehalt auch die Temperatur und der pH-Wert des Substrats. Mit der Auswahl geeigneter Einsatzstoffe muss darüber hinaus eine ausgewogene Nährstoffgrundlage für die Mikroorganismen geschaffen werden. Denn neben den Makronährstoffen aus Kohlenhydraten, Proteinen und Fetten benötigen diese für einen funktionsfähigen Stoffwechsel auch Mikronährstoffe wie Spurenelemente und Vitamine. Bereits der Mangel an einem einzigen dieser Elemente stellt einen wachstumslimitierenden Faktor dar. Das eingeschränkte Wachstum der Mikroorganismen führt in der Folge zu einer unzureichenden Umsetzung des Substrats und schließlich zu erheblichen Einbußen bei der Biogausausbeute [23].

Die Differenzierung in Makro- und Mikronährstoffe basiert auf der Konzentration, in der ein Stoff in einem Organismus nachgewiesen werden kann. Die Gruppe der Spurenelemente ist dadurch gekennzeichnet, dass deren mittlerer Gehalt einen Wert von ca. 50 mg je kg Biomasse nicht überschreitet. Für anaerobe Mikroorganismen, wie die methanbildenden Bakterien und Archaeen, sind Nickel (Ni), Cobalt (Co), Molybdän (Mo), Eisen (Fe) und Selen (Se) essenzielle Spurenelemente. Weitere Arten von Bakterien benötigen ferner Zink (Zn), Kupfer (Cu) und Mangan (Mn) [10]. Sämtliche Elemente stellen wichtige Bestandteile der Enzyme und Proteine der Mikroorganismen dar, die bei der Synthese von Biogas beteiligt sind. In ausreichender Konzentration tragen sie so zu einer Stabilisierung des Biogasprozesses bei [9] [24] [38].

Bezüglich der optimalen Spurenelementkonzentrationen im Substrat existieren verschiedene Angaben, die häufig sehr weite Spannen umfassen – so auch im „Leitfaden Biogas“ der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) [23]. Konkretere Angaben finden sich bei Sauer [43], der die Schwellenkonzentrationen für die bedeutendsten Spurenelemente auf Basis praktischer Versuche in den Biogasanlagen der Bioenergiedörfer im Göttinger Land wie in Tabelle 1 gezeigt festlegt:

Tabelle 1: Mindestgehalte ausgewählter Spurenelemente im Substrat [43]

	Co	Cu	Mo	Ni	Zn
	in g/m ³ Frischmasse				
Schwellenwerte	0,07	1,5	0,18	0,33	6,2

2.3.2 Biogasertragspotenzial von Amaranth

Zum Biogasertragspotenzial von Amaranth existieren bisher nur wenig belastbare Studien. Angaben, die auf einer rein rechnerischen Ermittlung der Methanausbeute und des Methanertrags beruhen und Werte von bis zu 500 l CH₄ /kg oTS bzw. 6000 Nm³ CH₄/ha ausweisen [1] [2], stehen im Widerspruch zu den Ergebnissen eines ersten Gärversuchs. Dieser wurde im Rahmen eines früheren Anbauversuchs von Amaranth am Technologie- und Förderzentrum in Zusammenarbeit mit der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft durchgeführt. Im Ergebnis konnte eine als plausibel einzustufende Methanausbeute von 280 l CH₄/kg oTS ermittelt werden, die theoretischen Methanhektarerträge lagen deutlich unter 2500 Nm³ CH₄/ha [27]. Als Ursache der auffälligen Differenz darf vermutet werden, dass die im rechnerischen Modell zugrunde gelegte Formel nach Amon et al. [4], deren Konstanten auf die Verdaulichkeit von Mais abgestimmt wurden, nicht vollständig auf Amaranth übertragen werden kann.

2.3.3 Physiologische Eigenschaften des Amaranths in der Biogaserzeugung

Einen vielversprechenden Ansatz bieten erste Untersuchungen, aus denen hervorgeht, dass Amaranth im Vergleich verschiedener Kulturarten eine überdurchschnittlich große Menge an Mikronährstoffen akkumuliert. Beim Einsatz in der Biogasproduktion liefern die Pflanzen damit ein gewünscht spurenelementreiches Substrat.

Wie sich in der Praxis von dieser vorteilhaften Eigenschaft profitieren lässt, untersuchten kürzlich Wissenschaftler der Projektgruppe Bioenergie am Interdisziplinären Zentrum für Nachhaltige Entwicklung (IZNE) der Universität Göttingen unter Leitung von Prof. Dr. Hans Ruppert im Rahmen des von der FNR geförderten Forschungsprojekts „Möglichkeiten einer ausgeglichenen Spurenelementversorgung von Biogasanlagen durch Mischungen unterschiedlicher Energiepflanzen“ [45].

In ersten Ergebnissen konnte nachgewiesen werden, dass eine hauptsächlich mit Mais-silage beschickte Anlage weniger stabil läuft und eine geringere Biogasproduktivität aufweist als theoretisch möglich wäre. Als Ursache des Minderertrags ließ sich dabei ein zu geringer Gehalt an Spurenelementen im Substrat belegen. Insbesondere die Mikronährstoffe Cobalt und Nickel waren in der Trockensubstanz von Mais nur in sehr geringem Umfang enthalten. Im Rückschluss lässt sich feststellen, dass mit dem ausschließlichen Einsatz von Mais als Biogassubstrat eine ausreichende Spurenelementversorgung in Biogasanlagen nicht zu bewerkstelligen ist. Daher ist es ratsam, mehrere Pflanzenarten als Substratlieferanten zu verwenden, und zwar auch solche, die dem Mais bezüglich der Aufnahme von Spurenelementen überlegen sind [46].

Unter diesem Gesichtspunkt nimmt Amarant eine starke Position ein. Für die Spurenelemente Cobalt und Nickel wurden bei Amarant Konzentrationen nachgewiesen, die vielfach über den Gehalten von Mais lagen. In Untersuchungen von Sauer lag die Akkumulation von Nickel bei Amarant um den Faktor 3,4 höher als bei Mais, bei Cobalt belief sich der Gehalt sogar auf den 13,3-fachen Wert [44]. Speziell diesen beiden Spurenelementen wird laut Pobeheim et al. [41] und Feher et al. [25] eine besondere Bedeutung für die Prozessstabilität zugeschrieben. Auch Molybdän wird in der Riege der bedeutendsten Spurenelemente aufgeführt. Im Gegensatz zu Cobalt und Nickel kann der Mindestgehalt an Molybdän im Gärsubstrat mit Ausnahme von Rüben aber von allen Energiepflanzen bereitgestellt werden, sodass Molybdän im Vergleich zu anderen Spurenelementen keinen limitierenden Faktor darstellt. Sehr wahrscheinlich ist allerdings das Auftreten eines Mangels an Cobalt und Nickel bei stark dominierendem Maissilageinput, dem mit dem Einsatz von Amarant als Co-Substrat wirksam entgegengewirkt werden könnte.

3 Zielsetzung

Wie die dargelegten Fakten zeigen, vereinigt die Gattung des Amarants eine große Anzahl verschiedenster Spezies unter sich. In der unterschiedlichen Ausprägung ihrer Eigenschaften liegt gleichzeitig ein großes Potenzial – sowohl für die züchterische Optimierung als auch für das Einsatzspektrum. Da die Eigenschaften nicht allein aus der Art abgeleitet werden können, muss das primäre Ziel nun darin liegen, die herausragenden Merkmale der einzelnen Genotypen zu erkennen um sie nachfolgend für die Landwirtschaft und insbesondere für den Energiepflanzenbau nutzbar zu machen.

Bisherige Studien konzentrierten sich fast ausschließlich auf den Anbau von Amarant für die Körnernutzung. Aspekte, die die Eignung von Amarant als Energiepflanze beurteilen, wurden bisher kaum beleuchtet.

Als Ausgangspunkt für die Untersuchungen steht zunächst eine umfassende Sammlung des verfügbaren Sortenmaterials an, um nachfolgend eine möglichst breite Auswahl an Sorten auf ihre Eignung für den Energiepflanzenbau prüfen zu können.

Im Rahmen eines einjährigen Feldversuchs sollen das Ertragspotenzial der verschiedenen Genotypen sowie deren Substratqualität als Basis für die mögliche Methanausbeute ermittelt werden. Die Bestimmung der tatsächlichen Biogas- und Methanausbeute erfolgt exemplarisch für 24 Genotypen aus der Großparzellenanlage des 1. Saattermins. Ziel ist die generelle Einstufung der Kulturart Amarant hinsichtlich ihres Biogas- und Methanbildungspotenzials im Vergleich zu bereits etablierten Energiepflanzen wie Mais und nicht die Bewertung der einzelnen Genotypen. Ergänzend wird beleuchtet, inwieweit sich rechnerische Modelle, die schon heute erfolgreich für die Abschätzung des Biogaspotenzials von Mais angewandt werden, auch auf Amarant übertragen lassen. Neben diesen Kriterien werden auch pflanzenbauliche Aspekte wie die Keimfähigkeit, der Feldaufgang, das Abreifeverhalten und die Anfälligkeit gegenüber biotischen und abiotischen Stressfaktoren in die Beurteilung mit aufgenommen. Grundlage dafür bilden die vegetationsbegleitenden Bonituren, die neben den Entwicklungsstadien der Pflanzen nach dem BBCH auch deren spezifische Wuchsform und aufgetretene Besonderheiten erfassen.

In Kooperation mit dem Interdisziplinären Zentrum für Nachhaltige Entwicklung (IZNE) an der Georg-August-Universität Göttingen wird vertiefend eine Spurenelementanalyse durchgeführt. Diese Untersuchungen beinhalten die Analyse der Amarantsorten auf ihren Gehalt an etwa 50 Haupt-, Spuren- und Ultraspurenelementen und sollen Aufschluss darüber geben, inwieweit die These, dass Amarantbiomasse ein besonders wertvolles, näherelementreiches Biogassubstrat liefert, allgemein bestätigt werden kann.

Gesamtziel des Projekts ist es, Aussagen über die Eignung von Amarant als Energiepflanze, insbesondere unter bayerischen Anbaubedingungen, treffen zu können. Bei positiven Resultaten soll ein ausführlicheres Projekt folgen und die Ergebnisse für die Praxisberatung aufbereitet werden, um den Anbau von Amarant als alternative Energiepflanze zu fördern.

4 Material und Methoden

4.1 Versuchsdurchführung

4.1.1 Betrachtetes Sortenmaterial im Screening

Als Ausgangspunkt der Untersuchungen steht zunächst eine umfassende Sammlung des verfügbaren Sortenmaterials an. Aufgrund der, selbst weltweit betrachtet, recht geringen Anzahl eingetragener Sorten gestaltet sich die Beschaffung über den allgemeinen Saatgutmarkt entsprechend schwierig. Dank einer engen Zusammenarbeit mit anderen Forschungseinrichtungen und -instituten kann letztlich doch ein breites Spektrum verschiedener Linien zusammengetragen werden. Alle 150 Genotypen, die im Rahmen der Saatgutakquise beschafft werden können, werden ins Screening aufgenommen, um sie auf ihre Eignung als Energiepflanze unter bayerischen Standortbedingungen zu prüfen.

Von 83 Varianten der Gesamtzahl an Genotypen sind dabei nur Kleinstmengen an Saatgut verfügbar. Im Gegensatz zu den weiteren 67 Akzessionen ist es deshalb erforderlich, sich bei diesen auf nur einen Aussaattermin zu beschränken und die übliche Größe der Versuchspartellen von rund 30 m² auf nur 1 m² deutlich zu reduzieren.

Die Verteilung des Sortenmaterials auf die verschiedenen Amaranarten und die jeweils verfügbare Menge an Saatgut sind der nachstehenden Tabelle 2 zu entnehmen. Sämtliche Arten sind der Subgattung *Amaranthus* zuzuordnen und somit monözisch. Eine detaillierte Auflistung aller bearbeiteten Genotypen findet sich im Anhang (Tabelle 12).

Tabelle 2: Übersicht über das verfügbare Sortenmaterial im Hinblick auf die vertretenen Amaranarten und die verfügbaren Saatgutmengen

Art	Kleine Mengen an Saatgut	Große Mengen an Saatgut
<i>A. caudatus</i>	8	17
<i>A. cruentus</i>	12	13
<i>A. gangeticus</i>	1	0
<i>A. hybridus</i>	17	4
<i>A. hypochondriacus</i>	24	11
<i>A. powellii</i>	6	0
<i>A. tricolor</i>	11	1
<i>Amaranthus sp.</i>	4	21
	83	67
Gesamt	150	

Um einen vertiefenden Eindruck vom geprüften Sortenmaterial zu erhalten, sollen an dieser Stelle noch weitergehende Informationen zu den Herkünften der bearbeiteten Ak-

zessionen gegeben werden. Einen Überblick über die typischen Eigenschaften der vertretenen Amaranarten geben abschließend die Kurzporträts.

4.1.1.1 Herkünfte der Genotypen

Verglichen mit den dominierenden Getreidearten sind Pseudogetreidearten, wie der Amaran, züchterisch bisher nur marginal bearbeitet worden. In der vorliegenden Sortenauswahl finden sich folglich 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 ertragreich und weisen häufig eine gewisse Inhomogenität im Phänotyp auf.

Andere Varianten im Screening 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 geführte Sorte zu dieser Zeit durch Selektion aus mexikanischen Landsorten des Rispenfuchschwanzes, *A. cruentus*, geschaffen. Ein weiterer Schritt war die Kreuzung von Vertretern des roten Hybridfuchschwanzes, *A. hypochondriacus* mit niedrigwüchsigen und kurzlebigen Vertretern der Arten *A. hybridus* und *A. cruentus*. Dieses Vorgehen steht beispielhaft für die Bemühungen, die Kulturpflanze Amaran 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. Dieser Züchtungsreihe sind auch die in der Sortenauswahl vertretenen Amaranttypen K 432 und K 343 zuzuordnen.

Der Ursprung weiterer Sorten liegt im österreichischen Züchterhaus Zeno-Projekte unter der Leitung von Dr. Georg Dobos, welches sich ausschließlich mit landwirtschaftlichen Spezialkulturen beschäftigt. Bei einem Teil des Materials handelt es sich dabei 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 sein.

Das in Kleinstmengen vorliegende Saatgutmaterial kann ausnahmslos über Gendatenbanken, explizit das Leibniz-Institut für Pflanzengenetik und Kulturpflanzenforschung in Gatersleben und das Gewächshaus für tropische Nutzpflanzen der Universität Kassel, bezogen werden. Diese Akzessionen komplettieren das vorliegende Repertoire und entstammen den verschiedensten Herkünften auf der ganzen Welt.

4.1.1.2 Kurzporträts der im Screening vertretenen Arten

Gartenfuchsschwanz (*Amaranthus caudatus*)



Die Hauptanbauggebiete des Gartenfuchsschwanzes liegen in den Höhenlagen Südamerikas. Typen, die als Zierpflanze genutzt werden, weisen meist eine Höhe von nicht mehr als 0,75 m auf, wohingegen der Körner-Typ Wuchshöhen von bis zu zwei Metern erreicht. Der Stängel ist kräftig, bei geringer Verzweigungsneigung. Auffällig ist der komplexe Aufbau der Infloreszenz, sie kann bis zu 1,5 m lang werden. Mit einigen Ausnahmen ist der Gartenfuchsschwanz eine Kurztagpflanze.

Abbildung 2: *Amaranthus caudatus* (Quelle: modifiziert nach eFloras.org [22])

Rispenfuchsschwanz (*Amaranthus cruentus*)



Die Hauptanbauggebiete des Rispenfuchsschwanzes liegen in Guatemala. Seine Wuchshöhe erreicht bis zu zwei Meter, die Verzweigungsneigung variiert je nach Herkunft. Als Energiepflanze interessant erscheinen die stark verzweigenden, buschigen, afrikanischen Körnertypen. Der Rispenfuchsschwanz ist wenig kurztagsempfindlich und gut an die in Mitteleuropa herrschenden Wachstumsbedingungen angepasst. In Deutschland und Österreich gibt es bereits vielversprechende Züchtungsansätze mit Vertretern dieser Amarantart. Auch die einzige in Deutschland eingetragene Amarantsorte, „Bärnkrafft“, ist der Art des Rispenfuchsschwanzes zuzuordnen.

Abbildung 3: *Amaranthus cruentus* (Quelle: modifiziert nach Grubben [29])

Gemüseamarant (*Amaranthus tricolor*)



Der Gemüseamarant stammt ursprünglich aus Asien und dient dort weitverbreitet als Blattgemüse. Im Gegensatz zu den anderen Amarant-Arten weist er ein deutlich differenziertes Erscheinungsbild auf. Die Wuchshöhe reicht bis zu 1,25 m, die Infloreszenzen sind unauffällig und ähneln Seitenknospen. Wie der lateinische Name besagt, tritt *Amaranthus tricolor* in roten, gelben und grünen Erscheinungsformen auf. Der Gemüseamarant ist weitgehend tagneutral.

Abbildung 4: *Amaranthus tricolor* (Quelle: modifiziert nach Grubben [30])

Bastardfuchsschwanz (*Amaranthus hybridus*)



Der Bastardfuchsschwanz wird als wilder Vorfahre des Rispenfuchsschwanzes vermutet. Im Erscheinungsbild und der Wuchshöhe, die zwischen 0,3 m und 2 m liegen kann, weist er eine breite Varietät auf. Charakteristisch sind die schwarz-samigen Körner, die zum einen auf die fehlende Domestikation hinweisen, zum anderen Ursache dafür sind, dass ein Anbau zum Zwecke der Körnernutzung nur vereinzelt erfolgt. In Osteuropa werden Sorten des Bastardfuchsschwanzes zur Grünmasseproduktion eingesetzt. Die Vertreter der Art gelten als weitgehende tagneutral und weisen auch unter Langtagbedingungen eine relative Frühreife auf.

Abbildung 5: *Amaranthus hybridus* (Quelle: modifiziert nach eFloras.org [22])

Hybridfuchsschwanz (*Amaranthus hypochondriacus*)



A. hypochondriacus stammt ursprünglich aus Nordamerika und ist ein Hybrid aus dem wilden *A. powellii* und der Kulturform des *A. cruentus*. Er wird weltweit, vor allem aber in Mexiko angebaut und erreicht Wuchshöhen von bis zu drei Metern. Die Hauptverwendungszwecke sind die Körnernutzung und die Verwendung als Zierpflanze. In Afrika wird er auch als Blattgemüse genutzt. Generell kommt der Hybridfuchsschwanz mit tropischem, subtropischem und gemäßigttem Klima aus. Allerdings zeigt er eine recht ausgeprägte Kurztagsempfindlichkeit und tritt unter Langtagsbedingungen nur zögerlich in die generative Entwicklungsphase ein.

Abbildung 6: *Amaranthus hypochondriacus* (Quelle: modifiziert nach University of Florida [54])

Powell's Amaranth (*Amaranthus powellii*)



Powell's Amaranth gilt als am nächsten verwandte Wildform zum Hybridfuchsschwanz. Ursprünglich stammt die Art aus dem Südwesten der heutigen USA und Mexiko, kommt als natürliche Spezies mittlerweile aber auch in den gemäßigten Landstrichen Europas und Asiens vor. Die Pflanze erreicht eine maximale Höhe von zwei Metern. Der Rispenstand ist eher unauffällig und weist häufig eine grüne bis silbrig-grüne Färbung auf. In der Literatur finden sich nur wenige Informationen zu *A. powellii*. Da er aber auch als Wildpflanze in Europa auftritt, ist davon auszugehen, dass er weitgehend an Langtagsbedingungen angepasst ist.

Abbildung 7: *Amaranthus powellii* (Quelle: modifiziert nach eFloras.org [22])

4.1.2 Charakteristik des Versuchsstandorts

Die Versuchsflächen befinden sich bei Straubing im sogenannten „Gäuboden“, einem flachen, fruchtbaren und intensiv landwirtschaftlich geprägten Gebiet im Schwemmland der Donau auf einer Höhe von 339 m über NN. In der vom Julius-Kühn-Institut auf Grundlage von Roßberg et al. [42] ausgewiesenen Gebietsgliederung der Bundesrepublik nach Boden-Klima-Räumen wird der Standort als „Gäu, Donau- und Inntal“ ausgewiesen. Das Klima in der Region ist mäßig kontinental. Die mittlere Jahrestemperatur im langjährigen Durchschnitt beträgt 8 °C und die Jahresniederschlagssumme 700 bis 750 mm. Weitere Standortkennzahlen können Tabelle 3 entnommen werden.

Tabelle 3: Standortbedingungen am Versuchsfeld „Brunnenfeld“, Standort Straubing

Parameter	Standort Straubing
Jahrestemperatur	8 °C
Jahresniederschlag	700 bis 750 mm
Höhenlage	339 m über NN
Bodentyp	Parabraunerde
Bodenart	Schluffiger Lehm
Geologische Herkunft	Löss
Ackerzahl	72–75
Humusgehalt	1,1 % (humos)
Boden-pH-Wert	7,0
N _{min} vor Saat	60 kg N/ha

Der bestimmende Bodentyp am Versuchsstandort ist Parabraunerde aus Löss, mit einer Ackerzahl von 72 bis 75. Schluffiger Lehm (Lu) ist die standorttypische Bodenart.

Als Vorfrucht standen auf der Versuchsfläche Kartoffeln mit anschließender Schwarzbrache. Die Stickstoffversorgung des Standorts (Tabelle 3) wird vor Aussaat per Bodenuntersuchung ermittelt. Dabei stellt der N_{min}-Gehalt die Summe der Gehalte an NO₃ und NH₄ in 0 bis 90 cm Bodentiefe dar.

4.1.3 Witterungsverlauf am Standort Straubing

Gleich zu Beginn der Vegetationsperiode im Erntejahr 2013 wird die Landwirtschaft durch starke Regenfälle im Mai schwer beeinträchtigt. Wie der Deutsche Wetterdienst (DWD) berichtet, war ein Mai in Deutschland selten so regenreich [17]. Insbesondere die intensiven Regenfälle in der zweiten Monatshälfte führen zu einer stark eingeschränkten Befahrbarkeit des Bodens, sodass die ursprünglich für Ende Mai (1. Saattermin) bzw. Mitte Juni (2. Saattermin) angesetzte Aussaat deutlich nach hinten verschoben werden

muss (vgl. Tabelle 4). Die nachfolgende warme und trockene Witterungsperiode, die sich bis Ende August erstreckt, sorgt für ein sicheres Auflaufen beider Saattermine und eine gute Jugendentwicklung der Bestände. Die Durchschnittstemperatur im September liegt am Standort mit 13,0 °C nur marginal unter dem langjährigen Mittel. Dabei täuschen jedoch die hochsommerlichen Temperaturen im ersten Monatsdrittel über die herbstlich kühlen Witterungsbedingungen im weiteren Monatsverlauf hinweg. Der markante Temperaturabsturz verbunden mit starken Winden im Verlauf des 9. Septembers dürfte einen der Gründe für die plötzlich auftretende Lagerbildung in den Beständen darstellen (siehe auch Abschnitt 5.1.2). Sehr kühle Nächte nahe dem Gefrierpunkt Anfang Oktober, machen am 9. Oktober die spontane Beerntung, unabhängig vom Saattermin, notwendig.

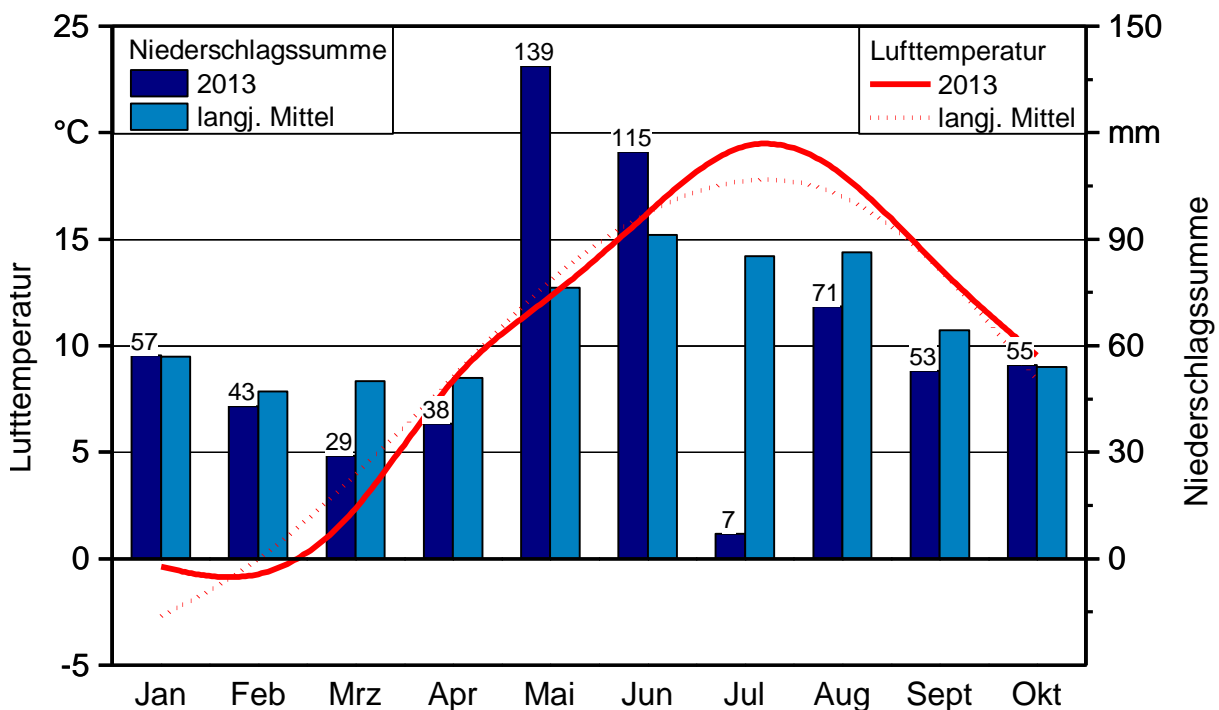


Abbildung 8: Witterungsverlauf am Standort Straubing im Vegetationsjahr

Verbunden mit der verspäteten Aussaat kann für den Amaranth deshalb nur eine recht kurze Vegetationszeit realisiert werden. Der 1. Saattermin erreicht 119 Vegetationstage mit einer Wärmesumme von 764 Gradeinheiten, der 2. Saattermin 99 Vegetationstage mit einer Wärmesumme von 627 Gradeinheiten (Tabelle 4). Für die Ermittlung der Wärmesumme wird das Maisreifeprognosemodell nach AGPM [21] zugrunde gelegt und mit einer Basistemperatur von 10 °C an Amaranth angepasst. Amaranth wird in der Literatur vielfach als ähnlich wärmeliebend wie Sorghum beschrieben [5]. In langjährigen Sortenprüfungen von Sorghum am Technologie- und Förderzentrum (TFZ) am Standort Straubing hat sich die Arbeit mit einem modifizierten Maisreifeprognosemodell unter Anhebung der Basistemperatur auf 10 °C bewährt [58]. Auf dieses wird im vorliegenden Fall Bezug genommen. Hintergrund für das Ausweisen der Temperatursumme ist die auf

diese Weise ermöglichte Gegenüberstellung von 1. und 2. Saattermin. Eine Einteilung in Reifegruppen wie bei Mais existiert für Amaranth nicht und kann derzeit auf der Basis nur einjähriger Ergebnisse noch nicht erfolgen.

Tabelle 4: Versuchsbedingungen am Standort Straubing im Versuchsjahr 2013, differenziert nach den zwei Saatterminen

	1. Saattermin	2. Saattermin
Aussaat	13.06.2013	03.07.2013
Ernte	09.10.2013	09.10.2013
Anzahl Vegetationstage	119	99
Summe Niederschlag	203 mm	156 mm
Wärmesumme	764 °C	627 °C

4.1.4 Versuchsanlage und Versuchsdurchführung

Der Versuch wird am Standort Straubing auf dem Schlag „Brunnenfeld“ zu einem bzw. zwei Saatterminen durchgeführt. Wie bereits in Abschnitt 4.1.1 beschrieben, sind für einen Teil der betrachteten Amaranthtypen nur sehr geringe Mengen an Saatgut verfügbar. Entsprechend der sich daraus ergebenden möglichen Anbaufläche erfolgt eine Aufteilung der Akzessionen auf kleine und größere Parzellen. Einen Eindruck von der Versuchsanlage vermitteln Abbildung 25 und Abbildung 26 im Anhang.

Im Ergebnis steht für 67 Genotypen Saatgut in ausreichender Menge zur Verfügung, sodass diese in einer üblichen Parzellenflächengröße von rund 30 m² zu jeweils zwei Saatterminen angelegt werden können. Bei 83 Genotypen ist das verfügbare Saatgutmaterial für eine Versuchsanlage im üblichen Umfang nicht ausreichend. Hier muss man sich auf eine Parzellenfläche von rund einem Quadratmeter sowie eine Aussaat zum 1. Saattermin beschränken. Für diese Sorten kann folglich keine Aussage bezüglich des Ertrages abgeleitet werden. Mithilfe der Bonituren und Laboranalysen können jedoch vielversprechende Genotypen erkannt werden. Außerdem kann Saatgut in ausreichender Menge für Folgearbeiten gewonnen werden.

Nach der Beerntung der Vorfrucht im Herbst des Vorjahrs erfolgt die Grundbodenbearbeitung im Frühjahr mittels Grubber. Die Aussaat der Amaranthsorten wird nach einer vorangegangenen Saatbeetbereitung per Saatbeetkombination mittels Drillsaat durchgeführt. In beiden Parzellentypen wird der Amaranth mit einem Reihenabstand von 37,5 cm und einer Saatedichte von 150 keimfähigen Körnern/m² ausgesät. Die Aussaat- und Erntetermine sind Tabelle 4 zu entnehmen. Dem verstärkten Unkrautdruck auf der Fläche des 2. Saattermins wird zusätzlich mit der Applikation eines Totalherbizids in üblicher Aufwandmenge (Roundup, 3 l/ha) vor Saat begegnet.

Die Stickstoffdüngung erfolgt für beide Saattermine zu BBCH 25 bis 30 mittels Kalkammonsalpeter in einer Menge von 90 kg N/ha. Der Sollwert für die Stickstoffver-

sorgung ist vorausgehend auf 150 kg N/ha festgelegt worden. Für die Berechnung der Düngemenge wird von diesem der N_{min}-Gehalt zum Zeitpunkt der Aussaat abgezogen. Weitere Maßnahmen zum Pflanzenschutz werden nicht durchgeführt.

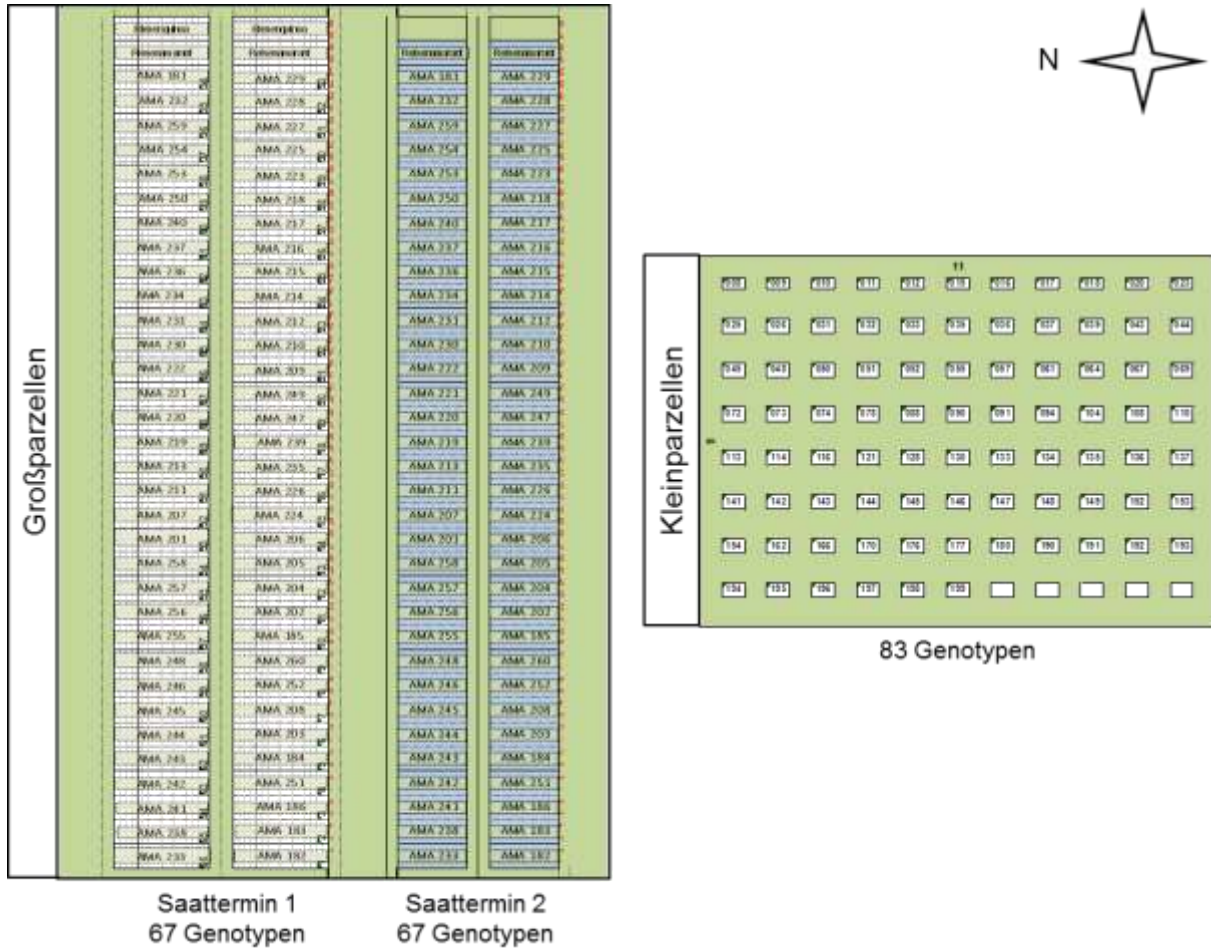


Abbildung 9: Versuchsanlage Amarant-Screening (nicht maßstabsgetreu)

4.1.5 Ernte und Probenaufbereitung

Die Ernte erfolgt für beide Saattermine gleichzeitig am 09.10.2013. Ein weiteres Abreifen der Bestände, verbunden mit möglicherweise höheren Trockensubstanzgehalten, ist wegen der bereits aufgetretenen Kälteschäden an den Pflanzen nicht mehr zu erwarten, sodass man sich für eine Beerntung beider Saattermine entscheidet.

Nahezu alle Versuchspartellen werden durch den TFZ-eigenen reihenunabhängigen Partellenhäcksler beerntet. Das Schnittgut wird dabei auf eine Länge von ca. 1 cm zerkleinert und mit der integrierten Wiegeautomatik zur Ertragsermittlung verwogen. Lediglich zwei Partellen des 2. Saattermins, deren Bestände zu nahezu 100 % ins Lager gefallen sind, müssen mithilfe des Grüngüternters aufgenommen werden. Auch dieses Partellenerntegerät verwiegt den Partellenaufwuchs und entnimmt eine Probe aus dem Erntegutstrom. Bei den Großpartellen wird eine Kernbeerntung vorgenommen; von den

insgesamt 8 je Doppelparzelle angelegten Reihen erfolgt somit eine Beerntung der mittleren 4 Reihen. Eine vollständige Beerntung wird bei den Kleinparzellen vorgenommen. Trotz dieser Vorgehensweise kann für einzelne Varianten keine ausreichende Menge an Probenmaterial für die geplanten Analysen gewonnen werden. An dieser Stelle kann aber bereits der Rückschluss gezogen werden, dass eben diese Varianten aufgrund ihrer geringen Ertragsleistung im Energiepflanzenbau als nicht anbauwürdig einzustufen sind.

Für die durchzuführenden Qualitätsuntersuchungen werden aus dem Häckselgut jeder Parzelle ca. 2 kg Frischmaterial für die Inhaltsstoffanalyse entnommen, bei 60 °C getrocknet und bis zur Laboruntersuchung trocken gelagert. Zusätzlich erfolgt die Entnahme einer separaten Probe für die TS-Bestimmung, die bei 105 °C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet wird. Dieses Verfahren wird in den Richtlinien des Bundessortenamts [13] als Methode 1: „Bestimmung des Trockensubstanzgehalts an separater Feldprobe“ für Mais beschrieben.

4.1.6 Wertgebende Inhaltsstoffe und Biogaspotenzial

Die Ermittlung der wertgebenden Inhaltsstoffe wird in Anlehnung an die Futtermittelanalytik vorgenommen und gibt Aufschluss über die Zusammensetzung des Pflanzenmaterials und dessen Verdaulichkeit. Neben der Quantifizierung von Rohasche, Rohprotein, Rohfett, Rohfaser und N-freien Extraktstoffen nach dem Weender Verfahren erfolgt eine Erweiterung der Analyse nach van Soest. Zusätzlich ausgewiesen werden damit die Gehalte an Stärke, Zellulose, Hemizellulose und Lignin; es erfolgt keine vollständige Darstellung der nach van Soest üblichen Parameter. Um die Eignung von Amarant für die Tierernährung beurteilen zu können, erfolgt ferner eine Bestimmung des Nitratgehalts.

Die Analysen werden von Food GmbH Jena Analytik & Consulting unter Verwendung der folgenden Standardprozeduren durchgeführt:

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

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

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

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

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

NDF (van Soest): *neutral detergent fiber*; VDLUFA, MB Bd. 3, Kap. 6.5.1; Fraktion entspricht der Summe der Gerüstsubstanzen

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

ADL (van Soest): *acid detergent lignin*; VDLUFA, MB Bd. 3, Kap. 6.5.3; Differenz zwischen ADF und ADL entspricht dem Gehalt an Zellulose

Stärke: VDLUFA, MB Bd. 3, Kap. 7.2.1

Nitrat: nach ASU L 26.00-1 2001 07 HPLC/IC-Verfahren

Die Bestimmung der Biogas- und Methanausbeute erfolgt exemplarisch für 24 Genotypen aus der Großparzellenanlage des 1. Saattermins. Die Grundlage für die Auswahl der Genotypen bilden dabei deren gezeigte Ertragsleistung sowie der erzielte Trockensubstanzgehalt als Voraussetzung für eine möglichst verlustfreie Silierbarkeit. Für die Durchführung der Analyse wird das Verfahren des Hohenheimer Biogasertragstests (HBT) nach DIN 38414-8 [18] und VDI 4630 [55] in dreifacher Wiederholung festgelegt.

Ergänzend wird eine rechnerische Kalkulation der Methanausbeuten und -erträge nach den Methoden von Amon et al. [4] [3] und Weißbach [56] [57] vorgenommen. Auf Basis des Vergleichs tatsächlicher und rechnerisch ermittelter Werte soll so eine erste Einschätzung vorgenommen werden, inwieweit sich das Biogaspotenzial von Amaranth auch anhand rechnerischer Modelle näherungsweise bestimmen lässt.

Beide betrachteten Ansätze basieren auf den Ergebnissen der Weender Futtermittelanalyse und den dabei ermittelten Anteilen einzelner oder mehrerer Stoffgruppen an der Trockensubstanz. Das Methanenergiesystem nach Amon et al. weist jedem Ausgangssubstrat einen Methanenergiewert (MEW) zu. Dieser Wert ergibt sich aus dem Methanbildungsvermögen der einzelnen Rohnährstoffe, multipliziert mit den gemessenen Rohnährstoffgehalten des untersuchten Substrats. Das Methanbildungsvermögen wird dabei in Abhängigkeit des eingesetzten Substrats jeweils als spezifische Konstante ausgewiesen. Die Schätzggleichungen nach Weißbach gründen auf der Annahme, dass die Kohlenstofffraktion eines Substrats nicht vollständig abgebaut wird. Die Bestimmung der fermentierbaren organischen Trockensubstanz (FoTS) bildet deshalb die Grundlage für die Ermittlung der Gasausbeute.

Die Darstellung des Biogas- und Methanbildungspotenzials im Ergebnisteil erfolgt in Bezug auf die organische Trockensubstanz (oTS). Die Biogasausbeute wird damit in der Einheit l Biogas/kg oTS, die Methanausbeute in l CH₄/kg oTS ausgewiesen. Für einen verstärkten Praxisbezug werden die Ergebnisse gleichzeitig auf den Hektarertrag bezogen dargestellt. Die Definition der ausgewiesenen Ertragsgrößen, der Biogasausbeute, der Methanausbeute und des Methanertrags, gestaltet sich nach der VDI-Richtlinie 4630 [55] wie folgt:

$$\text{Biogasausbeute} = \frac{\text{l Biogas}}{\text{kg oTS}} \quad (4.1)$$

$$\text{Methanausbeute} = \frac{I \text{ CH}_4}{\text{kg oTS}} \quad (4.2)$$

$$\begin{aligned} \text{Methanertrag} &= \text{Methanausbeute} \times (\text{TM-Ertrag} - \text{Rohasche}) \quad (4.3) \\ &= \frac{\text{Nm}^3 \text{ CH}_4}{\text{ha}} \end{aligned}$$

Mit dem Methanertrag wird im vorliegenden Bericht stets das theoretische Methanertragspotenzial dargestellt; Siliiverluste werden an dieser Stelle deshalb nicht berücksichtigt.

4.1.7 Spurenelementanalyse

Die Probenahme für die Spurenelementanalyse erfolgt am 24.09.2013 unter der Leitung von Dr. Benedikt Sauer von der Georg-August-Universität Göttingen. Der Probenumfang erstreckt sich auf 3 bis 4 Pflanzen/Parzelle. Die Einzelpflanzen werden dabei mithilfe eines sauberen handelsüblichen Zackenmessers in einer Wuchshöhe von 10 cm abgetrennt und parzellenweise in Kunststoffsäcken zum Transport zusammengefasst. Bei den Probenahmen wird darauf geachtet, dass die Proben nicht den Boden berühren um den Anteil eventuell anhaftender Bodenpartikel möglichst gering zu halten.

Die Analysen werden für sämtliche Genotypen des 1. und 2. Saattermins der Großparzellen sowie für ausgewählte Varianten der Kleinparzellen veranlasst (vgl. Tabelle 18) und umfassen unter anderem folgende Parameter: Cobalt, Kupfer, Eisen, Mangan, Molybdän, Natrium, Nickel und Zink.

Als Ausgangsbasis zur Ermittlung ergänzender Kenn- bzw. Korrekturwerte werden in regelmäßiger Verteilung über den Standort auch Bodenproben gezogen. Die Proben werden im Oberbodenhorizont im hauptsächlichlichen Durchwurzelungsbereich des Pflanzenaufwuchses in etwa 20 cm Tiefe mit dem Spaten entnommen und nachfolgend luftgetrocknet und gesiebt, um den Feinbodenanteil (< 2 mm) zu erhalten. Die Feinbodenproben werden anschließend hinsichtlich ihrer Boden-pH-Werte gemäß DIN ISO 10390 [19] gemessen und die Korngrößenverteilung zur Ermittlung der Bodenarten durch die laserdiffraktometrische Analyse mit dem LS 13320 Laser Diffraction Particle Size Analyzer (Beckman Coulter) bestimmt.

Im Folgenden werden sowohl das Pflanzenmaterial als auch die Feinböden bei 105 °C im Trockenschrank bis zur Gewichtskonstanz getrocknet und mit der Achatkugelmühle (Fritsch PULVERISETTE Typ 05.102) analysenfein gemahlen. Im Zuge der Probenvorbereitung für die Bestimmung der Elementkonzentrationen werden die pulverisierten Boden- und Pflanzenproben zusammen mit Blind- und Referenzproben im seriellen Säuretotalaufschlussverfahren in Anlehnung an Sauer & Ruppert [47] unter Einsatz eines hochreinen Gemischs aus 65 %iger Salpetersäure (HNO₃), 40%iger Flußsäure (HF)

und 70%iger Perchlorsäure (HClO_4) vollständig in Lösung gebracht. Die Multielementanalysen erfolgen über die Methoden der Inductively Coupled Plasma – Optical Emission Spectrometry (ICP-OES) am Gerät Optima 3300 DV (Perkin Elmer) sowie der Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometry (ICP-MS) am Gerät ELAN DRC II (Perkin Elmer).

Um eine verfälschte Darstellung der Elementkonzentrationen in den Pflanzen durch anhaftendes Bodenmaterial an den Pflanzenoberflächen zu vermindern, werden die Elementgehalte der Pflanzenproben über ein mathematisches Korrekturverfahren mit der Titankonzentration der Pflanze und des Bodens verrechnet. Da dieses bodenbürtige Element unter den betrachteten Bedingungen nicht in die Pflanze verlagert wird, können die absoluten Elementgehalte bereinigt und somit physiologische Gehalte ermittelt werden [47].

4.2 Vegetationsbegleitende Datenerhebung und statistische Auswertung

Die Datenerhebung findet begleitend zur kompletten Vegetationszeit statt. Nach dem Feldaufgang werden die Amarantpflanzen in regelmäßigen Abständen begutachtet. Da es für den Amaranth keinen einheitlichen BBCH-Code gibt, erfolgt die Festlegung der Entwicklungsstadien auf Grundlage des Boniturschemas der Reismelde [15] (Tabelle 13 im Anhang), die – zu den Pseudogetreiden gehörend – dem Amaranth sehr ähnlich ist. Sämtliche Sorten im Screening werden ohne Wiederholungen angebaut, sodass sich die statistische Auswertung der Anbau- und Ertragsmerkmale auf einen Vergleich des 1. und 2. Saattermins als Gesamtheit beschränkt. Die labortechnischen Untersuchungen zu wertgebenden Inhaltsstoffen, Spurenelementgehalten und Biogaspotenzial werden auf Grundlage der zertifizierten Verfahrensrichtlinien in der erforderlichen Anzahl an Wiederholungen durchgeführt und die Ergebnisse entsprechend in Form von Mittelwerten mit der entsprechenden Standardabweichung ausgewiesen.

4.3 Saatgutgewinnung

Auffällig ist das Auftreten unterschiedlicher Phänotypen innerhalb der einzelnen Parzellen. Die Pflanzen weichen im Habitus zum Teil deutlich voneinander ab und unterscheiden sich sowohl in Rispenaufbau und -farbe als auch im Gesamterscheinungsbild. Diese scheinbaren Vermischungsereignisse mögen zum einen tatsächlich auf einen gewissen Grad an Saatgutvermischungen beim Sävorgang zurückzuführen sein. Zum anderen spiegelt die Inhomogenität der Bestände auch den geringen züchterischen Einfluss wieder. Als Folge der unterschiedlichen Ausprägung des Erbguts kommt es zu Abweichungen im Phänotyp.

Um in nachfolgenden Projektvorhaben auf homogeneres Ausgangsmaterial zurückgreifen zu können, wird ein Teil der Rispen zum Zwecke der Saatgutgewinnung noch vor der

Beerntung per Hand aus dem Bestand entnommen. Ausgewählte Einzelpflanzen, die durch einen außergewöhnlich großrahmigen Habitus verbunden mit guter Standfestigkeit als besonders anbauwürdig einzustufen sind, werden „geselbstet“. Durch das Abschirmen der Rispe mittels eines fein perforierten Crispac-Beutels (Hersteller: Sealed Air) über den Zeitraum der Blüte hinweg wird eine ausschließliche Selbstbefruchtung sichergestellt. Generell wird bei der monözischen und selbstfertilen Amarantpflanze auch ohne diese Maßnahme eine Selbstbefruchtungsrate von 90 % erreicht. Durch die unmittelbare Nachbarschaft anderer Genotypen und deren zeitlich paralleles Abblühen wäre in diesem Fall jedoch eine deutlich geringere Quote und ein höherer Anteil fremdbefruchteter Pflanzen zu erwarten gewesen.

5 Ergebnisse und Diskussion

5.1 Bestandsentwicklung

5.1.1 Allgemeine Bestandsentwicklung

Nach erfolgreicher Aussaat liefen die Bestände beider Saattermine sicher auf. Bei den Großparzellen des 1. Saattermins wurde bei der Aufgangszählung 20 Tage nach Aussaat im Mittel eine Auflaufquote von 72 % erreicht; ein für Amaranth hervorragender Wert. Mäßige Niederschläge in den Wochen nach der Aussaat begünstigten den Entwicklungsverlauf positiv. Die Bestände schlossen zügig die Reihen, sodass es zu keinem nennenswerten Unkrautdruck kam. Der 2. Saattermin erzielte mit einer mittleren Auflaufquote von 36 % ein deutlich geringeres, aber noch zufriedenstellendes Ergebnis. Der vergleichsweise geringere Auflauf lässt sich durch die sehr trockenen Witterungsverhältnisse und damit schlechteren Keimungsbedingungen in den ersten drei Wochen nach der Aussaat erklären. Eine bildliche Gegenüberstellung der beiden Saattermine im Anhang (Abbildung 27) verdeutlicht den Unterschied. Den anfänglichen Rückstand konnten die Bestände des 2. Saattermins jedoch rasch kompensieren (Abbildung 25 im Anhang). Ebenso wie beim 1. Saattermin schlossen sich auch die Reihen im 2. Saattermin im Schnitt zu BBCH 35. Die Entwicklungszeit bis zum Reihenschluss betrug bei beiden Saatterminen rund sechs Wochen.

Etwas zögerlicher gestaltete sich die anfängliche Bestandsetablierung bei den Kleinparzellen. Für nahezu alle Genotypen musste eine Nachsaat veranlasst werden. Der Genotyp mit der Nummer AMA 091 kam nicht zum Auflauf und entfiel damit komplett.



Abbildung 10: Dichter Reihenschluss in den Großparzellen gegenüber lückigen Beständen bei den Kleinparzellen

Im weiteren Vegetationsverlauf trug die sommerliche Witterung zur Etablierung üppiger und homogener entwickelter Bestände bei. Auch die Kleinparzellen entwickelten sich positiv, die nachgesäten Pflanzen glichen sich dem ursprünglichen Bestand weitestgehend an. In der zweiten Augushälfte, explizit nach den ausgeprägten Regenereignissen am

19.08.2013 und 25.08.2013, war bei allen Varianten ein deutliches Längenwachstum mit gleichzeitiger Zunahme an Stängel- und Blattmasse feststellbar. Die Bestände des 2. Saattermins wiesen dabei ein überproportional stark ausgeprägtes Längenwachstum auf, während der Stängelumfang eher stagnierte. Besonders deutlich zeigte sich diese Entwicklung bei den Genotypen AMA 186 und AMA 251, deren Stängel bei den Pflanzen des 1. Saattermins kompakt und stark eingekürzt erschienen, wohingegen sich dieses Merkmal bei den Pflanzen des 2. Saattermins infolge der enormen Längenzunahme nahezu verwachsen hatte.

Im fortschreitenden Entwicklungsverlauf waren in den Beständen verschiedene Schadbilder zu beobachten. Ein Teil davon war auf biotische Schaderreger zurückzuführen, während der andere Teil als Reaktion der Pflanze auf die gegebenen Klima- und Witterungseinflüsse beschrieben werden muss. Die zugehörigen Abbildungen liefern nur im Farbdruck eine detailgetreue Darstellung und werden deshalb im Anhang gezeigt.

5.1.2 Abiotische Stressfaktoren

Infolge des Wetterumschwungs um den 10.09.2013, verbunden mit einem deutlichen Temperaturabfall, ergiebigen Niederschlägen und starken Winden, die vom Deutschen Wetterdienst mit maximalen Geschwindigkeiten von bis zu 60 km/h beziffert wurden, kam es in den Anlagen beider Saattermine zu lagernden Beständen (Abbildung 28 im Anhang)

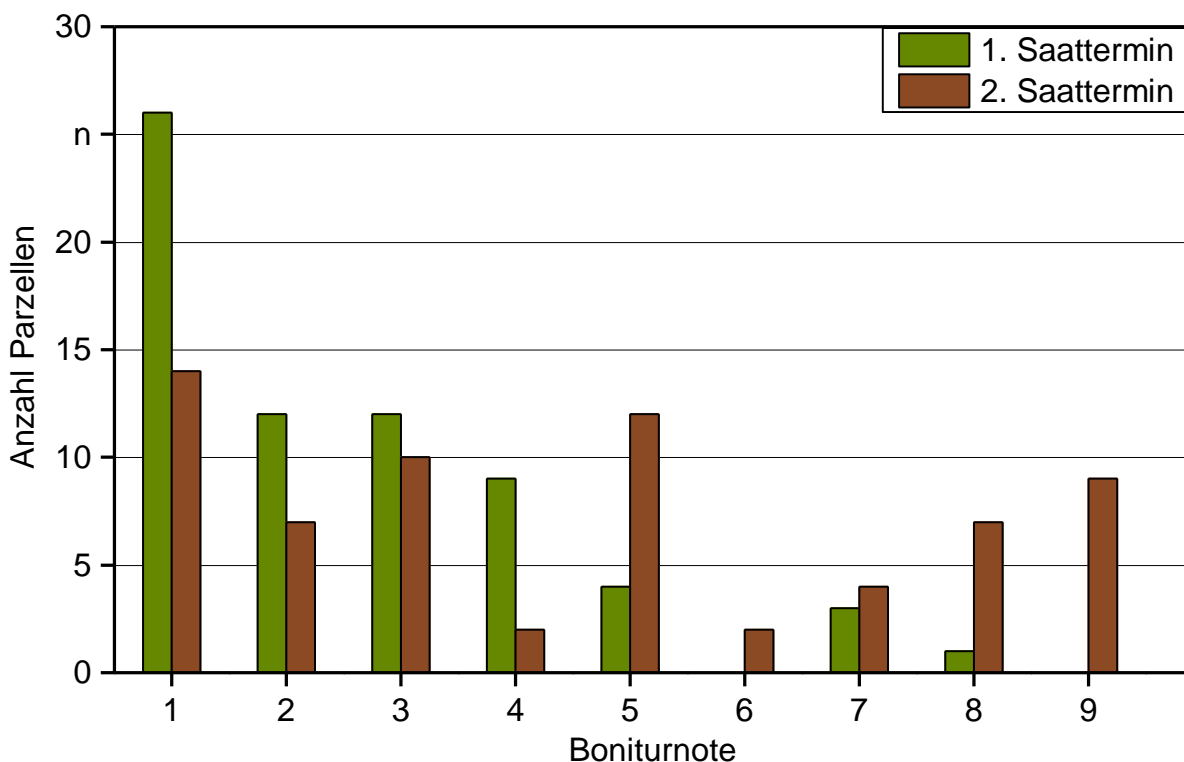


Abbildung 11: Ergebnisse der Lagerbonitur im Vergleich von 1. und 2. Saattermin

Die Lagerbonitur nach den Richtlinien des Bundessortenamts für Getreide (Abschnitt 5.6) [13] brachte das Ergebnis, dass die Bestände des 2. Saattermins deutlich stärker betroffen waren als die Bestände im 1. Saattermin (Abbildung 11). Bildet man einen Mittelwert über alle Parzellen, ergibt sich für den 1. Saattermin eine durchschnittliche Lagernote von 2,5. Beim 2. Saattermin liegt mit einer mittleren Ausprägung von 4,5 ein deutlich höherer Wert vor. Besonders auffällig ist dabei, dass Bestände mit sehr starkem Lager (Note 8) bzw. totalem Lager (Note 9) nahezu ausschließlich im 2. Saattermin auftraten. Ferner scheint sich bei diesen Beständen ein Zusammenhang zwischen der Lageranfälligkeit und dem Abreifeverhalten, gekennzeichnet durch den erzielten Trockensubstanzgehalt in Prozent, abzuzeichnen. Die genauen Werte und Hintergründe zu dieser These beleuchtet Unterkapitel 5.2 im Kontext mit der Ertragsleistung noch näher.

Generell gelten Amarantpflanzen mit Beginn der Abreife als äußerst windempfindlich [6]. Das Lagerrisiko steigt in den späteren Entwicklungsabschnitten mit der gleichzeitigen Zunahme an Wuchshöhe, Verzweigungsgrad und Stängelbasisvermorschung. Vor allem unter sehr niederschlagsreichen Bedingungen führen fortgesetzte Schübe vegetativen Wachstums zum Umknicken des weichen Gewebes unter Windlast oder zum Umsinken der Pflanzen im aufgeweichten Boden. Zusätzlich verlagert eine durch Niederschläge durchnässte Rispe den Schwerpunkt der Pflanze ungünstig nach oben.

Ein überproportionales Längenwachstum bei gleichzeitig schwacher Stängelausbildung war im Speziellen bei den Beständen des zweiten Saattermins zu beobachten und stellt somit einen möglichen Erklärungsansatz für das verstärkt auftretende Lager im zweiten Saattermin dar. Eine ergänzende Auswertung gibt zudem den Hinweis darauf, dass bestimmte Amarantarten in besonderer Weise zur Lagerbildung neigen. Besonders schwere Formen zeigten sich mit *A. hypochondriacus* und *A. caudatus* bei Arten, die für ihre ausgeprägte Kurztagsempfindlichkeit bekannt sind und unter den Bedingungen des Langtags nur zögerlich in die generative Entwicklung eintreten. Unerwarteterweise waren auch die aus Russland stammenden *A.-hybridus*-Stämme, die im dortigen Langtag erfolgreich für die Grünfütterproduktion eingesetzt werden, schwer betroffen.

Eine Remission der lagernden Bestände konnte nicht festgestellt werden, im Gegenzug war aber auch keine weitere Verschlechterung auszumachen.

Letztendlich führten die aufgetretenen Kälteschäden an den Pflanzen, bedingt durch die für den Amarant zu kühle Witterungsperiode Anfang Oktober, zu einem regelrechten Zusammenbruch der Bestände (Abbildung 29 im Anhang). Eine weitere Abreife war unter diesem Gesichtspunkt ausgeschlossen, sodass man sich zur sofortigen Beerntung der Parzellen, unabhängig vom Saattermin, entschloss.

5.1.3 Biotische Schadbilder

5.1.3.1 Weißer Rost (*Albugo candida*)

Ende August wurde an den Genotypen AMA 057 und AMA 199 erstmals das Auftreten einzelner, unspezifisch brauner Flecken an der Blattoberseite beobachtet. Am

04.09.2013 weitete sich der Befall mit AMA 031, AMA 170 und AMA 194 auf drei weiteren Genotypen aus. Bei genauerem Betrachten zeigten sich an der Blattunterseite erhabene weiße Pusteln, die eine mehlig-weiße Sporenmasse enthielten. Parallel hatten sich an der Blattoberseite an selber Stelle bereits nekrotisierte Bereiche gebildet, die im ersten Moment als „braune Flecken“ wahrgenommen wurden. Mit zunehmender Ausprägung des Schadbilds verschmolzen die einzelnen Stellen zu großflächigen, abgestorbenen Blattarealen, es kam zum Einrollen der Blattspreiten, einer Verbräunung der Rispen und letztendlich zu einer vollständigen Nekrotisierung der befallenen Pflanzen.

Nach einer fünftägigen Inkubation befallenen Blattmaterials in der feuchten Kammer und dem Abgleich der Schadbilder mit denen in der Literatur könnte es sich dabei um einen Befall mit dem pilzlichen Erreger *Albugo candida*, auch bekannt unter der Bezeichnung „Weißer Rost“, handeln.

Abbildung 30 im Anhang dokumentiert den fortschreitenden Pilzbefall im Vergleich von Aufnahmen zu Beginn der Erkrankung am 04.09.2013 (links) mit Aufnahmen unmittelbar vor der Ernte (rechts).

Als Wirtspflanze werden primär Vertreter aus der Familie der *Brassicaceae* genannt, in der Literatur wird aber auch der Befall von *Amaranthus spinosus* L. (Dorniger Fuchschwanz) durch *Albugo candida* beschrieben [33]. Ursprünglich war diese Amarantart in den tropischen Regionen Amerikas beheimatet, wurde mittlerweile aber auch auf andere Kontinente verbreitet und gilt in Asien als schwerwiegende Unkrautpflanze in Reisbeständen [31]. Im Aussehen ähnelt die Pflanze in hohem Maße dem in Europa verbreiteten Unkrautamarant, *Amaranthus retroflexus*. Sämtliche befallenen Genotypen weisen ebenfalls diesen spezifischen Habitus auf, obwohl sie verschiedenen Amarantarten (*A. powellii*, *A. hybridus*, *A. hypochondriacus*) angehören. Unabhängig davon scheint es ein verbindendes Merkmal zu geben, das die Genotypen dieser Wuchsform besonders anfällig gegenüber dem Befall durch *Albugo candida* macht.

Da der spezifische Habitus dieses Pflanzentypus – kleine, fingerartige Rispen mit wenig Kornansatz bei gleichzeitig dürftigem Aufwuchs – eine Nutzung als Kulturpflanze eher unwahrscheinlich macht, wird dem Krankheitsbild an dieser Stelle keine weitreichendere Bedeutung zugemessen. Andere Genotypen, die in unmittelbarer Nachbarschaft der erkrankten Pflanzen standen, zeigten keine Anzeichen eines Befalls und gaben damit keinen Hinweis auf eine mögliche Übertragbarkeit des Schaderregers auf die domestizierten Körner- bzw. Zierpflanzentypen.

5.1.3.2 Kohleule (*Mamestra brassicae*)

Ebenfalls im Bereich der Kleinparzellenanlage waren ab Anfang September vereinzelt Raupen der Kohleule (*Mamestra brassicae*) zu beobachten. Im Zeitraum bis zur Ernte Anfang Oktober kam es zu einer massiven Vermehrung der Population, verbunden mit zunehmenden Fraßschäden an den Pflanzen (Abbildung 31 im Anhang).

Die Kohleule ist ein zur Familie der Eulenfalter gehörender Schmetterling. Neben dem namensgebenden Kohl ernähren sich die Larven auch von den Blättern einer großen Anzahl weiterer Wirtspflanzen, sie gelten als polyphag. Auch Kartoffeln zählen zum breiten Nahrungsspektrum der Raupen [39]. Diese standen als Vorfrucht auf den Anbauflächen des Amarants und liefern somit eine Erklärung für das Auftreten des Schädlings. In der Literatur weisen Stallknecht und Schulz-Schaeffer [51] explizit auf den möglichen Befall von Amarantpflanzen durch die Larven von Schmetterlingen aus der Familie der Eulenfalter hin, weitere Fälle sind darüber hinaus aber nicht bekannt.

Unter den gegebenen klimatischen Bedingungen bildet die Kohleule pro Jahr zwei Generationen aus. Aus dem Zeitpunkt des Auftretens kann abgeleitet werden, dass es sich beim beschriebenen Befall um Raupen der 2. Generation handelte. Charakteristisches Merkmal für die Larven dieser Generation ist, dass sie, im Unterschied zur 1. Generation, nicht nur an den Blättern sondern auch am Fruchtstand der Pflanze fressen – vorliegend war auch der Rispenstand betroffen. Nachdem die Larven das letzte Larvenstadium erreicht haben, verpuppen sie sich im Boden und überwintern dort bis zum nächsten Jahr. Im Laufe ihrer Entwicklung vervielfachen die Larven ihre Größe auf eine Länge von über 40 mm. Dabei wechseln sie ihre Farbe von einem hellen Grün in ein dunkles Graubraun, seitlich zeigt sich ein charakteristischer, hellgelber Streifen (Abbildung 32 im Anhang).

Nach telefonischer Auskunft der Pflanzenschutzberatung des Erzeugerrings für Obst und Gemüse in Straubing war im Erntejahr 2013 für den Bezirk Niederbayern der gravierendste Raupenbefall seit Jahren zu vermelden. Der ungewohnt hohe Schädlingsdruck könnte demnach eine Ursache für das Auftreten der Raupen im Amarant gewesen sein, der seitens der Gartenbauexperten nicht als klassische Wirtspflanze der Kohleule bewertet wird. Die Wahrscheinlichkeit für einen erneuten Befall wurde als gering eingeschätzt. Für das Folgejahr ist für die Versuchsfläche dennoch der Anbau einer Kulturart zu empfehlen, die den im Frühjahr schlüpfenden Faltern keine Nahrungsgrundlage bietet. Als wirksame Insektizide werden im Gemüsebau Präparate aus der Wirkstoffgruppe der synthetischen Pyrethroide empfohlen (z. B. Karate Zeon, Bulldock, Fastac SC Super Contact). Vor einem möglichen Einsatz im Amarant muss im Indikationsfall eine Genehmigung nach § 22 Abs. 2 PflSchG erwirkt werden.

5.2 Ertragsleistung der Genotypen

Eine Bewertung der Ertragsleistung konnte, wie bereits ausführlich erläutert lediglich für die Großparzellen vorgenommen werden. Die Bonitur- und Ertragsdaten der geprüften Genotypen sind als Absolut- und als Relativwerte zum Saatterminmittel in Tabelle 14 und Tabelle 15 im Anhang einzusehen. Für die Kleinparzellen erfolgt die Darstellung der Boniturdaten in Tabelle 16.

Abbildung 12 zeigt den Trockenmasseertrag (TM) sowie den Trockensubstanzgehalt (TS) der geprüften Amarant-Genotypen für den 1. Saattermin (13.06.2013) und den 2.

Saattermin (03.07.2013). Grau hinterlegt ist der angestrebte TS-Gehalt von 28 % bis 35 %, der die Voraussetzung für eine verlustfreie Silierung darstellt.

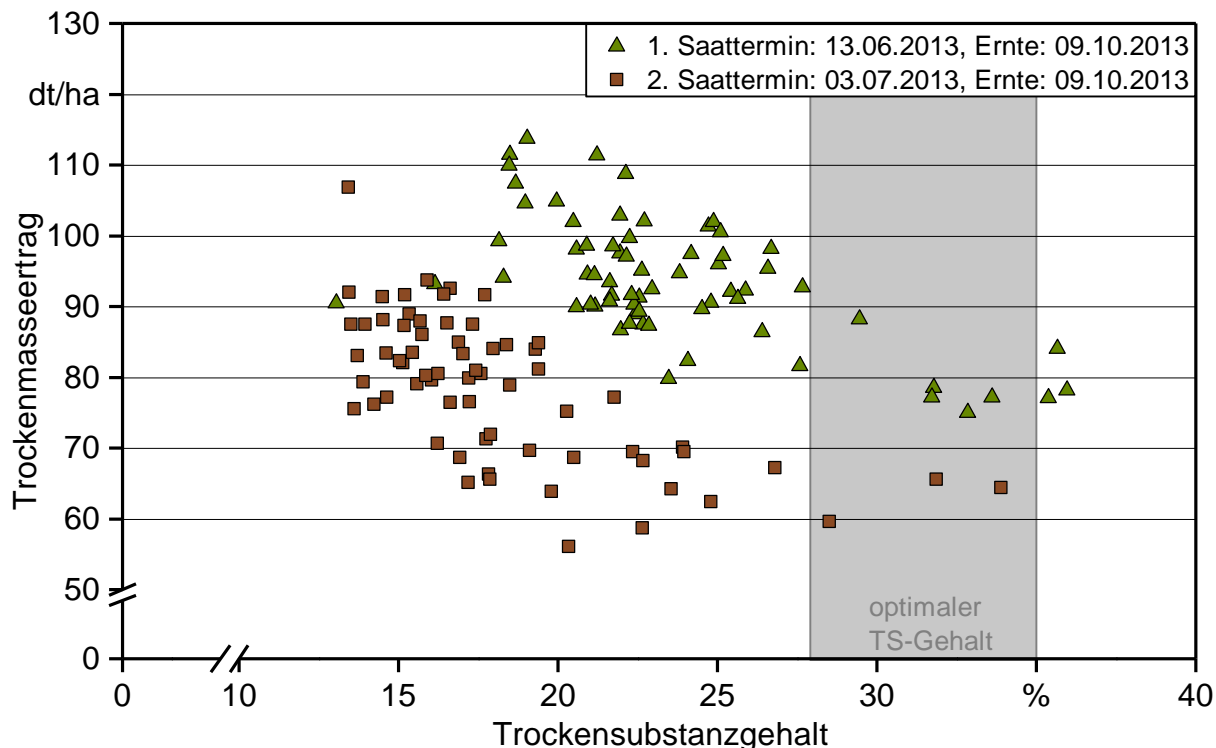


Abbildung 12: Trockenmasseertrag und Trockensubstanzgehalt von Amaranth getrennt nach Saattermin

Bereits auf den ersten Blick lässt sich ein starker Sorteneinfluss auf Trockenmasseertrag und Trockensubstanzgehalt erkennen; das Spektrum der geprüften Sorten zeigt eine breite Streuung für beide Saattermine. Zudem verdeutlicht die Abbildung, dass die frühreifen Sorten, gekennzeichnet durch höhere Trockensubstanzgehalte, generell ertragschwächer sind als die später reifenden.

Im Vergleich der Saattermine konnten die Sorten der ersten Aussaat mit einem mittleren TM-Ertrag von 94 dt/ha deutlich höhere Erträge erzielen als zum zweiten Saattermin mit einem Mittel von 78 dt/ha. Die Spanne im 1. Saattermin erstreckt sich dabei auf Trockenmasseerträge von 75 bis 114 dt/ha, während im 2. Saattermin Leistungen von 56,1 dt/ha bis 106,8 dt/ha realisiert wurden. Der durchschnittliche Trockensubstanzgehalt im 1. Saattermin belief sich auf 23,6 %, die Genotypen des 2. Saattermins erzielten bei diesem Parameter einen durchschnittlichen Wert von 18,2 %. Ob möglicherweise eine Abhängigkeit der Ertragsleistung vom Saattermin besteht, kann nicht nachgewiesen werden. Parallel zur späteren Aussaat war die Vegetationszeit beim 2. Saattermin um drei Wochen verkürzt, so dass nicht nur ein, sondern gleich zwei ertragsbeeinflussende Faktoren vorliegen, deren genaue Ausprägungsgrade nicht voneinander zu trennen sind.

Unbestritten bleibt, dass sich zumindest ein Teil der in der Grafik erkennbaren Differenz auf die rund drei Wochen kürzere Vegetationszeit zurückführen lässt.

Im Ergebnis sind die Ertragsleistungen der Amaranth-Genotypen des 1. Saattermins, gerade im Hinblick auf die schwierigen Vegetationsbedingungen im Erntejahr 2013, als durchwegs positiv zu bewerten. Im Bereich eines Trockensubstanzgehalts von über 28 % zeigten sich AMA 214 mit einem Trockenmasseertrag von 88 dt/ha und AMA 251 mit 84 dt/ha als die ertragsstärksten Sorten. Die Ergebnisse liegen damit genau im Mittel der in der Literatur ausgewiesenen Erträge in einer Spanne von 60 bis 100 dt TM/ha (vgl. Abschnitt 2.2.3). Im Vergleich zur einzigen, in Deutschland eingetragenen Amaranthsorte „Bärnkrafft“, welche in Abhängigkeit der Herkunft Hektarerträge von 98,2 dt/ha (AMA 184) bzw. 97,2 dt/ha (AMA 244) erzielte, liegen die züchterisch kaum bearbeiteten Landsorten im Mittel nur knapp hinter diesem Ergebnis und versprechen ein gutes genetisches Potenzial für weitere Züchtungsbemühungen.

Ein später Saattermin wie vorliegend Anfang Juli deutet sich hingegen als Grenzbereich für den Amaranthanbau als Biogassubstrat an. Bedingt durch die Frostempfindlichkeit der Bestände im Herbst ist auch bei der Nutzung des Amaranths für den Zweitfruchtanbau eine Aussaat bis spätestens Mitte Juni anzustreben, um den durchschnittlich notwendigen Vegetationszeitananspruch von 120 Tagen erfüllen und eine ausreichende Abreife der Bestände gewährleisten zu können.

Frühreife Sorten, die auch im 2. Saattermin noch den Anforderungen an einen TS-Gehalt von über 28 % genügen konnten, wiesen eine drastisch erhöhte Lagerneigung auf. Diese Beobachtung erstreckte sich darüber hinaus auf sämtliche Genotypen mit einem Trockensubstanzgehalt von größer oder gleich 21 %, die in der Lagerbonitur ausnahmslos mit der Note 8 oder 9 bewertet wurden (Abbildung 13). Auch unter Berücksichtigung der Tatsache, dass in den Parzellen des 2. Saattermins generell eine starke Lagerneigung zu beobachten war (vgl. Abschnitt 5.1.2), liegt die Ausprägung in der Stärke 8 bzw. 9 noch deutlich über dem Durchschnitt.

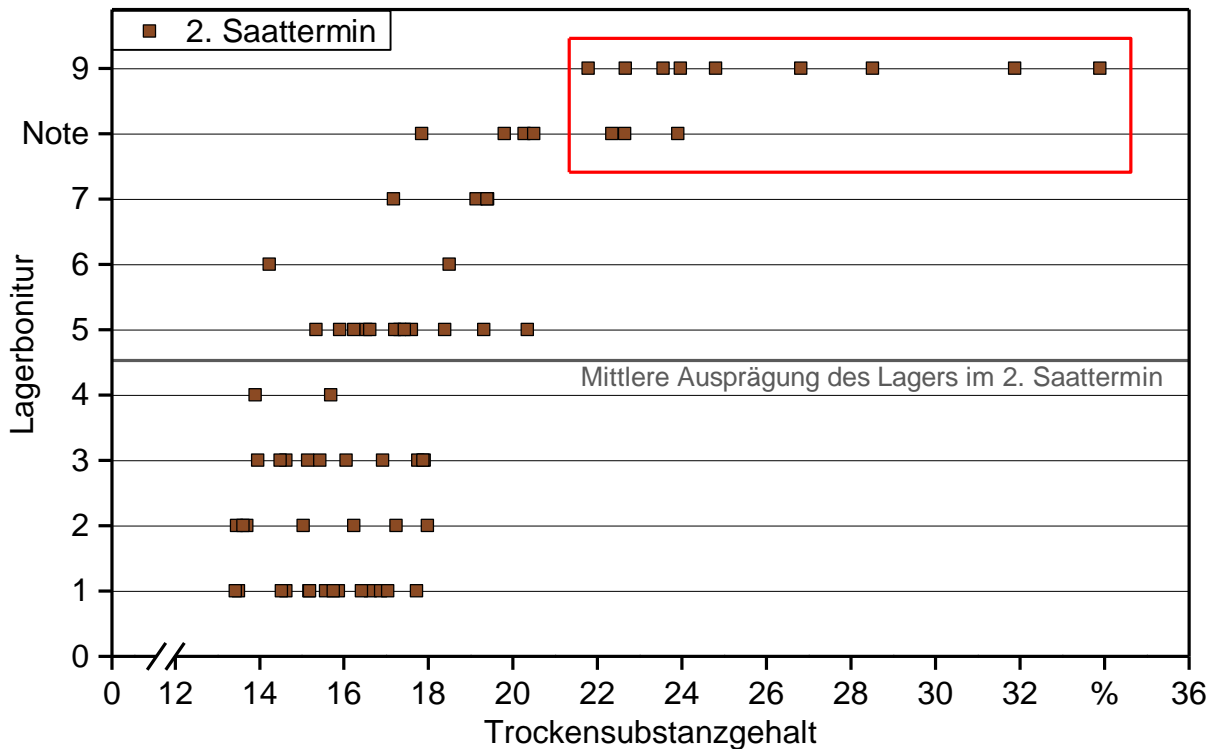


Abbildung 13: Ergebnisse der Lagerbonitur im 2. Saattermin in Abhängigkeit des erzielten Trockensubstanzgehalts bei der Ernte

Zur Erklärung dieser Beobachtung können lediglich Mutmaßungen angestellt werden. Folgt man den Hinweisen in der Literatur, so scheinen frühreife Genotypen generell eine erhöhte Lagerneigung aufzuweisen. Dobos & Gimplinger [20] stießen bei ihren Züchtungsarbeiten zur Etablierung eines neuen Körneramarant-Genotyps wiederholt auf sogenannte Frühblüher mit deutlich verkürzter Abreifezeit. Neben der geringen Ertragsleistung war auch die tendenziell stärkere Lagerneigung dieser Typen, welche vor allem bei ungünstigen Entwicklungsbedingungen (vgl. 2. Saattermin) zum Tragen kommt, ein Grund, der die Weiterentwicklung der Sorten als reine Linie ausschloss. Daneben könnte der höhere TS-Gehalt aber auch als fortschreitende Vertrocknung der Bestände infolge des Lagers angesehen werden. Die Pflanzen wurden durch das Abknicken der Leitungsbahnen nur noch unzureichend mit Wasser versorgt und sind dadurch zunehmend verwelkt. Die Länge des Zeitraums zwischen aufgetretenem Lagerereignis und Beerntung lässt diese Annahme zumindest zu.

Die Bestände im 1. Saattermin waren deutlich weniger von der Lagerproblematik betroffen. Mit Ausnahme der Sorte Pastewny, vertreten in Form von zwei Genotypen aus verschiedenen Herkunftten (AMA 185, AMA 216), war für die Varianten im anzustrebenden TS-Bereich von über 28 % keine verstärkte Lagerneigung nachweisbar.

In der Gegenüberstellung mit anderen als Energiepflanzen genutzten Kulturen sind die Ertragsleistungen des Amarants im Mittelfeld angesiedelt. Abbildung 14 gibt einen Überblick über die im Mittel erzielten Trockenmasseerträge und Trockensubstanzgehalte der Referenzpflanzen im Vergleich zu Amarant. Die zugrunde liegenden Werte sind in

Tabelle 17 im Anhang aufgeführt. Sämtliche zum Vergleich herangezogenen Bestände befanden sich ebenfalls auf der Versuchsfläche „Brunnenfeld“ und wiesen ähnliche Saat- und Erntetermine auf. Die in der Folge annähernd identischen Vegetationszeiten schaffen eine solide Vergleichsbasis.

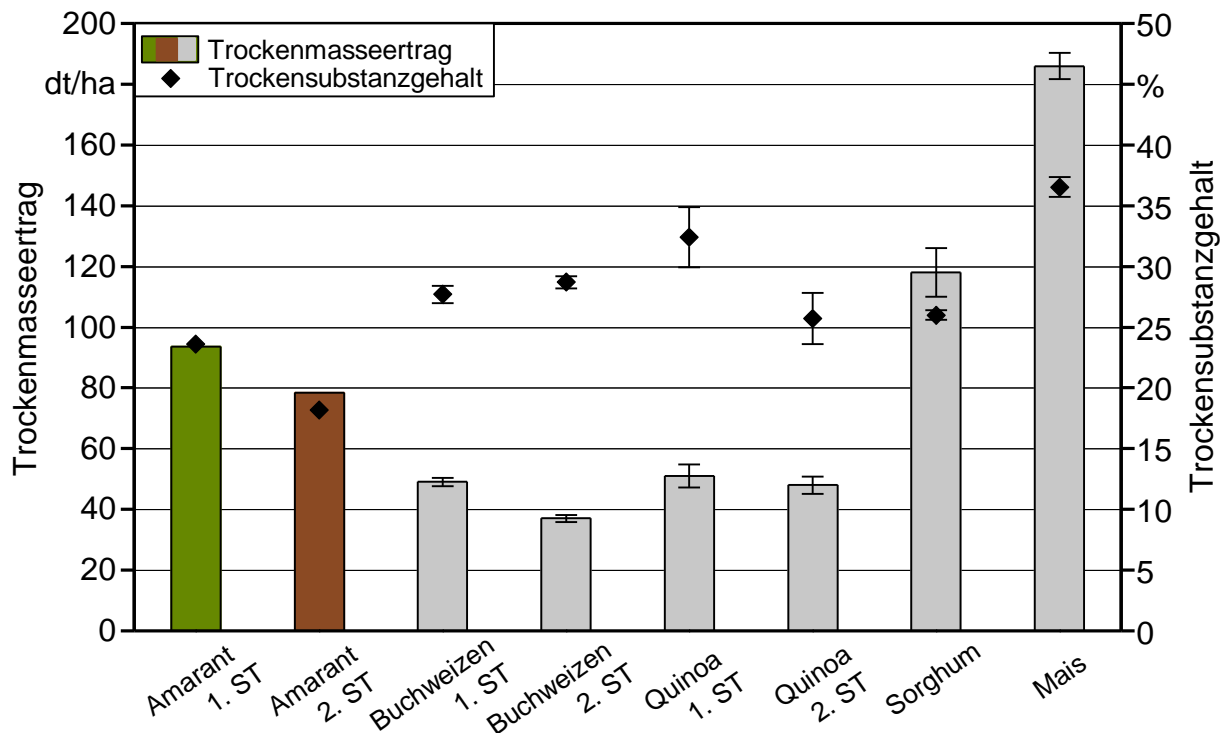


Abbildung 14: Ertragsleistung von Amaranth im Vergleich zu anderen Energiepflanzen; Fehlerbalken = Standardfehler

Nach Mitteilung der zuständigen Projektleiter kann die Ertragsleistung der jeweiligen Fruchtarten als zufriedenstellend bewertet werden, Spitzenwerte wurden vor dem Hintergrund der schwierigen Witterungsbedingungen im Erntejahr 2013 auch hier nicht erzielt.

Erwartungsgemäß, da im Gegensatz zu Amaranth bereits intensiv züchterisch bearbeitet, konnten von Mais und Sorghum deutlich höhere Ertragsleistungen realisiert werden. Buchweizen und Quinoa liegen entsprechend ihrer vergleichsweise niedrigeren Wuchsform noch hinter Amaranth. Etwas schwerer wiegen die Differenzen hinsichtlich der im Durchschnitt gezeigten Trockensubstanzgehalte, die bei den betrachteten Referenzpflanzen durchwegs positiver zu bewerten sind als bei Amaranth.

So lässt sich nicht in Abrede stellen, dass der erzielte Abreifeegrad bei der Mehrheit der betrachteten Genotypen noch nicht den Ansprüchen an eine verlustfreie Silierbarkeit genügt. Mit einer überproportionalen Gewichtung dieses Kriteriums in der Gesamtbeurteilung als Energiepflanze würde man der Kultur jedoch nicht gerecht werden. Hier ist der Hintergrund zu berücksichtigen, dass die betrachteten Amaranth-Genotypen bisher

lediglich eine marginale züchterische Bearbeitung erfahren haben und unter diesem Gesichtspunkt der Kulturart ein großes Potenzial für eine Nutzung im Energiepflanzenbau zugesprochen werden muss. Die Erfahrungswerte aus der Züchtungsarbeit mit Sorghum zeigen, dass das Abreifeverhalten der Pflanzen und die daraus resultierenden Trockensubstanzgehalte durch züchterisches Einwirken erheblich verbessert werden können, und ermutigen zu einem entsprechenden Vorgehen bei Amaranth. Es bleibt zu wünschen, dass der Amaranth auch von den Züchterhäusern als zukunftssträchtige Kulturart erkannt wird und entsprechende Modifikationen erfolgen werden. Bis dahin sollte der Ansatz in Erwägung gezogen werden, den Amaranth nicht in Reinform, sondern in Kombination mit trockensubstanzreicheren Substratkomponenten wie Mais zu silieren, um möglichen Silierverlusten auf diesem Wege entgegenzuwirken.

Setzt man den Fokus auf den Trockenmasseertrag, so präsentiert sich der Amaranth schon heute als Kulturart, die sich auch unter den klimatischen Bedingungen Bayerns behaupten kann. Die gezeigte Leistung wiegt umso mehr, wenn auch die aus der Literatur bekannte herausragende Wasser- und Nährstoffeffizienz des Amaranths mit in die Gesamtbilanz einbezogen wird.

5.3 Wertgebende Inhaltsstoffe auf Basis der Weender Futtermittelanalyse

Neben Trockenmasseertrag und Trockensubstanzgehalt ist die Substratqualität als wesentliches Kriterium zur Beurteilung von Energiepflanzen zu nennen. Für die Vergärbarkeit des Substrats und daraus folgend das Methanbildungspotenzial stellen die Inhaltsstoffe und ihre jeweilige Konzentration wesentliche Einflussgrößen dar. Unter Anwendung der entsprechenden rechnerischen Modelle dienen die Nährstoffgehalte ferner als Grundlage für die näherungsweise Bestimmung von Methanausbeuten und Methanhektarerträgen.

Im vorliegenden Fall erfolgte die Inhaltsstoffanalyse der Amaranth-Genotypen am getrockneten Erntegut mittels erweiterter Weender Analyse. Da Amaranth als Ganzpflanze grundsätzlich auch für einen Einsatz in der Tierernährung in Betracht gezogen wird, erfolgte ergänzend eine Bestimmung des Nitratgehalts. Die von den einzelnen Akzessionen erzielten Ergebnisse werden, gesondert nach Saattermin, in Tabelle 19 und Tabelle 20 im Anhang aufgelistet, die Ergebnisse der Kleinparzellen sind in Tabelle 21 dargestellt. Bei einigen Kleinparzellen konnte infolge der geringen Anbaufläche nicht die notwendige Menge an Probenmaterial gewonnen werden, die für die Bestimmung der wertgebenden Inhaltsstoffe erforderlich gewesen wäre; im 2. Saattermin musste zudem das Material vier weiterer Genotypen verworfen werden, weil es infolge beschädigter Verpackungen zu Vermischungen gekommen war. Einen Überblick darüber, welche Ergebnisse bei den einzelnen Varianten jeweils zu ermitteln waren, gibt Tabelle 18 im Anhang.

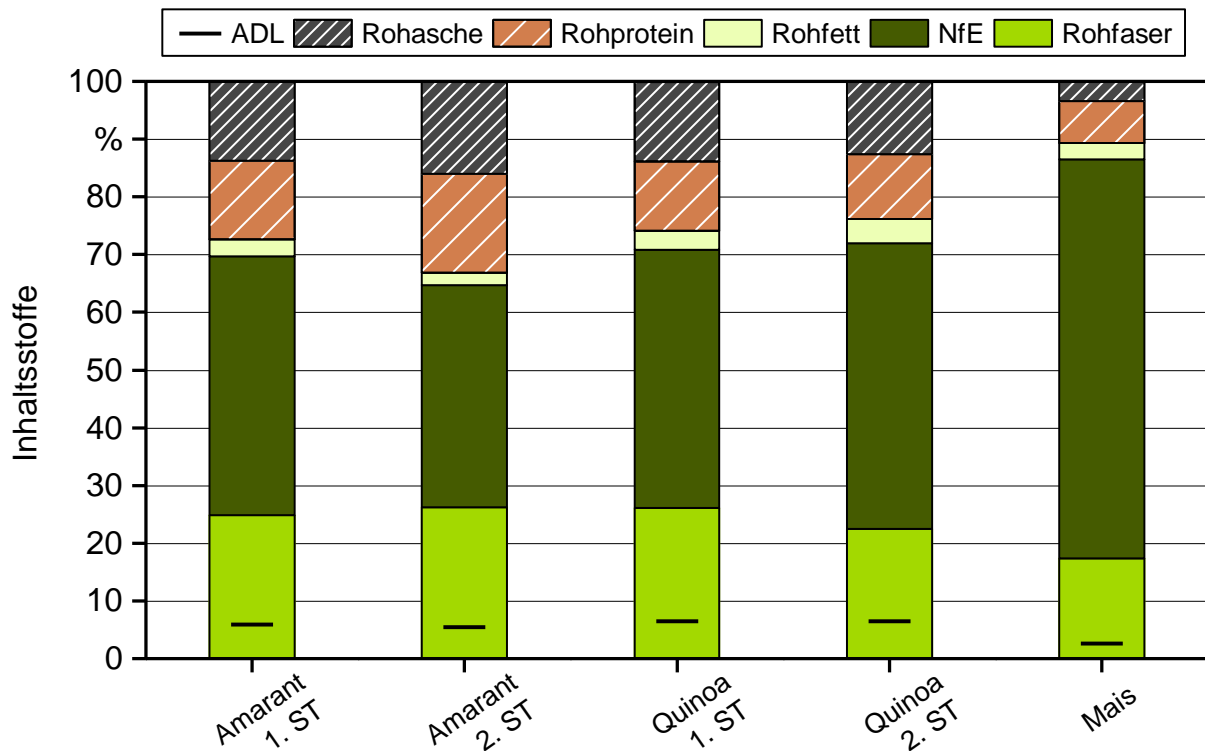


Abbildung 15: Inhaltsstoffe von Amarant im Vergleich zu anderen Energiepflanzen; ADL = Säure Detergenz Lignin, NfE = N-freie Extraktstoffe, ST = Saattermin

Im Vergleich mit anderen Energiepflanzen ist festzustellen, dass Amarant deutlich höhere Anteile schlechter vergärbbarer Inhaltsstoffen wie Rohfaser und Rohasche aufzuweisen hat. Aus Abbildung 15 wird dies insbesondere in direkter Gegenüberstellung mit der Referenz Mais deutlich, wohingegen Quinoa, ebenso wie der Amarant zu den Fuchschwanzgewächsen gehörend, nur geringfügig niedrigere Rohasche- und Rohfasergehalte aufweist als dieser. Gleichzeitig liegen die Gehalte wertgebender Inhaltsstoffen wie Zucker und Stärke, die in Abbildung 15 anteilig in der Stoffgruppe der sog. N-freien Extraktstoffe (NfE) widerspiegelt werden, bei Amarant deutlich unterhalb derer von Mais. Gegenläufig verhält sich der im Vergleich zu Mais relativ hohe Wert bei Rohprotein, welcher auf Basis der Bestimmung nach Dumas die Summe sämtlicher organischer und anorganischer Stickstoffverbindungen darstellt. Für Amarant sowie die Gruppe der Pseudocerealien im Allgemeinen sind Gehalte dieser Größenordnung als arttypisch zu bewerten. In der Literatur wird insbesondere auf die hohen Proteingehalte in der Kornfraktion der Pseudocerealien verwiesen, deren hoher Anteil essenzieller Aminosäuren sie zu einer wertvollen Getreidealternative in der Humanernährung macht [6].

Einer eingehenderen Betrachtung bedarf die unterschiedliche Zusammensetzung der Inhaltsstoffe im Vergleich von 1. und 2. Saattermin. Zu diesem Zweck wurden insbesondere die in der erweiterten Weender Analyse ermittelten Parameter nochmals herausgegriffen und für die beiden Saattermine in Form der Mittel-, Minimal- und Maximalwerte in Tabelle 5 direkt gegenübergestellt.

Tabelle 5: Wertgebende Inhaltsstoffe und ihre Schwankungsbreiten bei Amaranth in Abhängigkeit des Saattermins

	1. Saattermin			2. Saattermin		
	Mittelwert	Min	Max	Mittelwert	Min	Max
	in g/kg Trockenmasse					
Rohasche	137	91	177	160	135	199
Rohprotein	137	120	166	171	152	190
Rohfett	29	13	54	22	14	31
NfE ¹	449	343	559	385	304	436
NDF ²	434	306	529	458	402	510
ADF ³	318	209	394	340	299	385
ADL ⁴	58	37	87	54	35	83
Stärke	166	33	358	77	38	157

¹)NfE = Stickstofffreie Extraktstoffe, ²)NDF = Neutral Detergenz Faser, ³)ADF = Säure Detergenz Faser, ⁴)ADL = Säure Detergenz Lignin

Allgemein lässt sich erkennen, dass die Gehalte von Rohasche und Neutral-Detergenz-Fasern (NDF) in den Genotypen des 1. Saattermins niedriger liegen als bei den Pflanzen des 2. Saattermins, bei denen Lager und die damit einhergehende Verschmutzung unter anderem ursächlich für den höheren Rohaschegehalt sein dürften. Reziprok dazu steigen die Anteile an N-freien Extraktstoffen und Stärke im 1. Saattermin an. Im Gesamtbild mit den geringeren Gehalten an NDF, die einen wichtigen Parameter für den Anteil nicht verdaulicher Inhaltsstoffe darstellen, scheinen sich für die Varianten des 1. Saattermins eine verbesserte Vergärbarkeit und damit einhergehend höhere Biogasgehalte abzuzeichnen. Da für die Biogasanalysen im Hohenheimer Biogasertragstest ausschließlich Genotypen des 1. Saattermins herangezogen wurden, lässt sich jedoch kein Vergleich ziehen, um diese Vermutung abschließend zu überprüfen.

Die höheren Anteile an N-freien Extraktstoffen und insbesondere Stärke, deren Gehalte mit einem Mittel von 166 g/kg TM im 1. Saattermin mehr als doppelt so hoch liegen wie im 2. Saattermin, sind sehr wahrscheinlich auf eine ausgeprägtere Kornausbildung und Kornfüllung zurückzuführen, welche für die Genotypen im 2. Saattermin infolge der späteren Aussaat und kürzeren Vegetationszeit noch nicht abgeschlossen war. Die kühlen Witterungsbedingungen ab Anfang September lassen zudem vermuten, dass eine Assimilation der aufgenommenen Nährstoffe ab diesem Zeitpunkt nur noch beschränkt möglich war und sich insbesondere in den Genotypen des 2. Saattermins niederschlug, die im Entwicklungsstadium zurücklagen. Diese These bestätigen auch die hohen Nitratgehalte, aus denen ebenfalls abgeleitet werden kann, dass die Pflanzen den Stickstoff

zwar noch aufgenommen haben, diesen infolge der kühlen Temperaturen und der herabgesetzten Photosyntheseleistung aber nur noch teilweise in Protein (Reineiweiß) umsetzen konnten. Im Ergebnis liegt der im Pflanzenmaterial gebundene Stickstoff zu einem übermäßig hohen Anteil in Form von Nitrat vor (Abbildung 16).

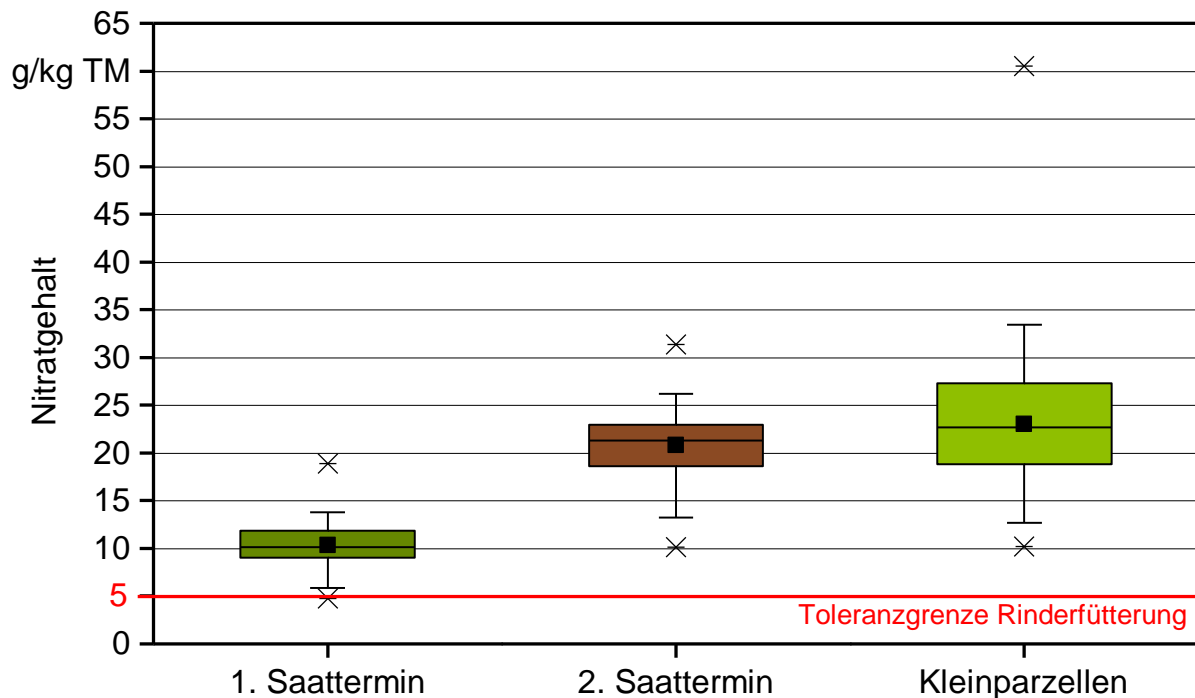


Abbildung 16: Nitratgehalte bei Amaranth im Vergleich der Saattermine und Versuchsanlagen (Box: 25 – 75 %; Whisker 5 – 95 %; Strich: Median; Viereck: arithmetisches Mittel)

Bereits zum 1. Saattermin wurde der Grenzwert von 5 g Nitrat/kg TM, der nach Auskunft der LfL (Dr. Hubert Schuster, telefonische Mitteilung vom 06.03.2014) für die uneingeschränkte Verfütterung von Rohfutter an Rinder festgelegt wurde, mit einer durchschnittlichen Konzentration von 10 g Nitrat/kg TM (Tabelle 19) deutlich überschritten. Für die Genotypen des 2. Saattermins ergaben die durchgeführten Analysen eine mittlere Konzentration von über 20 g Nitrat/kg TM (Tabelle 20), bei den Kleinparzellen waren Höchstwerte von über 60 g Nitrat/kg TM zu verzeichnen (Tabelle 21). Unter diesen Voraussetzungen ist selbst bei der Aufnahme nur geringer Futtermengen eine toxische Wirkung nicht mehr auszuschließen; von einer Verfütterung des vorliegenden Pflanzenmaterials ist deshalb dringend abzuraten.

Als Ursache der erhöhten Nitratwerte scheint sich der oben angeführte Erklärungsansatz zu bestätigen; unterstützende Hinweise liefern die Erfahrungswerte aus der Arbeit mit Sorghum [58]. Im Verlauf vorangegangener Versuchen am Technologie- und Förderzentrum waren bei dieser Kulturart bereits ähnlich hohe Nitratgehalte nachgewiesen worden. Als ursächlich wurde damals eine extrem nasskalte und sonnenscheinarme Witterung im

August 2010 beschrieben, womit man Angaben in der Literatur bestätigen konnte, dass sowohl niedrige Temperaturen von unter 55 °F (entspricht 12,8 °C) [26] als auch langanhaltende bewölkte Phasen [52] bei Sorghum zu einer gehemmten Photosynthese und einem entsprechend verlangsamten Stoffwechsel mit erhöhter Nitratakkumulation führen. Auch wenn für Amarant keine Daten aus Vergleichsjahren mit deutlich günstigeren Witterungsbedingungen vorliegen, darf angenommen werden, dass sich die oben beschriebenen Zusammenhänge auch auf den Amarant übertragen lassen, der ebenso wie Sorghum als äußerst wärmeliebende Pflanze zu beschreiben ist. Eine übermäßige Stickstoffversorgung kann unter Berücksichtigung des festgesetzten Sollwerts von 150 kg N/ha als alleinige Ursache ausgeschlossen werden, sodass die hohen Nitratgehalte zumindest teilweise auf die zu kühle Witterung am Ende der Vegetationsperiode zurückzuführen sind.

5.4 Biogasertragspotenzial

Die Erhebungen zum Biogaspotenzial von Amarant auf Grundlage des Hohenheimer Biogasertragstests beschränken sich wie bereits erläutert auf eine spezifische Auswahl von 24 Genotypen. Auch die näherungsweise Ermittlung des Methanertragspotenzials auf Grundlage der rechnerischen Modelle nach Amon und Weißbach wird für exakt diese Varianten vorgenommen. Nur so kann ein Vergleich gezogen und die Aussagekraft der rechnerischen Modelle unter Anwendung auf Amarant beurteilt werden.

Als tatsächlich ermittelte Werte und Grundlage für den nachfolgenden Vergleich sollen an erster Stelle die Ergebnisse aus dem Hohenheimer Biogasertragstest beleuchtet werden. Tabelle 22 weist die Methanausbeuten und Methanerträge der 24 betrachteten Genotypen aus, die mit dem Verfahren des Hohenheimer Biogasertragstests ermittelt wurden. Die aufgeführten Werte stellen dabei die Mittelwerte der dreifachen Laborwiederholung dar. Im Durchschnitt der betrachteten Genotypen wird eine Methanausbeute von 270 l CH₄/kg oTS erzielt, wobei die Spannweite der ermittelten Werte von 240 bis 310 l CH₄/kg oTS reicht und das Potenzial der einzelnen Genotypen damit relativ stark streut. Auf den Hektar bezogen führt dies zu einem durchschnittlichen Methanertrag von 2090 Nm³ CH₄/ha, als Spitzenwert konnte ein Methanertrag von rund 2500 Nm³ CH₄/ha realisiert werden. Die Ergebnisse bestätigen damit das von Fritz und Deiglmayr [27] ausgewiesene Biogasertragspotenzial von Amarant mit Methanausbeuten im Bereich von 280 l CH₄/kg oTS und verdichten die These, dass Methanhektarerträge von über 2500 Nm³ CH₄/ha in der Praxis nur schwer zu realisieren sind. Im Vergleich mit anderen Kulturarten bleibt Amarant damit deutlich hinter dem Biogaspotenzial etablierter Energiepflanzen wie Mais und Sorghum zurück, liegt aber über den Methanerträgen von Buchweizen und Quinoa, die als alternative Energiepflanzen, ebenso wie Amarant, im Rahmen von Anbauversuchen am Technologie- und Förderzentrum kultiviert wurden. Sämtliche in Abbildung 17 zum Vergleich herangezogenen Werte basieren auf Versuchsergebnissen des TFZ und wurden unter vergleichbaren Standortbedingungen ermittelt.

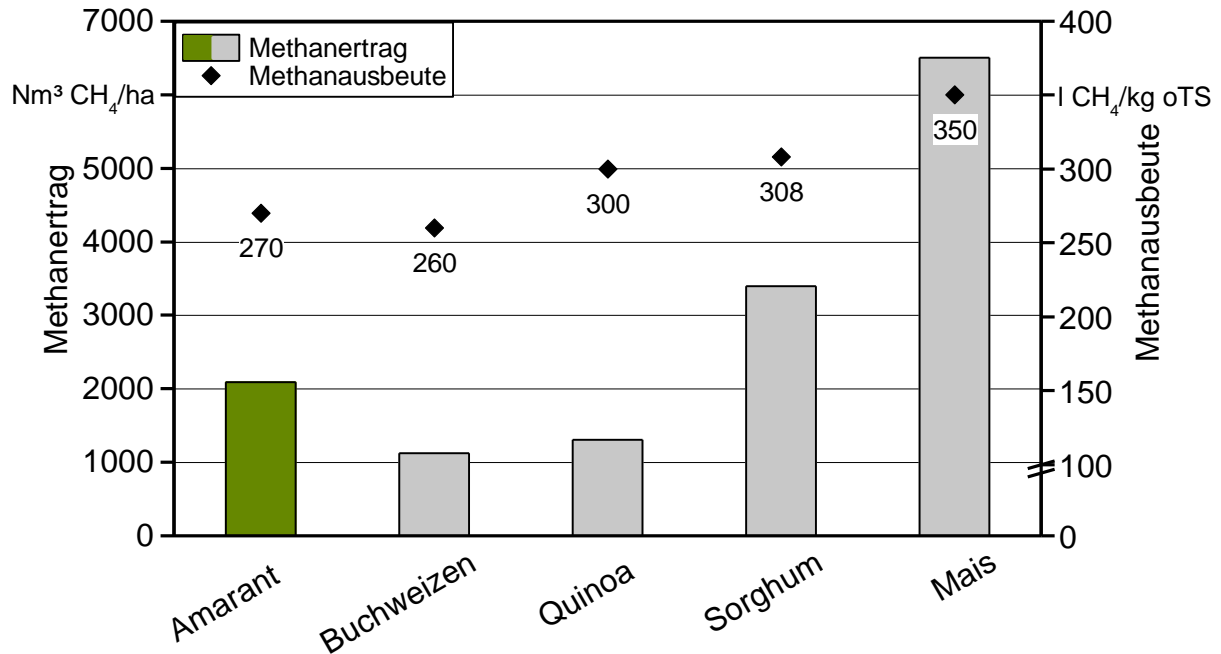


Abbildung 17: Mittlerer Methanertrag und -ausbeute von Amaranth im Vergleich mit anderen Energiepflanzen

Näher betrachtet werden sollten die erzielten Resultate im Vergleich zu Quinoa, der ebenso wie Amaranth der Familie der Fuchsschwanzgewächse zuzuordnen ist. Mit einer Methanausbeute von durchschnittlich 300 l CH₄/kg oTS liegt Quinoa über dem Mittelwert von Amaranth. Wie die Ergebnisse zeigen, reicht das Potenzial der körnerbetonten Amaranthtypen aber durchaus an diese Schwelle heran; mit den Sorten AMA 206 und AMA 184 liegen zwei Vertreter des *A. cruentus* sogar über diesem Wert. Eine repräsentative statistische Ableitung erlaubt der geringe Stichprobenumfang nicht, tendenziell scheinen körnerbetonte und damit stärkereichere Genotypen aber höhere Methanausbeuten zu erzielen als Sorten mit schwächerer Rispenausprägung.

Werden die Inhaltsstoffe als Grundlage für die Ermittlung des Biogaspotenzials über die rechnerischen Modelle nach Amon und Weißbach herangezogen, so ergibt sich in der Gegenüberstellung mit den Ergebnissen aus dem Hohenheimer Biogasertragstest folgendes Bild (Tabelle 6):

Tabelle 6: Methanerträge von 25 Amaranth-Genotypen im Vergleich von rechnerischen Modellen und Hohenheimer Biogasertragstest

	Methanertrag nach Amon (Maisformel)	Methanertrag nach Amon (Grünlandf.)	Methanertrag nach Weißbach (XF)	Methanertrag nach Weißbach (ADF)	Methanertrag nach HBT
in Nm ³ CH ₄ /ha					
Mittelwert	3710	1749	6871	6140	2089
Minimum	3029	1333	5611	5101	1522
Maximum	4477	2406	8070	7182	2537
Spannweite	1447	1072	2459	2081	1016
<p>Methanenergiewert nach Amon (Maisformel) [4]: Methanausbeute (l CH₄/kg oTS) = 15,27 x XP + 28,38 x XL + 4,54 x XF + 1,12 x NfE</p> <p>Methanenergiewert nach Amon (Grünlandformel) [3]: Methanausbeute (l CH₄/kg oTS) = 11,77 x XP + 4,46 x XL + 5,56 x XF - 1,6 x NfE</p> <p>Methanausbeute nach Weißbach (XF) [56]: Methanausbeute (l CH₄/kg TM) = 0,420 x FoTS (g/kg TM) = 0,420 x [984 - (XA) - 0,47 x (XF) - 0,00104 x (XF)²]</p> <p>Methanausbeute nach Weißbach (ADF) [57]: Methanausbeute (l CH₄/kg TM) = 0,420 x FoTS (g/kg TM) = 0,420 x [984 - (XA) - 0,43 x (ADF) - 0,00086 x (ADF)²]</p>					

Bereits auf den ersten Blick bestätigt sich die Vermutung, dass mit einer rechnerischen Ermittlung der Methanausbeuten für Amaranth keine ausreichende Annäherung an die in Batchuntersuchungen erzielten Ergebnisse sichergestellt werden kann. Anlass für eine genauere Betrachtung dieses Aspekts waren Angaben zum Biogasertragspotenzial von Amaranth in der Literatur, welche auf einer rechnerischen Ermittlung gründeten und nach bisherigem Kenntnisstand als nicht plausibel zu bewerten waren [1] [2]. Die vorgestellten Modelle können damit nicht ohne Vorbehalt auf andere Kulturen wie Amaranth übertragen werden ohne gleichzeitig eine verfälschte Darstellung des Ertragspotenzials zu riskieren. Besonders augenscheinlich ist die Überbewertung, wie sie bei einer Berechnung mit der Methode nach Weißbach zutage treten würde. Hier liegen die scheinbar erzielten Methanerträge im Bereich des Dreifachen der tatsächlich erzielten Leistung im Hohenheimer Biogasertragstests. Wird das Methanenergiewertmodell nach Amon für Mais herangezogen, werden ebenfalls noch deutlich zu hohe Werte ausgewiesen. Am nächsten zum tatsächlich erzielten Methanertrag liegen die Ergebnisse, welche unter Anwendung des Methanenergiewertmodells nach Amon für Grünland berechnet wurden; hier wird die tatsächliche Leistung allerdings unterbewertet. Innerhalb der einzelnen Modelle war zudem eine starke Streuung zwischen den Genotypen zu beobachten, mit welchem Grad der ermittelte Wert jeweils vom tatsächlichen Wert abwich. Die einfache Einarbeitung eines Korrekturfaktors in Form eines Divisors bzw. Multiplikators scheidet damit aus.

5.5 Spurenelementanalyse

Die Untersuchungen der Amarant-Genotypen auf ihre Spurenelementgehalte wurden durch die Projektgruppe Bioenergie am Interdisziplinären Zentrum für Nachhaltige Entwicklung (IZNE) der Universität Göttingen vorgenommen. Neben der Einordnung des Amarants im Vergleich zu anderen Energiepflanzen gilt es, die Amarant-Genotypen mit den höchsten Spurenelementgehalten zu ermitteln. Da Mais generell sehr geringe Spurenelementgehalte aufweist, könnte Amarant als spurenelementreicher Zusatzinput in Biogasfermentern den Biogasbildungsprozess stabilisieren und die Methanausbeute optimieren.

Tabelle 7 zeigt die Ergebnisse der Elementuntersuchungen des Oberbodens des Versuchsstandorts „Brunnenfeld“ bei Straubing. Die Werte bilden den Median aus 16 Bodenproben ab, welche im Bereich der Amarant-Großparzellen (GP), der Amarant-Kleinparzellen (KP) sowie der Anbaubereiche von Sorghum, Buchweizen und Quinoa gezogen wurden.

Tabelle 7: Elementtotalgehalte des Oberbodens des Versuchsstandorts „Brunnenfeld“ bei Straubing

Element	Messmethode	in mg/kg TM
Al	ICP-OES	51 403
Fe	ICP-OES	24 235
K	ICP-OES	16 931
Na	ICP-OES	6501
Ca	ICP-OES	5863
Mg	ICP-OES	5235
Ti	ICP-OES	5215
Mn	ICP-OES	998
P	ICP-OES	788
Ba	ICP-OES	403
Zr	ICP-MS	284
Rb	ICP-MS	104
Ce	ICP-MS	96
Sr	ICP-MS	78
Zn	ICP-OES	66
S	ICP-OES	56
La	ICP-OES	47

Element	Messmethode	in mg/kgTM
Li	ICP-MS	38,8
Y	ICP-MS	31,4
Ni	ICP-OES	27,6
Pb	ICP-MS	26,0
Cu	ICP-OES	19,2
Nb	ICP-MS	18,6
Th	ICP-MS	15,0
Co	ICP-MS	10,7
Cs	ICP-MS	5,1
Sn	ICP-MS	3,9
U	ICP-MS	3,8
Ta	ICP-MS	1,6
Sb	ICP-MS	0,96
Tl	ICP-MS	0,63
Mo	ICP-MS	0,55
Cd	ICP-MS	0,37

Bei dem betrachteten Pflanzenmaterial wurden neben den Versuchsgliedern der Amaranth-Großparzellen (1. und 2. Saattermin) auch eine Auswahl von Amaranthpflanzen aus den Kleinparzellen sowie ausgewählte Sorten von Buchweizen, Quinoa, Sorghum und Mais beprobt (Tabelle 8). Sämtliche Kulturarten befanden sich ebenfalls am Standort „Brunnenfeld“ bei Straubing.

Tabelle 8: Übersicht über die Pflanzenprobensätze der Spurenelementanalyse

Probensatz	Umfang
Amarant GP	alle Großparzellen zu je zwei Saatterminen (vgl. Tabelle 18)
Amarant KP	10 Sorten aus den Kleinparzellen (vgl. Tabelle 18)
Buchweizen	5 Sorten zu je zwei Saatterminen (Billy, Kora, Lileya, Oberon, Spacinska)
Quinoa	4 Sorten zu je zwei Saatterminen, Riesenquinoa ein Saattermin (Riesenquinoa, 407, Faro, Pasto, Tango)
Sorghum	4 Sorten zu je einem Saattermin (EUG 121 F, Farmsorgho, Freya, GK Emese)
Mais	6 Sorten zu je einem Saattermin (AgroGas, Cannavaro, Fernandez, Palmer, PR 38 H 20, Ronaldinio)

5.5.1 Spurenelementgehalte von Amaranth im Vergleich mit anderen Energiepflanzen des Versuchsstandorts

In den Abbildungen 16 bis 22 sind die physiologischen Gehalte, d. h. Elementgehalte nach mathematischer Korrektur anhaftenden Materials (siehe Abschnitt 4.1.7) aufgeführt. Es werden jeweils Medianwerte der verschiedenen Probensätze „Amaranth-Großparzellen“, „Amaranth-Kleinparzellen“, „Buchweizen“, „Quinoa“, „Sorghum“ und „Mais“ verwendet. Der ausgewiesene Standardfehler vermittelt einen Eindruck von der Streuung der jeweiligen Elementgehalte innerhalb einer Kulturart und macht gleichzeitig die Streuung der Datensätze mit unterschiedlichen Stichprobenumfängen vergleichbar. Die Darstellung beschränkt sich auf den ersten Saattermin. Die Werte des 1. Saattermins sind als repräsentativer zu bewerten, da die hier erzielten Trockensubstanzgehalte und Trockenmasseerträge höher liegen. Dementsprechend würde auch in der Praxis die Entscheidung für eine frühere Aussaat fallen. Die den Grafiken zugrunde liegenden Daten finden sich in Tabelle 23 im Anhang. Angaben zu weiteren ausgewählten Elementgehalten und eine Detaildarstellung herausragender Amaranth-Genotypen folgen ergänzend in Tabelle 24 und Tabelle 25.

Für einen optimalen Fermentationsprozess sind einige Spurenelemente in der Forschung in Diskussion. Dabei werden immer wieder die Elemente Eisen (Fe), Mangan (Mn), Cobalt (Co), Nickel (Ni), Zink (Zn), Molybdän (Mo), Wolfram (W) und Selen (Se) genannt [34] [37] [16]. Aktuell wird immer deutlicher, dass als kritische Elemente vor allem Cobalt und Nickel zu nennen sind [43] [41] [25]. Diese Elemente liegen in den Pflan-

zen in sehr geringen Konzentrationen vor und sollen in ihrer Rolle als limitierender Faktor hier ausführlich betrachtet werden. Die Elemente Eisen, Mangan, Molybdän, Kupfer und Zink treten in den Pflanzen und in den anderen Substraten in etwas höheren Konzentrationen auf, sodass ein Mangel in Biogasanlagen weniger wahrscheinlich ist. Die Elemente Wolfram und Selen sind mit der beschriebenen Methodik nicht bestimmbar.

5.5.1.1 Cobalt und Nickel

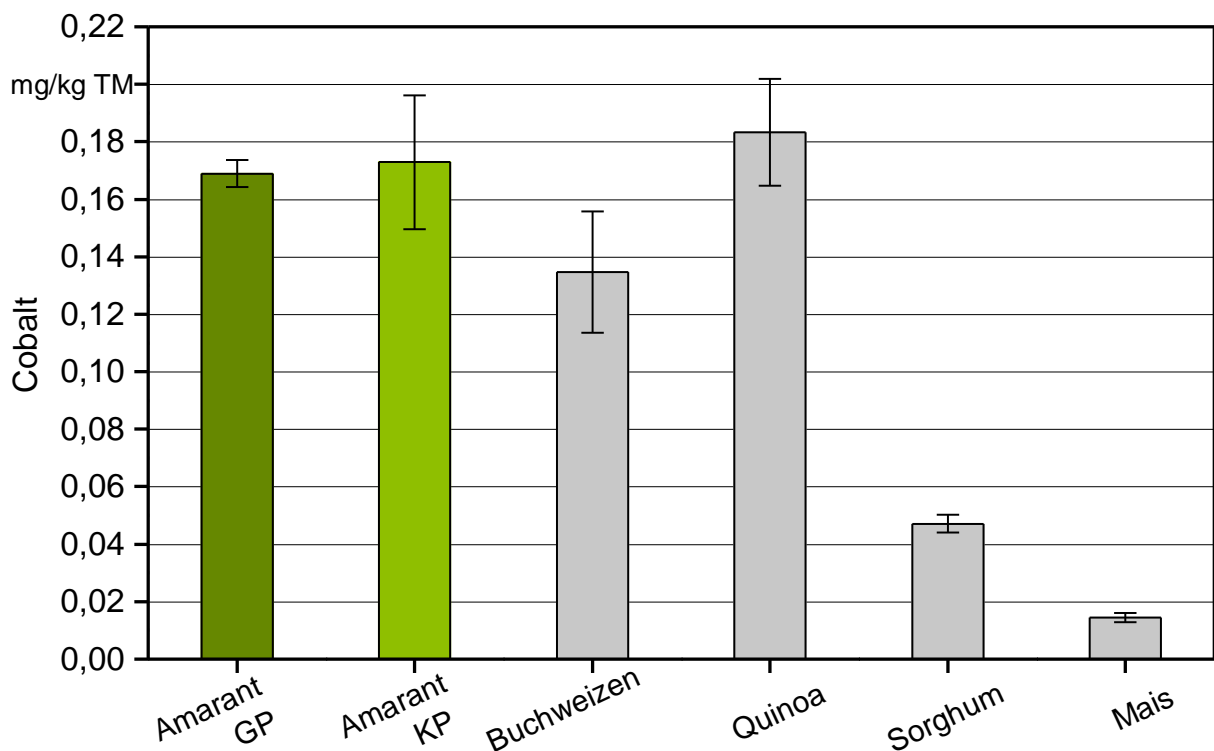


Abbildung 18: Cobaltgehalte in verschiedenen Substraten: Amarant GP ($n = 65$), Amarant KP ($n = 10$), Buchweizen ($n = 5$), Quinoa ($n = 5$), Sorghum ($n = 4$) und Mais ($n = 6$); Fehlerbalken = Standardfehler

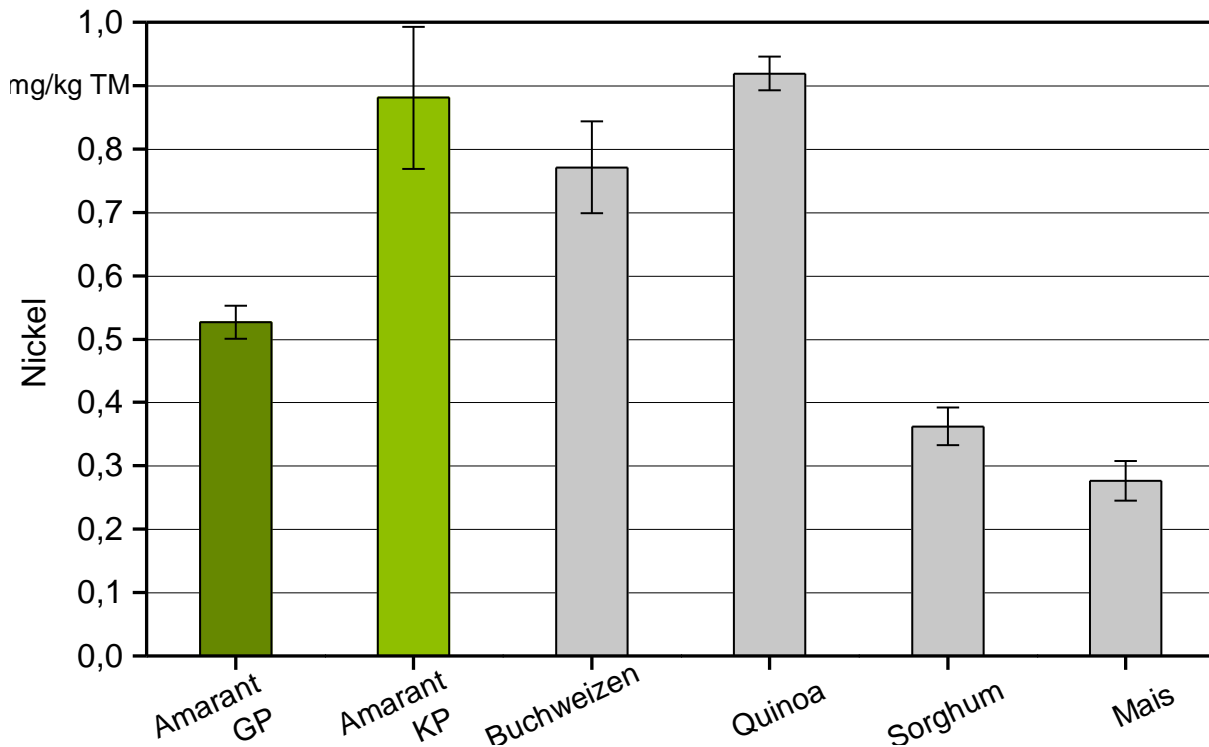


Abbildung 19: Nickelgehalte in verschiedenen Substraten: Amarant GP ($n = 64$), Amarant KP ($n = 10$), Buchweizen ($n = 5$), Quinoa ($n = 5$), Sorghum ($n = 4$) und Mais ($n = 6$); Fehlerbalken = Standardfehler

Das Element Cobalt ist für die meisten Pflanzen nicht essenziell und im Boden oft nur im Bereich von 5 bis 20 mg/kg TM (Standort „Brunnenfeld“: 10,7 mg/kg, Tabelle 7) enthalten. Abbildung 18 zeigt, dass Mais am betrachteten Standort im Mittel nur 0,015 mg/kg TM Cobalt aufweist, ca. elfmal weniger als der Amarant in den Großparzellen (Amarant-GP: 0,17 mg/kg TM). Derart niedrige Cobaltgehalte bei Mais wurden von der Projektgruppe Bioenergie des IZNE der Universität Göttingen bei zahlreichen anderen Maisproben unterschiedlicher Standorte bestätigt [47]. Die Cobaltgehalte von Buchweizen und Quinoa haben ein ähnlich hohes Niveau wie Amarant in den Groß- und Kleinparzellen.

Werden die durchschnittlichen Trockenmasseerträge der betrachteten Maissorten von 185 dt TM/ha und der mittlere TM-Ertrag bei Amarant zum 1. Saattermin von 94 dt TM/ha herangezogen (Tabelle 17), so lassen sich Elementfrachten berechnen:

Amarant: 0,17 mg Co/kg TM => 0,17 g Co/t x 9,4 t/ha = 1,6 g Co/ha.

Mais: 0,015 mg Co/kg TM => 0,015 g Co/t x 18,5 t/ha = 0,3 g Co/ha.

Dies bedeutet, dass mit dem Anbau von Amarant 1,6 g Cobalt pro Hektar gewonnen werden können, wohingegen Mais trotz des Mehrertrags nur 0,3 g Cobalt pro Hektar liefert. Legt man den hohen Cobaltgehalt von 0,26 mg/kg TM des Gelben Amarants (AMA 182) und dessen Trockenmasseertrag von 100 dt TM/ha (Tabelle 14) zugrunde, lassen sich mit der Ernte eines Hektar sogar 2,6 g Cobalt abfahren.

Die Nickelgehalte der Amarant-Genotypen in den Großparzellen liegen mit einem Faktor von 1,7 über denen von Mais. Sorghum zeigt ähnlich niedrige Nickelgehalte wie Mais (Abbildung 19). Auffällig ist der relativ große Unterschied im Nickelgehalt zwischen den beiden Amarant-Probengruppen; die Amarant-Kleinparzellen weisen hier deutlich höhere Werte auf. Die Differenz ist vermutlich auf die unterschiedlichen Genotypen zurückzuführen, die in den Gruppen jeweils kultiviert und beprobt wurden.

Im Hinblick auf eine optimale Spurenelementversorgung des Fermenters lässt sich die Nickelzufuhr durch Amarant-Zumischung ebenfalls deutlich verbessern. Aus Abbildung 19 wird deutlich, dass Amarant geringere Nickelgehalte als z. B. Quinoa aufweist, gleichzeitig aber noch bis zu dreimal höhere Werte als Mais liefert (Amarant-KP). Mit der Berechnung der Elementfrachten stellt sich der Nickelertrag auf den Hektar bezogen für Amarant (Median), Gelben Amarant (AMA 182), Quinoa (Median) und Mais (Median) wie folgt dar:

Amarant:	0,53 mg Ni/kg TM	=> 0,53 g Ni/t x 9,4 t/ha = 5,0 g Ni/ha
Gelber Amarant:	1,1 mg/kg TM	=> 1,1 g Ni/t x 10 t/ha = 11 g Ni/ha
Quinoa:	0,92 mg Ni/kg TM	=> 0,92 g Ni/t x 5,1 t/ha = 4,7 g Ni/ha
Mais:	0,28 mg Ni/kg TM	=> 0,28 g Ni/t x 18,5 t/ha = 5,18 g Ni/ha

Werden die relativen Nickelgehalte der Pflanzen in mg Ni/kg TM betrachtet, so erzielt der Amarant im Durchschnitt etwa doppelt so hohe Konzentrationen wie Mais; der besonders spurenelementreiche Gelbe Amarant liegt sogar mit dem Faktor vier über Mais. Mit Konzentrationen von 0,92 mg Ni/kg TM reicht Quinoa beinahe an die Leistungen des Gelben Amarants heran, allerdings relativiert sich dieses Ergebnis mit der Umrechnung auf den Hektarertrag. Dank seiner im Vergleich mit den Pseudocerealien absolut überragenden Trockenmasse-Ertragsleistung zieht Mais auf den Hektar bezogen mit den durchschnittlichen Spurenelementerträgen von Amarant gleich, bleibt aber weit hinter dem Potenzial des Gelben Amarants zurück, bei dessen Anbau von einem Hektar mehr als doppelt so viel Nickel gewonnen wird wie von einem Hektar Mais.

5.5.1.2 Weitere Spurenelementgehalte von Amarant im Vergleich mit anderen Energiepflanzen des Versuchsstandorts

Für einen stabilen Biogasbildungsprozess sind noch weitere Spurenelemente von Bedeutung. Im Folgenden werden Molybdän, Kupfer, Eisen, Mangan und Zink betrachtet. Die Gehalte in den Pflanzen sind für diese Elemente generell eine Größenordnung höher als die Cobalt- oder Nickelkonzentrationen (vgl. Abbildung 18, Abbildung 19).

Die Molybdängehalte von Quinoa, Sorghum und Amarant (GP) sind sehr ähnlich (Abbildung 20). Mais weist um 50 % höhere Molybdängehalte als Quinoa, Sorghum und Amarant auf. Auffällig ist der große Unterschied zwischen den beiden Amarantgruppen (GP und KP). Dieser ist ebenso wie bei Nickel auf die unterschiedlichen Genotypen zurückzuführen, die in den Groß- bzw. Kleinparzellen kultiviert wurden.

Bei den betrachteten Spurenelementen Kupfer (Abbildung 21) und Eisen (Abbildung 22) verfügen die Amarantpflanzen über deutlich höhere Gehalte als das hauptsächlich genutzte Bioenergiesubstrat Mais. Die Manganhalte in den Amarantpflanzen (GP und KP) liegen ca. um den Faktor 2 höher als in Mais (Abbildung 23). Zink weist vergleichbare Gehalte bei Mais und Amarant (GP und KP) auf (Abbildung 24).

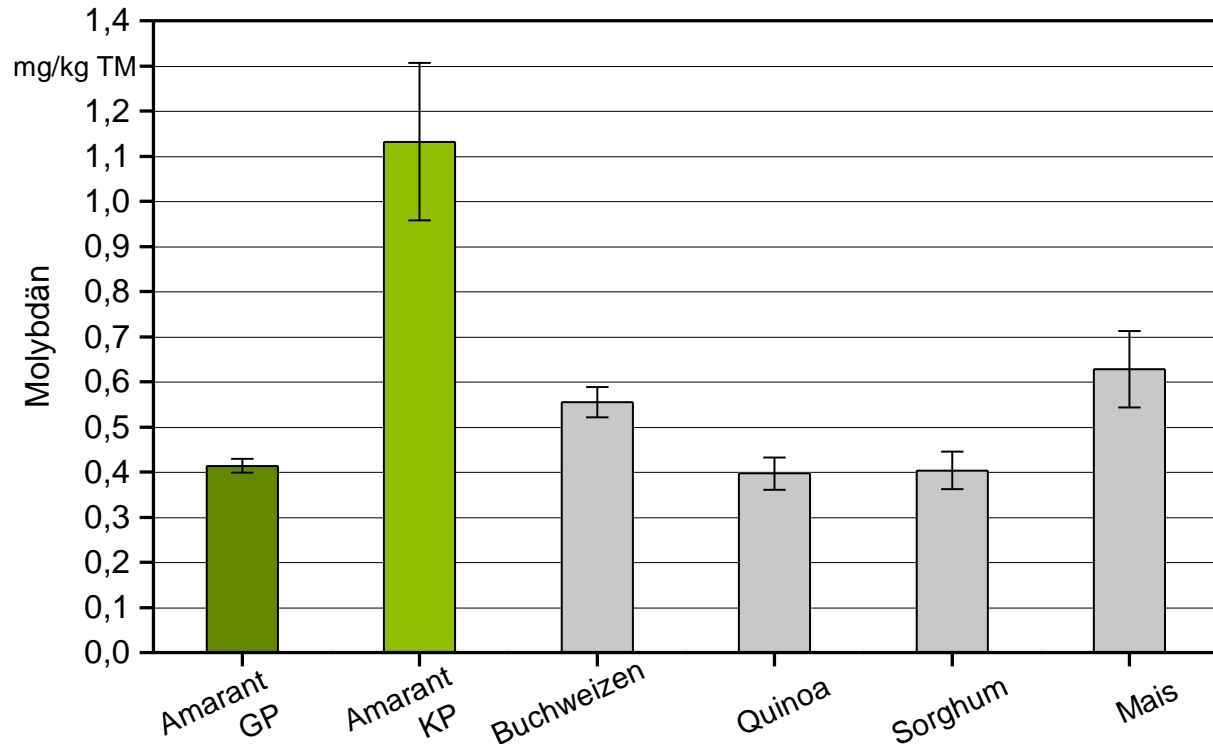


Abbildung 20: Molybdängehalte in verschiedenen Substraten: Amarant GP ($n = 67$), Amarant KP ($n = 10$), Buchweizen ($n = 5$), Quinoa ($n = 5$), Sorghum ($n = 4$) und Mais ($n = 6$); Fehlerbalken = Standardfehler

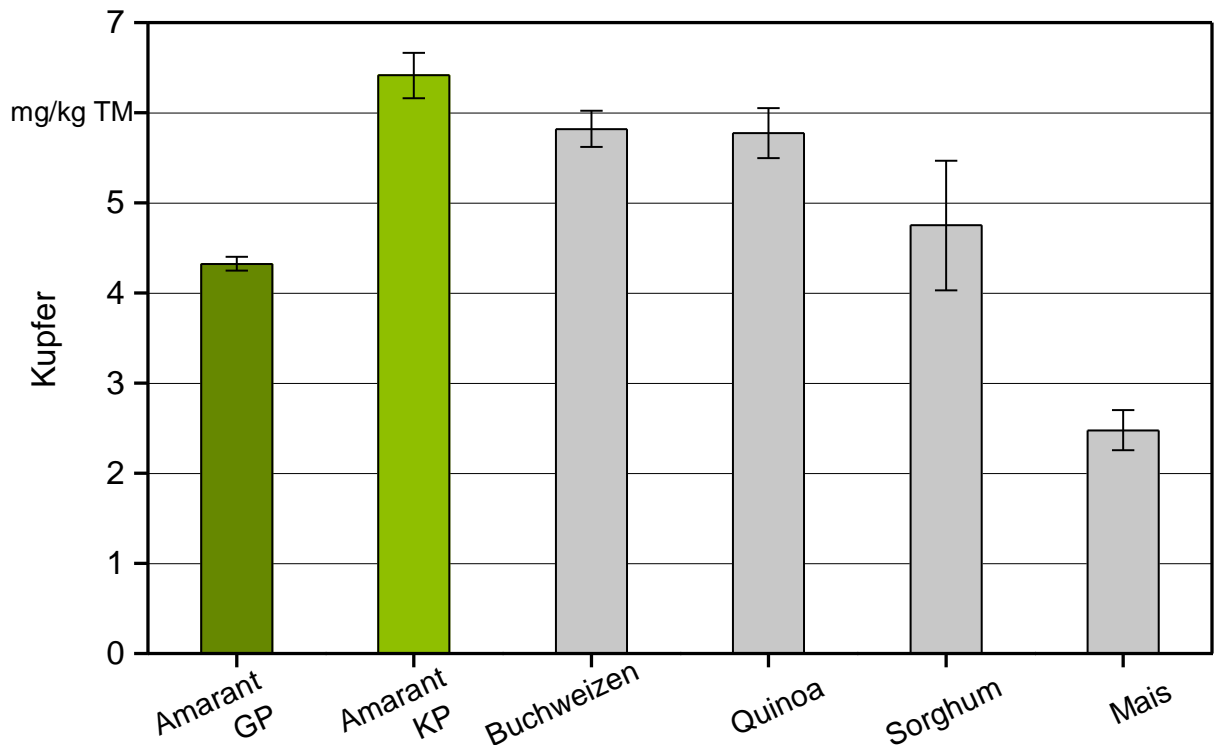


Abbildung 21: Kupfergehalte in verschiedenen Substraten: Amarant GP ($n = 65$), Amarant KP ($n = 10$), Buchweizen ($n = 5$), Quinoa ($n = 5$), Sorghum ($n = 4$) und Mais ($n = 6$); Fehlerbalken = Standardfehler

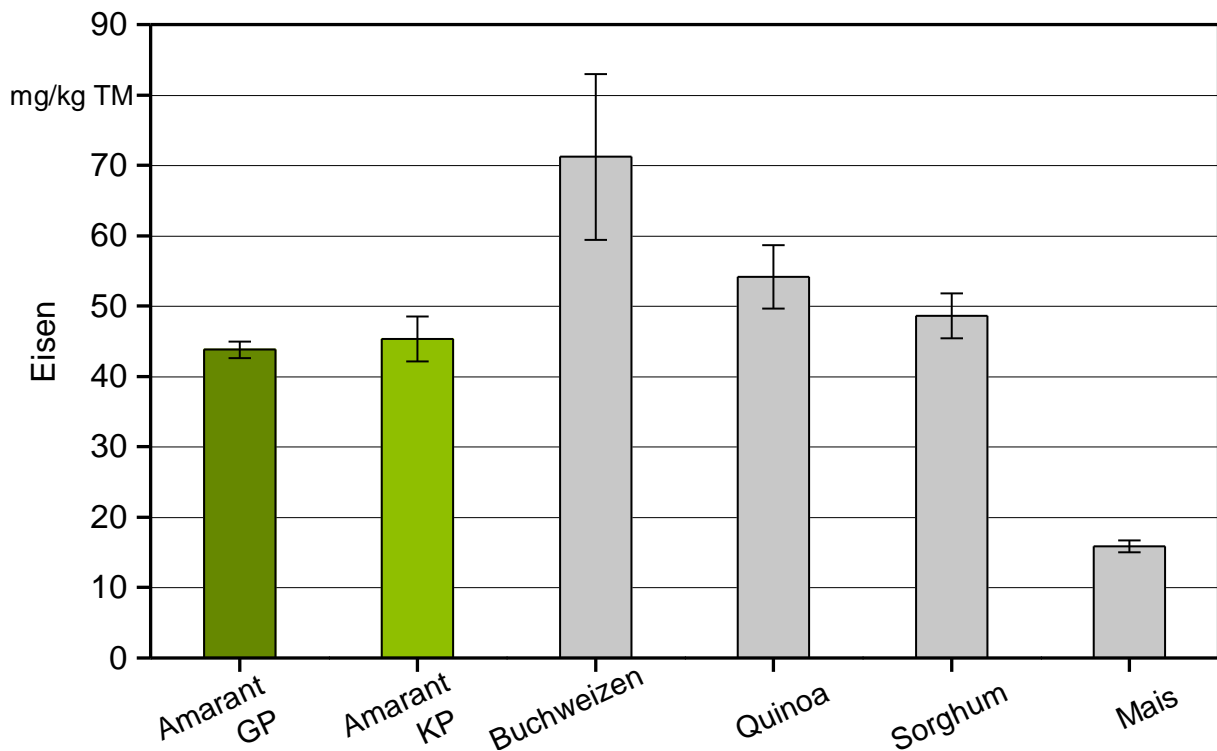


Abbildung 22: Eisengehalte in verschiedenen Substraten: Amarant GP ($n = 64$), Amarant KP ($n = 9$), Buchweizen ($n = 5$), Quinoa ($n = 5$), Sorghum ($n = 4$) und Mais ($n = 6$); Fehlerbalken = Standardfehler

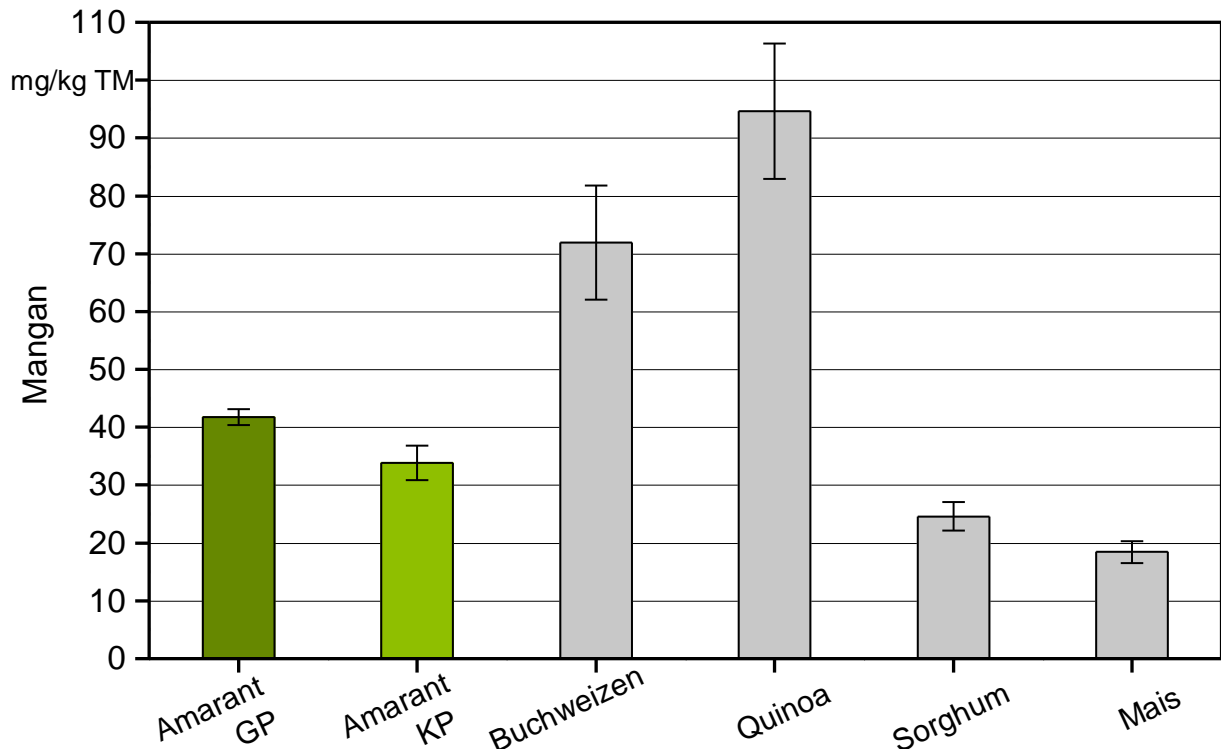


Abbildung 23: Mangangehalte in verschiedenen Substraten: Amarant GP ($n = 67$), Amarant KP ($n = 10$), Buchweizen ($n = 5$), Quinoa ($n = 5$), Sorghum ($n = 4$) und Mais ($n = 6$); Fehlerbalken = Standardfehler

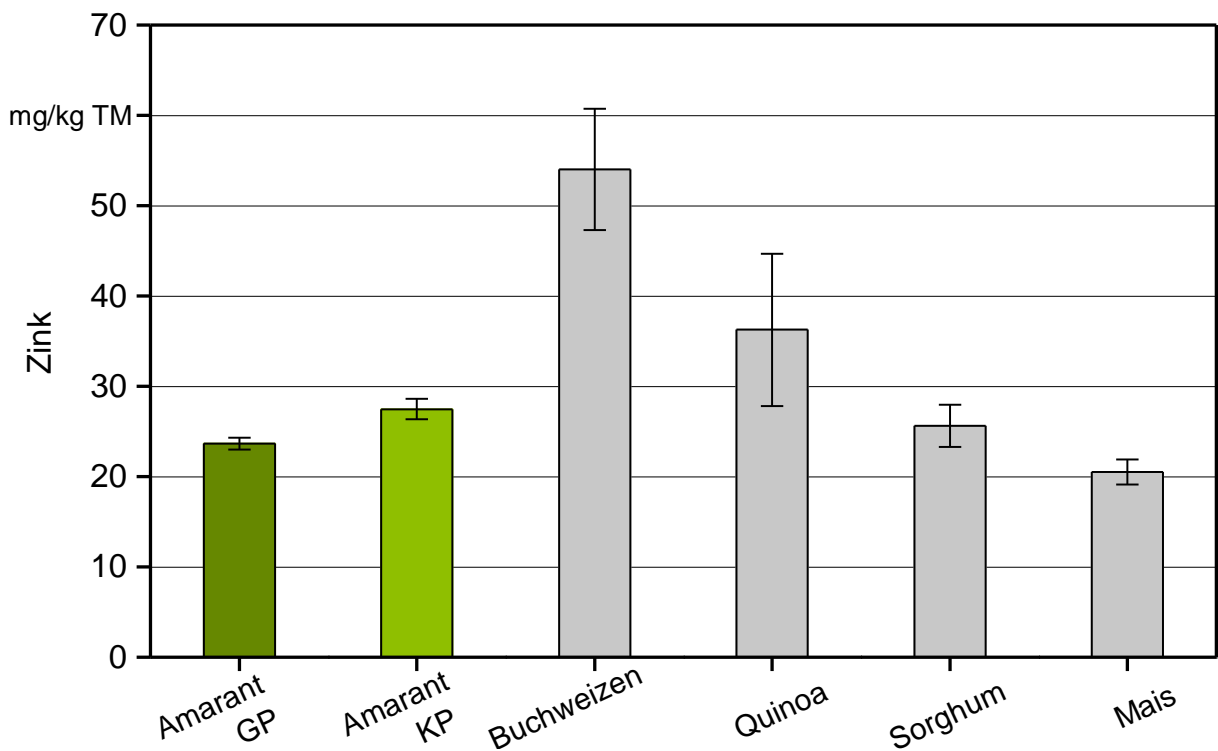


Abbildung 24: Zinkgehalte in verschiedenen Substraten: Amarant GP ($n = 67$), Amarant KP ($n = 10$), Buchweizen ($n = 4$), Quinoa ($n = 5$), Sorghum ($n = 4$) und Mais ($n = 6$); Fehlerbalken = Standardfehler

5.5.2 Spurenelementauswertung der verschiedenen Amarant-Genotypen

Die Amarantpflanzen des 1. Saattermins erreichten höhere Trockensubstanzgehalte als die Pflanzen des 2. Saattermins, sodass für die Untersuchung der Genotyp-Unterschiede nur der erste Saattermin herangezogen wurde.

Die Unterschiede in den Elementgehalten sind wie erwartet zwischen den verschiedenen Genotypen weitaus geringer als z.B. zwischen Amarant und anderen Pflanzenarten wie Mais oder Buchweizen (vgl. Abschnitt 5.5.1). Bei der Untersuchung verschiedener Arten wurde zwischen dem Cobaltgehalt von Amarant und Mais etwa der Faktor 11 nachgewiesen (Mais 0,015 mg/kg Cobalt, Amarant 0,17 mg/kg Cobalt). Der Faktor zwischen dem höchsten und dem niedrigsten Cobaltgehalt innerhalb der Kulturart Amarant, 1. Saattermin, liegt hingegen bei 5,8.

Es wurden die Elemente Cobalt, Kupfer, Eisen, Mangan, Molybdän, Nickel und Zink betrachtet. Tabelle 9 zeigt zur ersten Orientierung die Verteilung dieser Spurenelementgehalte der 67 Amarantproben in den Großparzellen. Cobalt und Molybdän zeigen die niedrigsten Gehalte, gefolgt von Nickel und Kupfer. Eisen und Zink weisen Gehalte im Zehnerbereich auf. In Tabelle 24 und Tabelle 25 im Anhang sind weitere Elementgehalte ausgewählter Amarantproben aufgeführt. Dort sind zudem die Konzentrationen der Makronährelemente und weiterer Spurenelemente aufgelistet.

Tabelle 9: Statistische Parameter für die Spurenelementanalyse der Amarantproben aus den Großparzellen des 1. Saattermins

Parameter	Co	Cu	Fe	Mn	Mo	Ni	Zn
	in mg/kg TM						
Minimum	0,04	2,9	21	20	0,20	0,31	15
1. Quartil	0,15	4,0	39	38	0,32	0,46	22
Median	0,17	4,3	44	42	0,41	0,53	24
3. Quartil	0,19	4,8	51	48	0,48	0,70	26
Maximum	0,26	6,3	65	83	0,91	1,63	44

Nach den statistischen Parametern in Tabelle 9 wurden jeweils die Proben ermittelt, die über dem 3. Quartil des jeweiligen Elements liegen. Mit den Genotypen, die am häufigsten bei allen sieben Spurenelementen in dieser Spitzengruppe liegen, kann der Spurenelementinput in den Biogasfermenter durch Amarant am einfachsten optimiert werden.

In Tabelle 10 wird anhand einer Kreuzmatrix gezeigt, welche Amarantprobe bei welchen Spurenelementen in der Spitzengruppe liegt (Daten aus Tabelle 24 und Tabelle 25 im Anhang). Es sind alle Varianten aufgeführt, bei denen mindestens drei Elemente hohe Spurenelementgehalte oberhalb des 3. Quartils aufweisen. Da Cobalt und Nickel die

Elemente sind, die sehr geringe Gehalte in den Pflanzen aufweisen und deren Stabilisierungswirkung für die Biogasbildung unbestritten ist, sind sie hervorgehoben. Im Hinblick auf diese beiden Elemente wären vor allem Gelber Amarant (AMA 182), Riesenamarant (AMA 261), Z 12/06 (AMA 257) und K 72 (AMA 213) als spurenelementreiche Zusatzinputs zu empfehlen. Diese haben sowohl hohe Cobalt- und Nickelgehalte als auch andere Spurenelementgehalte oberhalb des 3. Quartils. Genotypen wie Ukraine (AMA 242) oder Z 10/03 (AMA 250) hingegen müssen wegen der schwächeren Nickelgehalte trotz guter TS-Leistung bzw. hoher TM-Erträge mit Fokus auf den Spurenelementgehalt in der Empfehlung zurückgestellt werden.

Tabelle 10: Auswahl spurenelementreicher Amarantsorten aus den Großparzellen des 1. Saattermins

Typ		Co	Ni	Mo	Cu	Mn	Fe	Zn	TS	TM-Ertrag
		in mg/kg TM ¹							in %	in dt/ha
AMA 182	Gelber AMA	0,26	1,1		6,3	50	51,9		22,2	99,7
AMA 257	Z 12/06	0,23	0,8	0,49		65			22,6	95,1
AMA 213	K 72	0,23	0,8		5,0		56,3		22,7	87,5
AMA 250	Z 10/03	0,21			5,0	83	52,5		22,1	108,7
AMA 242	Ukraine	0,19		0,58	5,0			33	27,6	81,6
AMA 261	Riesenama.	0,19	1,1	0,91		73			13,1	90,5
AMA 221	Villarica	0,22	0,9			64			22,4	90,2
AMA 235	K 51	0,19	0,7					29	20,5	101,9

¹⁾ Aufgeführter Spurenelementgehalt = Konzentration liegt oberhalb des 3. Quartils, kein Wert = Konzentration liegt unterhalb des 3. Quartils

5.5.3 Nutzungsmöglichkeit von Amarant als spurenelementreicher Zusatzinput in Biogasanlagen

In Tabelle 1 Abschnitt 2.3.1 sind Schwellenkonzentrationen ausgewählter Spurenelemente angegeben, die nach Sauer [43] für einen stabilen Biogasbildungsprozess mindestens erreicht werden sollten. Die Auswertung der Spurenelementgehalte im Amarant ergibt, dass Amarant im Vergleich zu Mais etwa elfmal höhere Cobalt- und auch deutlich höhere Nickelgehalte aufweist. In Gegenüberstellung mit anderen spurenelementreichen Pflanzensubstraten wie Buchweizen oder Quinoa erzielt Amarant deutlich höhere Hektarerträge, sodass es nahe liegt, dieser Kulturart eine entsprechende Empfehlung für den Einsatz in der Biogasproduktion auszusprechen.

Auf Grundlage der Schwellenkonzentrationen nach Sauer [43] und der ermittelten Spurenelementgehalte lässt sich berechnen, welche Amarant-Zumischung benötigt wird, um diese Schwellenwerte im Fermenter zu erreichen (Tabelle 11). Zur Berechnung werden die Spurenelementgehalte des Gelben Amarants herangezogen (Abschnitt 5.5.2), der maximale Gehalte aufweist. Zu berücksichtigen bleibt, dass der zugrunde gelegte Trockensubstanzgehalt in Höhe von 30 % von Amarant derzeit noch nicht realisiert werden kann

– dies gilt zumindest unter der Annahme von Witterungsbedingungen, wie sie in Bayern in einem durchschnittlichen Anbaujahr zu erwarten sind. Doch auch an dieser Stelle gilt es, das Potenzial der Kulturart deutlich zu machen, ohne die Notwendigkeit einer züchterischen Modifikation in Abrede zu stellen.

Bei der Berechnung wurden die aufgeführten Elementkonzentrationen mit einem Anreicherungsfaktor von 2,5 belegt. Damit wird berücksichtigt, dass im Zuge der Biogasbildung die Elemente Kohlenstoff, Sauerstoff und Wasserstoff in Biogas übergehen und abgeführt werden. Die im Gärsubstrat verbleibenden Elemente steigen durch diesen Vorgang der Massereduktion in ihrer Konzentration an. Sauer [43] konnte diesen Zusammenhang während der Begleitforschung zum Bioenergiedorf Jühnde über zwei Jahre lang beobachten und mit zahlreichen Proben belegen. Vom Ausgangssubstrat bis zum Gärrest ergibt sich etwa ein Anreicherungsfaktor von 3; vom Ausgangssubstrat zum Fermentermaterial wird, wie vorliegend berücksichtigt, ein Anreicherungsfaktor von 2,5 erreicht. In den Gülzower Fachgesprächen Band 30 [12] und im KTBL-Heft Nr. 88 [36] werden diese Anreicherungsfaktoren auch als Fugatfaktoren beschrieben.

Tabelle 11: Zu erreichende Elementkonzentrationen im feuchten Fermenter bei Zugabe verschiedener Mischungen, basierend auf 30 % TS-Gehalt für Pflanzen und 8 % für Gülle

Parameter	Co	Cu	Mo	Ni	Zn
	in g/t Feuchtmasse				
Mischung 1	0,08	4,4	0,49	0,51	23,9
Mischung 2	0,10	5,6	0,50	0,57	25,3
Mischung 3	0,07	2,9	0,47	0,43	18,4
Sollkonzentration [43]	0,07	1,5	0,18	0,33	6,2
Mischung 1 (Feuchtmasseinput): 10 % Gülle, 65 % Mais, 15 % Gelber Amaranth, 5 % Buchweizen, 5 % Quinoa.					
Mischung 2 (Feuchtmasseinput): 20 % Gülle, 70 % Mais, 10 % Gelber Amaranth.					
Mischung 3 (Feuchtmasseinput): 70 % Mais, 30 % Gelber Amaranth.					

Anhand der dargestellten möglichen Mischungen wird deutlich, dass Amaranth als spurenelementreiches Biogassubstrat in der Lage wäre, industriell hergestellte Spurenelementadditive überflüssig zu machen. Ist ein kleiner Anteil Gülle-Input möglich, so wird es wesentlich einfacher, die noch fehlenden Spurenelemente mittels Amaranth zu ergänzen (Mischung 1 + 2). Durch den Anbau spurenelementreicher Winterleguminosen (z. B. Wickroggen, Winterackerbohne) könnte der nötige Bedarf an Amaranth in der Fruchtfolge weiter verringert werden [45].

An dieser Stelle aufgeführt seien zudem erste Hinweise, wonach die im Pflanzenmaterial enthaltenen Spurenelemente für Bakterien und Archaeen besser verfügbar sind als in der Verabreichungsform industriell hergestellter Spurenelementadditive. Eine explizite Betrachtung dieser Vermutung aus wissenschaftlicher Sicht steht derzeit aber noch aus. Wünschenswert wären in diesem Zusammenhang deshalb eine Vertiefung der Forschungsarbeit sowie die Intensivierung von Züchtungsvorhaben bei Amaranth.

Zusätzlicher Flächenbedarf

Für eine fiktive Biogasanlage mit einer Leistung von $500 \text{ kW}_{\text{elektrisch}}$ wird etwa eine Maisanbaufläche von 250 Hektar benötigt. Ausgehend von Mischung 2 sollen 10 % der Maissilage durch Amaranthsilage ersetzt werden. Bei einem Ernteertrag von 18 Tonnen Trockenmasse je ha für Maissilage ergeben sich 4500 Tonnen Inputsubstrat im Jahr. Es werden demnach 450 Tonnen Trockenmasse Amaranthsilage benötigt. Angenommen wird, dass Amaranth nach ersten kleinen Züchtungsfortschritten Trockenmasseerträge von 120 dt Trockenmasse pro Hektar erreicht. Bei einem Ernteertrag von 120 dt TM pro ha wird für die Bereitstellung von 450 Tonnen Amaranthsubstrat eine Anbaufläche von 37,5 ha erforderlich. Im Ergebnis ergibt sich ein Gesamtflächenbedarf von 262,5 ha, bestehend aus 225 ha Anbaufläche für Mais und 37,5 ha Anbaufläche für Amaranth. Der Flächenbedarf erhöht sich demnach von 250 ha auf 262,5 ha, was einer Zunahme von 5 % entspricht. Würde man als Erstfrucht vor Amaranth auch noch spurenelementreiche Kulturen wie Wickroggen oder Winterackerbohnen anbauen, so könnte man den zusätzlichen Flächenbedarf auf 2 % reduzieren und zur Bodenschonung durch Winterbegrünung beitragen.

Diese Berechnungen stellen lediglich eine grobe Abschätzung dar. Bislang gibt es nur zu wenigen Spurenelementen wissenschaftlich belegte Mindestkonzentrationen für Biogasanlagen. Je nach beteiligten Mikroorganismen im Fermenter können diese auch variieren. Ebenso hat der Spurenelementgehalt des Bodens großen Einfluss auf die Aufnahme der Pflanzen. Der benötigte zusätzliche Flächenbedarf, um Spurenelemente durch Energiepflanzen bereitzustellen, liegt nach Sauer und Fahlbusch [45] nach Abschätzung der Unwägbarkeiten bei vielen additiv-fütternden Biogasanlagen zwischen 4 und 20 %.

5.5.4 Abschließende Empfehlung

Vorteilhaft an dem Konzept, Spurenelementadditive durch alternative Energiepflanzen zu ersetzen, sind auf jeden Fall der Wegfall der Kosten für die Additive sowie der nötigen Arbeitsschritte inklusive des Sicherheitsrisikos, mit hochkonzentrierten Schwermetallen zu hantieren. Der Flächenbedarf steigt minimal, die Fruchtfolge kann aufgelockert werden und die Biodiversität in der Agrarlandschaft wird erhöht.

Angesichts dieser Tatsachen scheint es durchweg erstrebenswert, die ausreichende Versorgung von Biogasanlagen mit Spurenelementen künftig durch eine gezielte Zusammenstellung des Substrats aus verschiedenen spurenelementreichen Energiepflanzen zu gewährleisten, um so auf eine Zugabe von Spurenelementadditiven zu verzichten. Weitere Ausführungen, Chancen und Risiken zum Thema „Spurenelemente für Bio-

gasanlagen durch Mischung unterschiedlicher Pflanzen“ sind unter Sauer & Fahlbusch 2014; FKZ: 22041611 [45] an der TIB-Hannover als Download erhältlich; voraussichtlich ab April 2014.

Zusammenfassung und Schlussfolgerung

Auf Grundlage der gewonnenen Erkenntnisse aus dem einjährigen Versuchsanbau am Standort Straubing kann dem Amarant grundsätzlich ein großes Potenzial als Energiepflanze zugesprochen werden. Eine ausdrückliche Anbauempfehlung für die Praxis wäre – zumindest unter den klimatischen Bedingungen Bayerns – jedoch verfrüht.

Einmal etabliert zeigt sich der Amarant als schnellwüchsige Kulturart mit gutem Kompensationsvermögen bei Trockenheit und geringen Ansprüchen an die Bestandsführung. Zu einer massiven Wuchsbeeinträchtigung der wärmeliebenden Pflanze führen hingegen kühle Temperaturen. Ein besonderes Risiko birgt ein früher Kälteeinbruch im Herbst, wie er unter bayerischen Anbaubedingungen nicht ausgeschlossen werden kann. Bei einem Anbau als Zweitfrucht muss deshalb auf eine rechtzeitige Aussaat geachtet werden um eine ausreichende Abreife der Bestände gewährleisten zu können.

Die erzielten Trockenmasseerträge sowie die Methanausbeuten der exemplarisch betrachteten Genotypen sind auf den ersten Blick als befriedigend zu bewerten. Vor dem Hintergrund der beschränkten Vegetationszeit im Erntejahr 2013 und der herausragenden Wasser- und Nährstoffeffizienz der Kultur sollten die gezeigten Leistungen aber deutlicher gewürdigt werden. Die realisierten Trockensubstanzgehalte genügen bei der Mehrheit der betrachteten Genotypen noch nicht den Ansprüchen an eine verlustfreie Silierbarkeit, bieten aber eine solide Ausgangsbasis für eine weitere züchterische Bearbeitung und eignen sich zudem für die Mischsilierung mit trockenstoffreicheren Kulturarten. Der hohe Gehalt an Spurenelementen hebt den Amarant in besonderer Weise aus der Riege der Energiepflanzen hervor. Dieses Merkmal prädestiniert den Amarant geradezu für den Ansatz, die ausreichende Versorgung von Biogasanlagen mit Mikronährelementen künftig allein durch eine gezielte Zusammenstellung des Substrats aus pflanzlichen Komponenten zu gewährleisten, um so auf eine Zugabe der in vielerlei Hinsicht umstrittenen Spurenelementadditive verzichten zu können. Mit seinem farbenfrohen Erscheinungsbild stellt der Amarant darüber hinaus eine attraktive Bereicherung für die Agrarlandschaft dar, die neben den ökologischen Vorteilen auch dazu beitragen kann, die Akzeptanz des Energiepflanzenbaus in der Bevölkerung zu steigern.

Es bleibt zu wünschen, dass Amarant auch von den Züchterhäusern als zukunftssträchtige Kulturart erkannt wird, um die überwiegend im Kurztag beheimatete Pflanze entsprechend der in Mitteleuropa herrschenden Langtagsbedingungen zu modifizieren. Wie Erfahrungswerte aus der Arbeit mit Sorghum zeigen, lässt sich insbesondere das Abreifeverhalten der Pflanzen durch züchterisches Einwirken erheblich verbessern – dies ermutigt zu einem entsprechenden Vorgehen beim Amarant. Daneben sind eine verbesserte Standfestigkeit und eine erhöhte Kältetoleranz als Merkmale zu nennen, die einer züchterischen Bearbeitung bedürfen. Auf Basis der im vorliegenden Sortenscreening gezeigten Leistungen empfehlen sich insbesondere die Genotypen AMA 182 (Gelber Amarant), AMA 213 (K 72) und AMA 257 (Z12/06) mit ihren hohen Spurenelementgehalten als Ansatzpunkt für eine züchterische Weiterentwicklung in Richtung Biogasnutzung.

Quellenverzeichnis

- [1] AHRENS, W. (2007): Amaranth statt Mais für die Biogasanlage. Badische Bauern Zeitung vom 22. Dezember 2007. URL: <http://www.badische-bauernzeitung.de/1389273806824> (Stand: 09.01.2014)
- [2] AHRENS, W. (2012): Optimale Pflanzenmischung für Biogasanlagen. DLG-New Power Forum 02/2012. URL:<http://www.triesdorf.de/images/stories/fachinfos/optimale%20pflanzenmischung%20fr%20biogasanlagen.pdf> (Stand: 15.10.2013)
- [3] AMON, T.; KRYVORUCHKO, V.; AMON, B.; MOITZI, G.; BUGA, S.; FISTAROL, D.; HACKL, E.; JERIC, D.; ZOLLITSCH, W.; PÖTSCH, E. (2003): Optimierung der Biogaserzeugung aus den Energiepflanzen Mais und Klee gras. Endbericht Juli 2003. Wien: Institut für Land-, Umwelt-, und Energietechnik, Universität für Bodenkultur Wien, 76 Seiten
- [4] AMON, T.; KRYVORUCHKO, V.; HOPFNER-SIXT, K.; AMON, B.; BODIROZA, V.; RAMUSCH, M.; HRBEK, R.; FRIEDEL, J.; ZOLLITSCH, W.; BOXBERGER, J. (2006): Biogaserzeugung aus Energiepflanzen. Online-Fachzeitschrift des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft Österreich. URL: http://www.lebensministerium.at/land/laendl_entwicklung/Online-Fachzeitschrift-Ländlicher-Raum/archiv/2006/amon.html (Stand: 10.01.2014)
- [5] AUFHAMMER, W. (1998): Getreide- und andere Körnerfruchtarten. 1. Aufl. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer, S. 158-345, ISBN 3-8252-8156-6
- [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] AUFHAMMER, W.; KÜBLER, E. (1998): Vergleichende Untersuchungen zur Anbauwürdigkeit der Getreidearten Rispenhirse und Kanariensaat sowie der Pseudogetreidearten Buchweizen, Reisemelde und Amaranth. Die Bodenkultur, Jg. 49, Nr. 3, S. 159-169
- [8] BALODIS, O.; BARTUSEVICS, J.; GAILE, Z. (2011): Biomass yield of different plants for biogas production. In: REZEKNES AUGSTSKOLA (Hrsg.): Proceedings of the 8th international Scientific and Practical Conference. Volume 1. Rezekne: Rezeknes Augstskola, S. 238-245, ISSN 1691-5402
- [9] BERGHÖFER, Y.; AGHA-AMIRI, K.; KLEIN, A. (1994): Selenium is involved in the negative regulation of the expression of selenium-free [NiFe] hydrogenases in *Methanococcus voltae*. Molecular Genetics and Genomics, Jg. 242, S. 369–373
- [10] BIOGASFORUM BAYERN (2010): Prozessmodell Biogas. Fachinformation Nr. III – 3/2010. URL: http://www.biogas-forum-bayern.de/publikationen/Prozessmodell_Biogas.pdf (Stand: 05.12.2013)
- [11] BIOGASFORUM BAYERN (2012): Leitfaden „Silomais als Biogassubstrat“ Fachinformation Nr. I – 4/2012. URL: http://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/ipz/dateien/leitfaden_2012-04_biogasforum.pdf (Stand: 16.01.2014)

- [12] BRAUCKMANN, H.-J.; WARNECKE, S.; BROLL, G. (2009): Nährstoffstromanalyse einer Biogasanlage mit Gärrestaufbereitung. In: FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE E.V. (FNR) (Hrsg.): Gärrestaufbereitung für eine pflanzenbauliche Nutzung – Stand und F+E-Bedarf. Gülzower Fachgespräche, Band 30. Gülzow: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR), S. 53-77, ISBN 978-3-9803927-5-4
- [13] BUNDESSORTENAMT (2000): Richtlinien für die Durchführung von landwirtschaftlichen Wertprüfungen und Sortenversuchen. Hannover: Landbuch-Verlagsgesellschaft mbH, ISSN 1431-1089
- [14] COSTEA, M.; SANDERS, A.; WAINES, G. (2001): Preliminary results toward a revision of the *amaranthus hybridus* species complex (Amaranthaceae). *Sida. Contributions to botany*, Jg. 19, Nr. 4, S. 931-974
- [15] DARWINKEL, A.; STOLEN, O. (1997): Understanding the Quinoa Crop - Guidelines for growing in temperate regions of N.W. Europe, Brochure, confunded by the Europ. Com. Brüssel: Europäische Kommission, 23 Seiten
- [16] 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
- [17] DEUTSCHER WETTERDIENST (2013): Wetter und Landwirtschaft in Deutschland im Frühjahr 2013. Extreme Bodenfeuchte wie seit 50 Jahren nicht mehr. Datum: 04.06.2013. Kontaktperson: Uwe Kirsche, Offenbach, 3 Seiten
- [18] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E.V. (1985): DIN 38414-8:1985-06. Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung. Schlamm und Sedimente (Gruppe S). Bestimmung des Faulverhaltens (S8). Juni 1985. Berlin: Beuth, 12 Seiten
- [19] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E.V. (2005): DIN ISO 10390:2005-12. Bodenbeschaffenheit. Bestimmung des pH-Wertes. Dezember 2005. Berlin: Beuth, 9 Seiten
- [20] DOBOS, G.; GIMPLINGER, D. (2008): Züchtung eines neuen Körneramaranthgenotyps - Vorgehensweise und Ergebnisse. In: VEREINIGUNG DER PFLANZENZÜCHTER UND SAATGUTKAUFLEUTE ÖSTERREICHS (Hrsg.): Tagungsband der 59. Jahrestagung der Vereinigung der Pflanzenzüchter und Saatgutkaufleute Österreichs. 25. – 27. November 2008, Raumberg-Gumpenstein. S. 85 - 88, ISBN 978-3-902559-28-9
- [21] EDER, J.; ZIEGLTRUM, A.; EIBLMEIER, A. (2013): Das Mais-Reifeproggnosemodell nach AGPM. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung. URL: <http://www.lfl-design3.bayern.de/ipz/mais/08506/hinweise.php> (Stand: 04.11.2013)
- [22] eFLORAS.ORG (2013): Flora of North America. Illustration: *Amaranthus*. eFloras. URL: http://www.efloras.org/object_page.aspx?object_id=42614&flora_id=1 (Stand: 06.11.2013)
- [23] 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_web_komp.pdf (Stand: 12.12.2013)
- [24] FATHEPURE, B. (1987): Factors Affecting the Methanogenic Activity of *Methanotrix soehngenii*. *Applied and Environmental Microbiology*, Jg. 53, Nr. 12, S. 2978–2982

- [25] FEHER, A.; FRITZ, T.; LOEWEN, A.; NELLES, M. (2013): Bedarfsgerechter Einsatz von Spurenelement-Biogasadditiven unter Berücksichtigung der Bioverfügbarkeit. In: Nelles, M. (Hrsg.): Tagungsband zum 7. Rostocker Bioenergieforum vom 20. - 21.06.2013 an der Universität Rostock. Rostock: Universität Rostock, S. 363-370, ISBN 978-3-86009-207-1
- [26] FJELL, D.; BLASI, D.; TOWNE, G. (1991): Nitrate and Prussic Acid Toxicity in Forage – Causes, Prevention, and Feeding Management. Kansas State University Cooperative Extension Service, Manhattan, Nr. MF-1018, S. 1-4
- [27] FRITZ, M.; DEIGLMAYR, K. (2009): Amarant als Biogassubstrat. Biogasforum Bayern. URL: http://www.biogasforum-bayern.de/publikationen/Amarant_als_Biogassubstrat_2_Auflage.pdf (Stand: 30.10.2013)
- [28] GIMPLINGER, D.; SCHULTE, G.; DOBOS, G.; KAUL, H.-P. (2007): Optimum crop densities for potential yield and harvestable yield of grain amaranth are conflicting. European Journal of Agronomy, Nr. 28, S. 119-125
- [29] GRUBBEN, G. J. H. (2004): Amaranthus cruentus L. Record from PROTA4U. (Plant Resources of Tropical Africa / Ressources végétales de l'Afrique tropicale). URL: <http://www.prota4u.org/plantphotos/Amaranthus%20cruentus%201.gif> (Stand: 06.11.2013)
- [30] GRUBBEN, G. J. H. (2004): Amaranthus tricolor L. Record from PROTA4U (Plant Resources of Tropical Africa / Ressources végétales de l'Afrique tropicale). URL: <http://www.prota4u.org/plantphotos/Amaranthus%20tricolor%201.gif> (Stand: 06.11.2013)
- [31] JANSEN, P. C. M. (2004): Amaranthus spinosus L. Record from PROTA4U. (Plant Resources of Tropical Africa / Ressources végétales de l'Afrique tropicale) URL: <http://www.prota4u.info/protav8.asp?h=M1,M11,M15,M17,M18,M25,M26,M27,M28,M34,M36,M4,M6,M7,M9&t=Amaranthus,spinosus&p,=Amaranthus+spinosus#Protologue> (Stand: 12.06:2013)
- [32] KAISER, F. (2007): Einfluss der stofflichen Zusammensetzung auf die Verdaulichkeit nachwachsender Rohstoffe beim anaeroben Abbau in Biogasreaktoren. Dissertation. München. Technische Universität, 176 Seiten
- [33] KAUR, P.; SIVASITHAMPARAM K. (2011): Host range and phylogenetic relationships of albugo candida from cruciferous hosts in Western Australia, with special reference to brassica juncea. Plant Disease, Jg. 95, Nr. 1, S 712-718
- [34] KOCH, K.; GEPPER, S.; ANDRADE, D.; EBERTSEDER, F.; GRONAUER, A. (2010): Hilfsmittelleinsatz bei der Biogaserzeugung - Überblick und Erfahrungen aus Labor und Praxis. In: FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE E.V. (FNR)(2011): Einsatz von Hilfsmitteln zur Steigerung der Effizienz und Stabilität des Biogasprozesses. Gülzower Fachgespräche, Band 35, S. 16-31
- [35] KÜBLER, E.; KAUL, H.-P.; AUFHAMMER, W. (2002): Vergleichende Untersuchungen zur Bestandsetablierung und zur Trockenmasseproduktion der Pseudogetreidearten Buchweizen, Reismelde und Amarant und der Getreidearten Rispenhirse und Zwerghirse auf einem Grenzstandort. Die Bodenkultur, Jg. 53, Nr. 1, S. 29-38
- [36] KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAUWESEN IN DER LANDWIRTSCHAFT (2010): Gasausbeuten in landwirtschaftlichen Biogasanlagen. KTBL-Heft, Nr. 88. 2. Auflage. Darmstadt: KTBL, 36 Seiten, ISBN 978-3-941583-42-9

- [37] LEMMER, A.; VINTILOIU, A.; PREIBLER, D.; BASTAM, C.; BÄUERLE, L.; OECHSNER, H. (2010): Untersuchungen zum Einsatz von Mineralstoffen in Biogasanlagen - Bedeutung der Mineralstoffe für die anaeroben Mikroorganismen und Ursachen für Konzentrationsunterschiede in Biogasfermentern. In: FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE E.V. (2011): Einsatz von Hilfsmitteln zur Steigerung der Effizienz und Stabilität des Biogasprozesses. Gülzower Fachgespräche, Band 35. Gülzow: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR), S. 45-77, ISBN 978-3-947-147-03-3
- [38] MADIGAN, M.; MARTINKO, J.; PARKER, J. (2006): Brock Mikrobiologie. 11. Aufl. Heidelberg, Berlin: Spektrum Akademischer Verlag GmbH, 1175 Seiten, ISBN 3827373581
- [39] MICHIGAN STATE UNIVERSITY (2010): Cabbage moth (*mamestra brassicae*). Michigan State University's invasive species factsheets. URL: http://www.ipm.msu.edu/uploads/files/Forecasting_invasion_risks/cabbageMoth.pdf (Stand: 12.11.2013)
- [40] MOSYAKIN, S.; ROBERTSON, K. (1996): New infrageneric taxa and combinations in *Amaranthus* (Amaranthaceae). *Annales Botanici Fennici*, Nr. 33, S. 275–281, ISSN 0003-3847
- [41] POBEHEIM, H.; MUNK, B.; LINDORFER, H.; GUEBITZ, G. (2011): Impact of nickel and cobalt on biogas production and process stability during semicontinuous anaerobic fermentation of a model substrate for maize silage. *Water research*, Jg. 45, S. 781–787
- [42] ROßBERG, D.; MICHEL, V.; GRAF, R.; NEUKAMPF, R. (2007): Definition von Boden-Klima-Räumen für die Bundesrepublik Deutschland. *Nachrichtenblatt Deutscher Pflanzenschutzdienst*, Jg. 59, Nr. 7, S. 155-161
- [43] SAUER, B. (2010): Elementgehalte und Stoffströme bei der Strom- und Wärmege-
winnung im Bioenergiedorf Jühnde. *Fortschritt neu denken*, Nr. 2. Göttingen: Institut für Bioenergiedörfer Göttingen e.V., 124 Seiten
- [44] SAUER, B. (2011): „Spurenelemente bei anderen Energiepflanzen wie z.B. Durchwachsene Silphie“. Spurenelemente in Biogasanlagen - Wirkungsweise, Versorgungswege, Handlungsempfehlungen. Vortrag im Rahmen der Fachtagung am 17. Mai 2011 in Göttingen. URL: http://www.energieagentur-goettingen.de/fileadmin/files/downloads/2011_5_17_Tagung_Spurenelemente-Biogas_Sauer.pdf (Stand: 20.02.2014)
- [45] SAUER, B.; FAHLBUSCH, W. (2014): Möglichkeiten einer ausgeglichenen Spurenelementversorgung von Biogasanlagen durch Mischungen unterschiedlicher Energiepflanzen. Abschlussbericht Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR). FKZ: 22041611. Göttingen. Georg-August-Universität. 37 Seiten
- [46] SAUER, B.; RUPPERT H. (2011): Spurenelemente in Biogasanlagen: Eine ausreichende Versorgung durch Zufuhr unterschiedlicher Energiepflanzenmischungen oder Gülle ist möglich. In: *Biogas in der Landwirtschaft – Stand und Perspektiven*. FNR/KTBL-Kongress 2011 in Göttingen. KTBL-Schrift, Nr. 488, S. 356-357
- [47] 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

- [48] SAUER, J. (1967): The grain amaranths and their relatives: a revised taxonomic and geographic survey. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, Nr. 54; S. 103-137
- [49] SAUERBECK, G. (2004): Amaranth – Ergänzungspflanze für Mischsilagen mit Mais? IN: GESELLSCHAFT FÜR PFLANZENBAUWISSENSCHAFTEN (Hrsg.): 47. Jahrestagung. Effizienter Pflanzenbau für Nahrung und Rohstoffe im 21. Jahrhundert. 21. - 23. September 2004, Braunschweig. *Mitteilungen der Gesellschaft f. Pflanzenbauwissenschaften*, Nr. 16. Stuttgart: Verlag Günter Heimbach, S. 35-36
- [50] SAUERBECK, G. (2004): Amaranth-Ergebnisse von Anbauversuchen in Norddeutschland in den Jahren 2001-2003. In: GESELLSCHAFT FÜR PFLANZENBAUWISSENSCHAFTEN (Hrsg.): 47. Jahrestagung. Effizienter Pflanzenbau für Nahrung und Rohstoffe im 21. Jahrhundert. 21. - 23. September 2004, Braunschweig. *Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften*, Nr. 16. Stuttgart: Verlag Günter Heimbach, S. 153-154
- [51] STALLKNECHT, G. F.; SCHULZ-SCHAEFFER, J. R. (1993): Amaranth rediscovered. In: JANICK, J.; SIMON, J. E. (Hrsg.): *New Crops*. 1. Aufl. New York: Wiley-Verlag, S. 211-218, ISBN 0471593745
- [52] STICHLER, C; REAGOR, J.C. (2001): Nitrate and Prussic Acid Poisoning. Amarillo, TX, USA: The Texas A&M University System, Texas Agricultural Extension Service, Nr. L-5231 06-01, 4 Seiten
- [53] SVIRSKIS, A. (2009): Prospects for non-traditional plant species cultivated for forage in Lithuania. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, Jg. 37, Nr. 1, S. 215-218
- [54] UNIVERSITY OF FLORIDA (2013): *Amaranthus Hypochondriacus*. Part of ClipArt ETC Free Classroom License. URL: http://etc.usf.edu/clipart/81600/81630/81630_amaranthus_h.htm (Stand: 06.11.2013)
- [55] VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE E.V. (2006): VDI Richtlinie 4630. Vergärung organischer Stoffe. Substratcharakterisierung, Probenahme, Stoffdatenerhebung, Gärversuche. April 2006. Düsseldorf: Verein Deutscher Ingenieure e.V.
- [56] WEIßBACH F. (2009): Die Bewertung des Gasbildungspotenzials von nachwachsenden Rohstoffen. IN: BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (LFL) (Hrsg.): *Internationale Wissenschaftstagung Biogas Science*, Band 3, LfL Schriftenreihe 17/2009, S. 517-526, ISSN 1611-4159
- [57] WEIßBACH F. (2011): Die Bewertung von nachwachsenden Rohstoffen als Substrate für die Biogasproduktion. URL: http://www.llfg.sachsen-anhalt.de/fileadmin/Bibliothek/Politik_und_Verwaltung/MLU/LLFG/Dokumente/pfb_akt11_weissbach.pdf (Stand: 17.03.2014)
- [58] ZEISE, K.; FRITZ, M. (2012): Sorghum als Energiepflanze - Optimierung der Produktionstechnik. *Berichte aus dem TFZ*, Nr. 29. Straubing: Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ), 124 Seiten, ISSN 1614-1008
- [59] ZEISE, K.; FRITZ, M; GEHRING, K. (2012): Sorghum. In: FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE E.V. (FNR) (Hrsg.): *Energiepflanzen für Biogasanlagen*. 1. Aufl. Gülzow: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), S. 24 - 27

Anhang

Tabelle 12: Betrachtete Genotypen im Screening

Typ	Art	Bezeichnung	Herkunft ²	Nutzung ²	Versuchsfläche ¹		
					GP 1	GP 2	KP
AMA 181	<i>Amarantus sp.</i>	EA 1-4			x	x	
AMA 182	<i>Amarantus sp.</i>	Gelber Amarant			x	x	
AMA 183	<i>Amarantus sp.</i>	Roter Amarant			x	x	
AMA 184	<i>A. cruentus</i>	Bärnkrafft	Deutschland	Korn	x	x	
AMA 185	<i>A. hybridus</i>	Pastewny		Futter	x	x	
AMA 186	<i>Amarantus sp.</i>	"Konsumsorte"	Österreich		x	x	
AMA 201	<i>A. cruentus</i>	K 226			x	x	
AMA 202	<i>A. hypochondriacus</i>	K 343 (=Plainsman)		Korn	x	x	
AMA 203	<i>A. hypochondriacus</i> x <i>A. hybridus</i>	K 432	USA	Korn	x	x	
AMA 204	<i>A. cruentus</i>	K 436	USA	Korn	x	x	
AMA 205	<i>A. cruentus</i>	MT 3	USA	Korn	x	x	
AMA 206	<i>A. cruentus</i>	Nu World	USA	Korn	x	x	
AMA 207	<i>A. tricolor</i>	A 10	China	Korn	x	x	
AMA 208	<i>A. caudatus</i>	C 4	China	Doppel	x	x	
AMA 209	<i>A. caudatus</i>	C 6	China	Doppel	x	x	
AMA 210	<i>A. cruentus</i>	Suvarna	Indien	Korn	x	x	
AMA 211	<i>A. caudatus</i>	K 61			x	x	
AMA 212	<i>A. caudatus</i>	K 63			x	x	
AMA 213	<i>A. cruentus</i>	K 72			x	x	
AMA 214	<i>Amarantus sp.</i>	K 78			x	x	
AMA 215	<i>Amarantus sp.</i>	K 91			x	x	
AMA 216	<i>A. hybridus</i>	Pastewny		Futter	x	x	
AMA 217	<i>A. hybridus</i>	Turkiestan	Russland	Futter	x	x	
AMA 218	<i>A. hybridus</i>	Ural	Russland	Futter	x	x	
AMA 219	<i>A. cruentus</i>	Anden	Südamerika		x	x	
AMA 220	<i>A. cruentus</i>	Puerto Moutt	Südamerika		x	x	
AMA 221	<i>A. cruentus</i>	Villarica	Südamerika		x	x	
AMA 222	<i>A. caudatus</i>	K 67			x	x	
AMA 223	<i>Amarantus sp.</i>	Sierra Leone			x	x	
AMA 224	<i>Amarantus sp.</i>	C 2			x	x	

Typ	Art	Bezeichnung	Herkunft ²	Nutzung ²	Versuchsfläche ¹		
					GP 1	GP 2	KP
AMA 225	<i>Amarantus sp.</i>	C 3			x	x	
AMA 226	<i>Amarantus sp.</i>	C 5			x	x	
AMA 227	<i>A. caudatus</i>	K 10			x	x	
AMA 228	<i>A. caudatus</i>	K 25			x	x	
AMA 229	<i>A. caudatus</i>	K 39			x	x	
AMA 230	<i>A. caudatus</i>	K 41			x	x	
AMA 231	<i>A. caudatus</i>	K 42			x	x	
AMA 232	<i>A. caudatus</i>	K 47			x	x	
AMA 233	<i>A. caudatus</i>	K 48			x	x	
AMA 234	<i>A. caudatus</i>	K 50			x	x	
AMA 235	<i>Amarantus sp.</i>	K 51			x	x	
AMA 236	<i>A. caudatus</i>	K 53			x	x	
AMA 237	<i>A. caudatus</i>	K 62			x	x	
AMA 238	<i>A. caudatus</i>	K 64			x	x	
AMA 239	<i>A. caudatus</i>	K 71			x	x	
AMA 240	<i>Amarantus sp.</i>	K 80			x	x	
AMA 241	<i>Amarantus sp.</i>	K 88			x	x	
AMA 242	<i>Amarantus sp.</i>	Poleski Ukrai.			x	x	
AMA 243	<i>Amarantus sp.</i>		Südamerika		x	x	
AMA 244	<i>A. cruentus</i>	Bärnkrafft	Deutschland	Korn	x	x	
AMA 245	<i>A. cruentus</i>	Anna	Österreich	Korn	x	x	
AMA 246	<i>Amarantus sp.</i>	Arma	Österreich	Korn	x	x	
AMA 247	<i>Amarantus sp.</i>	K 343 bunt			x	x	
AMA 248	<i>A. hypochondriacus</i>	Mittlerer Typ (Z2111P/07)	Österreich	Korn	x	x	
AMA 249	<i>A. hypochondriacus</i>	Anderer Typ (AT 2007 MA)	Österreich	Korn	x	x	
AMA 250	<i>Amarantus sp.</i>	Typ X (Z10/03)	Österreich	Korn	x	x	
AMA 251	<i>A. hypochondriacus</i>	Neuer Typ (D2011)	Österreich	Korn	x	x	
AMA 252	<i>Amarantus sp.</i>	NTCX (CX2007MA)	Österreich	Korn	x	x	
AMA 253	<i>A. hypochondriacus</i>	Mittlerer Typ Rot (Z12a-c/05)	Österreich	Korn	x	x	
AMA 254	<i>A. hypochondriacus</i>	Mittlerer Typ OR hell (Z21-24/07)	Österreich	Korn	x	x	
AMA 255	<i>A. cruentus</i>	Amar (Z/01)	Österreich	Korn	x	x	
AMA 256	<i>A. hypochondriacus</i>	Neuer Typ (D 072/07)	Österreich	Korn	x	x	

Typ	Art	Bezeichnung	Herkunft ²	Nutzung ²	Versuchsfläche ¹		
					GP 1	GP 2	KP
AMA 257	<i>A. hypochondriacus</i>	Mittlerer Typ Rot (Z12/06)	Österreich	Korn	x	x	
AMA 258	<i>Amarantus sp.</i>	Energietyp (Z02/07)	Österreich	Korn	x	x	
AMA 259	<i>A. hypochondriacus</i>	Mittlerer Typ OR dkl. (Z21-24/07)	Österreich	Korn	x	x	
AMA 260	<i>A. hypochondriacus</i>	Anderer Typ (AT2006MA)	Österreich	Korn	x	x	
AMA 261	<i>Amarantus sp.</i>	Riesenamarant			x	x	
AMA 008	<i>A. caudatus</i>						x
AMA 009	<i>A. caudatus</i>						x
AMA 010	<i>A. caudatus</i>						x
AMA 011	<i>A. caudatus</i>						x
AMA 012	<i>A. hypochondriacus</i>		China, Tunghua, LW Versuchsstation				x
AMA 015	<i>A. tricolor</i>		China, Harbin, LW Hochschule				x
AMA 016	<i>A. tricolor</i>						x
AMA 017	<i>A. tricolor</i>		China, Tsingtao, Gemüse-LPG Tungwu				x
AMA 018	<i>A. tricolor</i>						x
AMA 020	<i>A. hypochondriacus</i>	Roter Dom					x
AMA 023	<i>A. tricolor</i>						x
AMA 025	<i>A. tricolor</i>		China, Kantonjklöj, Bot. Garten				x
AMA 026	<i>A. tricolor</i>	Lal Sag					x
AMA 031	<i>A. powellii</i>						x
AMA 032	<i>A. hypochondriacus</i>	Pigmy Torch					x
AMA 033	<i>A. hypochondriacus</i>						x
AMA 035	<i>A. hybridus</i>						x
AMA 036	<i>A. hybridus</i>						x
AMA 037	<i>A. hybridus</i>						x
AMA 039	<i>A. hypochondriacus</i>	Sanguineus Nanus					x
AMA 043	<i>A. caudatus</i>						x
AMA 044	<i>A. cruentus</i>						x
AMA 045	<i>A. hypochondriacus</i>						x
AMA 048	<i>A. hybridus</i>						x
AMA 050	<i>A. hypochondriacus</i>						x
AMA 051	<i>A. hypochondriacus</i>						x

Typ	Art	Bezeichnung	Herkunft ²	Nutzung ²	Versuchsfläche ¹		
					GP 1	GP 2	KP
AMA 052	<i>A. hypochondriacus</i>						x
AMA 055	<i>A. hypochondriacus</i>						x
AMA 057	<i>A. powellii</i>		Priesitz, Krs. Wittenberg				x
AMA 061	<i>A. hypochondriacus</i>						x
AMA 064	<i>A. powellii</i>						x
AMA 067	<i>A. caudatus</i>						x
AMA 069	<i>A. powellii</i>						x
AMA 072	<i>A. hybridus</i>						x
AMA 073	<i>A. hybridus</i>						x
AMA 074	<i>A. powellii</i>						x
AMA 078	<i>A. hybridus</i>						x
AMA 088	<i>A. hybridus</i>						x
AMA 090	<i>A. hypochondriacus</i>		China, Provinz Djilin				x
AMA 091	<i>A. hypochondriacus</i>		Georgien				x
AMA 094	<i>A. cruentus</i>		Südafrika				x
AMA 104	<i>A. hypochondriacus</i>	Dzidzilak'a	Süd-Georgien				x
AMA 108	<i>A. hypochondriacus</i>		China, Provinz Yünnan				x
AMA 110	<i>A. hypochondriacus</i>						x
AMA 113	<i>A. caudatus</i>						x
AMA 114	<i>A. hypochondriacus</i>		Nord Korea, Hyangsan				x
AMA 116	<i>A. hypochondriacus</i>		Georgien, Mccheta				x
AMA 121	<i>A. hybridus</i>	Quintoil					x
AMA 128	<i>A. tricolor</i>	Merah Amaranth					x
AMA 130	<i>A. cruentus</i>	Reselected RL 58					x
AMA 133	<i>A. cruentus</i>						x
AMA 134	<i>A. cruentus</i>						x
AMA 135	<i>A. cruentus</i>						x
AMA 136	<i>A. cruentus</i>						x
AMA 137	<i>A. cruentus</i>						x
AMA 141	<i>A. hybridus</i>						x
AMA 142	<i>A. hypochondriacus</i>						x
AMA 143	<i>A. hypochondriacus</i>						x

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

¹⁾ Versuchsfläche: GP 1 = Großparzelle 1. Saattermin, GP 2 = Großparzelle 2. Saattermin,
KP = Kleinparzelle

²⁾ Angaben zu Herkunft und Nutzungsrichtung soweit vorhanden

Tabelle 13: Entwicklungsstadien der Reismelde, stark modifiziert nach [15]

Abschnitt	Allgemeine Definition (Makrostadium)	Dezimal-Code	Spezielle Definition (Mikrostadium)
0	Keimung	01	Keimungsbeginn
		09	Ende der Keimung
1	Auflaufen	11	Auflauf beginnt
		13	25 % der Pflanzen aufgelaufen
		15	50 % der Pflanzen aufgelaufen
		17	75 % der Pflanzen aufgelaufen
		19	Auflaufen nahezu beendet
2	Vegetative Entwicklung	20	Erste Laubblätter sichtbar
		21	Erstes Laubblattpaar entfaltet
		23	Drittes Laubblattpaar entfaltet
		25	Fünftes Laubblattpaar entfaltet
		27	Siebtes 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	Stengelabreife	91	Beginnende Stängelvergilbung
		93	25 % des Stängel vergilbt/verblasst
		95	50 % des Stängel vergilbt/verblasst
		97	75 % des Stängel vergilbt/verblasst
		99	Stängel nahezu komplett verblasst

Tabelle 14: Bonitur- und Ertragsdaten der Genotypen des 1. Saattermins

Typ	Grünmasseertrag		TM-Ertrag		TS-Gehalt in %	Lager ¹	BBCH ¹	Höhe ¹ in cm
	in dt/ha	in %	in dt/ha	in %				
AMA 181	577,0	140	93,2	100	16,1	2	75	240
AMA 182	448,1	108	99,7	107	22,2	2	75	190
AMA 183	340,1	82	79,8	85	23,5	1	71	180
AMA 184	367,9	89	98,2	105	26,7	1	75	130
AMA 185	228,4	55	75,0	80	32,8	8	77	150
AMA 186	217,3	53	78,1	84	36,0	1	77	80
AMA 201	396,5	96	88,9	95	22,4	1	75	230
AMA 202	476,5	115	98,1	105	20,6	1	75	180
AMA 203	383,3	93	96,0	103	25,0	1	71	170
AMA 204	444,4	108	97,5	104	21,9	1	75	190
AMA 205	358,6	87	95,3	102	26,6	1	79	140
AMA 206	356,8	86	92,3	99	25,9	1	79	130
AMA 207	432,4	105	93,5	100	21,6	1	75	210
AMA 208	525,3	127	104,8	112	20,0	1	65	170
AMA 209	394,4	95	86,6	93	22,0	1	75	210
AMA 210	524,7	127	111,3	119	21,2	1	75	190
AMA 211	404,7	98	91,3	98	22,6	4	75	210
AMA 212	449,4	109	102,0	109	22,7	3	75	200
AMA 213	385,8	93	87,5	94	22,7	4	75	210
AMA 214	299,4	72	88,2	94	29,4	3	75	180
AMA 215	422,2	102	91,5	98	21,7	1	75	220
AMA 216	246,9	60	78,5	84	31,8	7	75	190
AMA 217	342,0	83	82,3	88	24,1	5	75	200
AMA 218	327,2	79	86,4	92	26,4	4	75	200
AMA 219	402,9	98	92,5	99	22,9	3	77	190
AMA 220	438,3	106	97,0	104	22,1	4	77	200
AMA 221	402,9	98	90,2	97	22,4	4	75	190
AMA 222	437,2	106	89,9	96	20,6	3	75	200
AMA 223	471,6	114	98,6	105	20,9	2	75	210
AMA 224	514,2	124	94,1	101	18,3	1	73	190
AMA 225	602,5	146	111,4	119	18,5	1	71	190
AMA 226	575,3	139	107,4	115	18,7	1	71	200

Typ	Grünmasseertrag		TM-Ertrag		TS-Gehalt in %	Lager ¹	BBCH ¹	Höhe ¹ in cm
	in dt/ha	in %	in dt/ha	in %				
AMA 227	546,9	132	99,3	106	18,2	2	75	210
AMA 228	335,2	81	92,7	99	27,7	7	75	200
AMA 229	595,1	144	109,9	118	18,5	2	75	220
AMA 230	425,4	103	90,0	96	21,2	3	75	190
AMA 231	451,9	109	94,6	101	20,9	3	75	200
AMA 232	381,7	92	87,3	93	22,9	5	75	210
AMA 233	393,5	95	87,5	94	22,2	4	75	190
AMA 234	410,6	99	91,6	98	22,3	3	75	200
AMA 235	497,5	120	101,9	109	20,5	4	75	220
AMA 236	446,6	108	94,5	101	21,2	3	75	200
AMA 237	365,2	88	90,6	97	24,8	3	75	200
AMA 238	395,9	96	89,3	95	22,5	2	75	220
AMA 239	551,2	133	104,6	112	19,0	1	69	190
AMA 240	468,4	113	102,8	110	22,0	2	75	210
AMA 241	453,1	110	98,5	105	21,7	3	75	190
AMA 242	295,6	72	81,6	87	27,6	7	75	190
AMA 243	429,5	104	90,3	97	21,0	1	75	170
AMA 244	385,8	93	97,2	104	25,2	1	79	150
AMA 245	397,6	96	94,7	101	23,8	1	77	150
AMA 246	410,0	99	101,3	108	24,7	1	79	160
AMA 247	403,1	98	97,4	104	24,2	2	75	190
AMA 248	410,0	99	102,0	109	24,9	2	75	200
AMA 249	229,6	56	77,2	83	33,6	5	87	190
AMA 250	491,4	119	108,7	116	22,1	2	75	190
AMA 251	235,8	57	84,1	90	35,7	1	75	80
AMA 252	243,2	59	77,2	83	31,7	5	75	90
AMA 253	362,2	88	92,1	99	25,4	3	75	190
AMA 254	355,2	86	91,1	97	25,7	4	75	190
AMA 255	400,6	97	100,5	108	25,1	1	79	160
AMA 256	365,8	89	89,7	96	24,5	1	75	190
AMA 257	420,1	102	95,1	102	22,6	2	75	200
AMA 258	597,1	145	113,7	122	19,0	2	75	210
AMA 259	419,5	102	90,8	97	21,6	4	75	210

Typ	Grünmasseertrag		TM-Ertrag		TS-Gehalt in %	Lager ¹	BBCH ¹	Höhe ¹ in cm
	in dt/ha	in %	in dt/ha	in %				
AMA 260	217,9	53	77,1	82	35,4	3	79	130
AMA 261	693,2	168	90,5	97	13,1	1	59	210
Saattermin Mittel	413,1	100	93,5	100	23,6	2,6	75	186
Saattermin Minimum	217,3		75,0		13,1	1,0	59	80
Saattermin Maximum	693,2		113,7		35,9	8,0	87	240

¹⁾ vor Ernte

Tabelle 15: Bonitur- und Ertragsdaten der Genotypen des 2. Saattermins

Typ	Grünmasseeertrag		TM-Ertrag		TS-Gehalt	Lager ¹	BBCH ¹	Höhe ¹
	in dt/ha	in %	in dt/ha	in %	in %			in cm
AMA 181	507,5	111	79,0	101	15,6	1	63	220
AMA 182	683,3	149	92,0	117	13,5	2	60	220
AMA 183	405,8	89	68,7	88	16,9	3	61	190
AMA 184	580,0	127	89,0	114	15,3	5	69	190
AMA 185	250,8	55	67,2	86	26,8	9	69	170
AMA 186	190,0	42	64,4	82	33,9	9	67	180
AMA 201	541,7	118	82,0	105	15,1	3	65	220
AMA 202	517,5	113	91,7	117	17,7	1	65	180
AMA 203	467,5	102	84,0	107	18,0	2	65	170
AMA 204	575,0	126	87,3	111	15,2	1	65	190
AMA 205	570,0	125	83,4	106	14,6	1	61	190
AMA 206	603,3	132	91,7	117	15,2	1	65	190
AMA 207	605,8	132	83,0	106	13,7	2	63	220
AMA 208	556,7	122	92,5	118	16,6	1	60	180
AMA 209	527,5	115	77,2	98	14,6	3	65	210
AMA 210	647,5	142	87,4	112	13,5	1	61	190
AMA 211	530,8	116	87,7	112	16,5	5	69	220
AMA 212	426,7	93	78,9	101	18,5	6	65	180
AMA 213	457,5	100	80,5	103	17,6	5	67	210
AMA 214	259,2	57	58,7	75	22,6	8	65	180
AMA 215	495,8	108	79,6	102	16,0	3	67	190
AMA 216	209,2	46	59,7	76	28,5	9	69	170
AMA 217	322,5	70	63,8	81	19,8	8	65	180
AMA 218	310,8	68	69,5	89	22,3	8	69	180
AMA 219	630,0	138	91,3	117	14,5	3	69	230
AMA 220	570,8	125	79,3	101	13,9	4	65	230
AMA 221	626,7	137	87,5	112	14,0	3	65	230
AMA 222	460,0	101	76,5	98	16,6	5	63	220
AMA 223	401,7	88	71,3	91	17,7	3	65	190
AMA 224	558,3	122	91,7	117	16,4	1	63	190
AMA 225	503,3	110	85,0	108	16,9	1	65	190
AMA 226	505,8	111	80,2	102	15,9	1	61	200

Typ	Grünmasseertrag		TM-Ertrag		TS-Gehalt in %	Lager ¹	BBCH ¹	Höhe ¹ in cm
	in dt/ha	in %	in dt/ha	in %				
AMA 227	401,7	88	71,9	92	17,9	3	63	190
AMA 228	251,7	55	62,4	80	24,8	9	69	170
AMA 229	460,0	101	84,6	108	18,4	5	67	180
AMA 230	505,0	110	87,5	112	17,3	5	63	210
AMA 231	435,0	95	70,6	90	16,2	5	69	210
AMA 232	364,2	80	69,6	89	19,1	7	65	200
AMA 233	464,2	101	79,8	102	17,2	5	61	210
AMA 234	371,7	81	66,3	85	17,8	8	63	210
AMA 235	535,0	117	76,1	97	14,2	6	63	210
AMA 236	444,2	97	76,5	98	17,2	2	65	210
AMA 237	275,8	60	56,1	72	20,3	5	63	170
AMA 238	546,7	119	86,1	110	15,7	1	65	220
AMA 239	495,8	108	80,5	103	16,2	2	61	180
AMA 240	366,7	80	65,6	84	17,9	3	69	200
AMA 241	464,2	101	80,9	103	17,4	5	69	200
AMA 242	354,2	77	77,1	98	21,8	9	69	190
AMA 243	489,2	107	83,3	106	17,0	1	65	180
AMA 244	540,8	118	83,5	107	15,4	3	65	200
AMA 245	555,0	121	75,6	96	13,6	2	65	210
AMA 246	606,7	133	88,1	112	14,5	1	61	220
AMA 247	370,8	81	75,2	96	20,3	8	65	180
AMA 248	418,3	91	81,2	104	19,4	7	65	220
AMA 249	272,5	60	64,2	82	23,6	9	65	190
AMA 250	560,8	123	88,0	112	15,7	4	63	210
AMA 251	205,8	45	65,6	84	31,9	9	61	190
AMA 252	293,3	64	70,1	89	23,9	8	69	180
AMA 253	300,8	66	68,2	87	22,7	9	69	190
AMA 254	335,0	73	68,7	88	20,5	8	65	190
AMA 255	547,5	120	82,4	105	15,0	2	65	220
AMA 256	435,0	95	84,0	107	19,3	5	65	200
AMA 257	379,2	83	65,1	83	17,2	7	65	210
AMA 258	589,2	129	93,7	120	15,9	5	61	210
AMA 259	437,5	96	84,8	108	19,4	7	65	200

Typ	Grünmasseertrag		TM-Ertrag		TS-Gehalt in %	Lager ¹	BBCH ¹	Höhe ¹ in cm
	in dt/ha	in %	in dt/ha	in %				
AMA 260	290,0	63	69,5	89	24,0	9	65	190
AMA 261	795,0	174	106,8	136	13,4	1	59	180
Saattermin Mittel	457,6	100	78,4	100	18,2	4,52	65	197
Saattermin Minimum	190,0		56,1		13,4	1,00	59	170
Saattermin Maximum	795,0		106,8		33,9	9,00	69	230

¹⁾ vor Ernte

Tabelle 16: Boniturdaten der Kleinparzellen

Typ	Lager ¹	BBCH ^{1,2}	Höhe ¹ in cm	TS-Gehalt in %	Bemerkung
AMA 008	1	67	80	21,6	
AMA 009	1	67	95	21,4	
AMA 010	1	75	100	21,3	
AMA 011	1	75	110	20,9	
AMA 012	8	75	155	27,0	
AMA 015	1	x	90	26,6	<i>Albugo candida</i>
AMA 016	1	71	110	23,1	
AMA 017	1	x	90	22,1	Frostschäden
AMA 018	1	75	80	24,1	
AMA 020	8	75	155	29,7	
AMA 023	1	x	100	20,5	Frostschäden
AMA 025	1	79	85	29,1	
AMA 026	1	x	85	23,1	<i>Albugo candida</i>
AMA 031	1	x	110	31,8	<i>Albugo candida</i>
AMA 032	9	75	140	26,9	
AMA 033	1	75	155	18,7	
AMA 035	1	75	105	24,1	
AMA 036	7	73	120	25,5	
AMA 037	1	75	130	24,5	
AMA 039	9	75	125	32,4	
AMA 043	1	75	110	21,7	
AMA 044	1	73	145	20,8	

Typ	Lager ¹	BBCH ^{1,2}	Höhe ¹ in cm	TS-Gehalt in %	Bemerkung
AMA 045	7	75	125	25,8	
AMA 048	7	75	120	24,7	
AMA 050	1	65	180	19,4	
AMA 051	1	61	160	20,5	
AMA 052	1	60	170	19,8	
AMA 055	1	65	160	17,3	
AMA 057	1	x	100	61,3	<i>Albugo candida</i>
AMA 061	7	75	120	33,7	
AMA 064	1	75	150	26,0	
AMA 067	1	75	95	21,1	
AMA 069	1	71	135	28,6	
AMA 072	1	65	175	20,9	
AMA 073	7	75	110	23,6	
AMA 074	7	69	130	27,2	
AMA 078	7	71	100	25,0	
AMA 088	1	73	165	21,9	
AMA 090	1	75	155	21,3	
AMA 091	8	75	125	30,3	
AMA 094	1	59	180	18,0	
AMA 104	1	75	125	20,9	
AMA 108	1	65	170	18,6	
AMA 110	1	65	150	21,7	
AMA 113	1	75	90	21,7	
AMA 114	1	63	175	18,5	
AMA 116	1	75	95	22,9	
AMA 121	5	71	125	22,0	
AMA 128	1	75	100	21,2	
AMA 130	1	75	160	20,2	
AMA 133	1	73	155	21,6	
AMA 134	1	75	145	21,5	
AMA 135	1	75	120	26,2	
AMA 136	1	75	135	20,6	
AMA 137	1	75	145	23,3	

Typ	Lager ¹	BBCH ^{1,2}	Höhe ¹ in cm	TS-Gehalt in %	Bemerkung
AMA 141	1	75	155	19,2	
AMA 142	5	75	165	22,3	
AMA 143	1	75	135	24,9	
AMA 144	1	77	100	30,5	
AMA 145	1	75	115	26,7	
AMA 146	1	59	120	20,3	
AMA 147	1	59	115	19,9	
AMA 148	1	75	170	21,0	
AMA 149	1	x	55	25,3	Frostschäden
AMA 152	1	x	65	24,0	Frostschäden
AMA 153	1	75	155	22,7	
AMA 154	1	75	145	22,5	
AMA 162	5	65	130	23,6	
AMA 166	7	65	140	x	
AMA 170	1	x	90	43,6	<i>Albugo candida</i>
AMA 176	1	49	155	22,1	
AMA 177	7	71	120	24,6	
AMA 180	1	75	150	22,0	
AMA 190	1	75	155	21,3	
AMA 191	x	x	x	x	kein Aufgang
AMA 192	1	59	190	15,0	
AMA 193	1	61	150	19,1	
AMA 194	1	x	85	x	<i>Albugo candida</i>
AMA 195	1	65	155	22,4	
AMA 196	1	65	160	22,2	
AMA 197	1	75	130	21,0	
AMA 198	1	x	35	x	Frostschäden
AMA 199	1	75	135	29,9	

¹⁾ vor Ernte

²⁾ x = BBCH konnte nicht mehr festgestellt werden, siehe Spalte Bemerkung

*Tabelle 17: Ertragsleistung von Amarant im Vergleich zu anderen Energiepflanzen;
Basis der Berechnungsbeispiele in Kapitel 5.5*

Kulturart	Ertrag in dt/ha	StdErr ¹ in dt/ha	TS-Gehalt in %	StdErr in %	Saattermin	Ernte	Vegetationszeit in Tagen
Amarant, 1. ST n = 67	93,5		23,6		13.06.	09.10.	119
Amarant 2. ST n = 67	78,4		18,2		03.07.	09.10.	99
Buchweizen 1. ST n = 9	49,0	1,3	27,7	0,7	18.06.	30.09.	105
Buchweizen 2. ST n = 9	37,0	1,1	28,7	0,5	11.07.	11.10.	93
Quinoa, 1. ST n = 9	51,0	3,7	32,4	2,5	18.06.	30.09.	105
Quinoa, 2. ST n = 9	48,0	2,8	25,7	2,1	11.07.	22.10.	104
Sorghum n = 4	118,0	8,0	26,0	0,4	20.06.	08.10.	111
Mais, frühreif n = 6	185,0	4,3	36,5	0,8	07.06.	02.10.	118

¹⁾ StdErr = Standardfehler; kein Wert bedeutet keine Wiederholungen im Versuchsaufbau

Tabelle 18: Übersicht über die bei den einzelnen Genotypen veranlassten Analysen

Versuchsfläche ¹	Typ	Durchgeführte Analysen ²			
		TS-Bestimmung	Analyse wertgebender Inhaltsstoffe	Spurenelementanalyse	Biogas- und Methanausbeute
1	AMA 181	1	1	1	x
1	AMA 182	1	1	1	1
1	AMA 183	1	1	1	x
1	AMA 184	1	1	1	1
1	AMA 185	1	1	1	1
1	AMA 186	1	1	1	x
1	AMA 201	1	1	1	x
1	AMA 202	1	1	1	x
1	AMA 203	1	1	1	1
1	AMA 204	1	1	1	x
1	AMA 205	1	1	1	1
1	AMA 206	1	1	1	1
1	AMA 207	1	1	1	x
1	AMA 208	1	1	1	x
1	AMA 209	1	1	1	x
1	AMA 210	1	1	1	x
1	AMA 211	1	1	1	x
1	AMA 212	1	1	1	x
1	AMA 213	1	1	1	x
1	AMA 214	1	1	1	x
1	AMA 215	1	1	1	x
1	AMA 216	1	1	1	1
1	AMA 217	1	1	1	x
1	AMA 218	1	1	1	x
1	AMA 219	1	1	1	x
1	AMA 220	1	1	1	x
1	AMA 221	1	1	1	x
1	AMA 222	1	1	1	x
1	AMA 223	1	1	1	x
1	AMA 224	1	1	1	x
1	AMA 225	1	1	1	x
1	AMA 226	1	1	1	x

Versuchsfläche ¹	Typ	Durchgeführte Analysen ²			
		TS-Bestimmung	Analyse wertgebender Inhaltsstoffe	Spurenelementanalyse	Biogas- und Methanausbeute
1	AMA 227	1	1	1	x
1	AMA 228	1	1	1	1
1	AMA 229	1	1	1	x
1	AMA 230	1	1	1	x
1	AMA 231	1	1	1	x
1	AMA 232	1	1	1	x
1	AMA 233	1	1	1	x
1	AMA 234	1	1	1	1
1	AMA 235	1	1	1	x
1	AMA 236	1	1	1	x
1	AMA 237	1	1	1	1
1	AMA 238	1	1	1	x
1	AMA 239	1	1	1	x
1	AMA 240	1	1	1	x
1	AMA 241	1	1	1	x
1	AMA 242	1	1	1	x
1	AMA 243	1	1	1	x
1	AMA 244	1	1	1	1
1	AMA 245	1	1	1	1
1	AMA 246	1	1	1	1
1	AMA 247	1	1	1	1
1	AMA 248	1	1	1	1
1	AMA 249	1	1	1	1
1	AMA 250	1	1	1	1
1	AMA 251	1	1	1	x
1	AMA 252	1	1	1	1
1	AMA 253	1	1	1	1
1	AMA 254	1	1	1	1
1	AMA 255	1	1	1	1
1	AMA 256	1	1	1	x
1	AMA 257	1	1	1	1
1	AMA 258	1	1	1	1
1	AMA 259	1	1	1	x

Versuchs- fläche ¹	Typ	Durchgeführte Analysen ²			
		TS-Bestimmung	Analyse wertgeben- der Inhaltsstoffe	Spurenelement- analyse	Biogas- und Methanausbeute
1	AMA 260	1	1	1	1
1	AMA 261	1	1	1	x
2	AMA 181	1	1	1	x
2	AMA 182	1	1	1	x
2	AMA 183	1	x	1	x
2	AMA 184	1	1	1	x
2	AMA 185	1	1	1	x
2	AMA 186	1	1	1	x
2	AMA 201	1	1	1	x
2	AMA 202	1	1	1	x
2	AMA 203	1	1	1	x
2	AMA 204	1	1	1	x
2	AMA 205	1	1	1	x
2	AMA 206	1	1	1	x
2	AMA 207	1	1	1	x
2	AMA 208	1	1	1	x
2	AMA 209	1	1	1	x
2	AMA 210	1	1	1	x
2	AMA 211	1	1	1	x
2	AMA 212	1	1	1	x
2	AMA 213	1	1	1	x
2	AMA 214	1	1	1	x
2	AMA 215	1	1	1	x
2	AMA 216	1	1	1	x
2	AMA 217	1	x	1	x
2	AMA 218	1	1	1	x
2	AMA 219	1	1	1	x
2	AMA 220	1	1	1	x
2	AMA 221	1	1	1	x
2	AMA 222	1	1	1	x
2	AMA 223	1	1	1	x
2	AMA 224	1	1	1	x
2	AMA 225	1	1	1	x

Versuchsfläche ¹	Typ	Durchgeführte Analysen ²			
		TS-Bestimmung	Analyse wertgebender Inhaltsstoffe	Spurenelementanalyse	Biogas- und Methanausbeute
2	AMA 226	1	1	1	x
2	AMA 227	1	1	1	x
2	AMA 228	1	1	1	x
2	AMA 229	1	1	1	x
2	AMA 230	1	1	1	x
2	AMA 231	1	1	1	x
2	AMA 232	1	1	1	x
2	AMA 233	1	1	1	x
2	AMA 234	1	1	1	x
2	AMA 235	1	1	1	x
2	AMA 236	1	1	1	x
2	AMA 237	1	1	1	x
2	AMA 238	1	1	1	x
2	AMA 239	1	1	1	x
2	AMA 240	1	x	1	x
2	AMA 241	1	1	1	x
2	AMA 242	1	1	1	x
2	AMA 243	1	1	1	x
2	AMA 244	1	1	1	x
2	AMA 245	1	1	1	x
2	AMA 246	1	1	1	x
2	AMA 247	1	1	1	x
2	AMA 248	1	1	1	x
2	AMA 249	1	1	1	x
2	AMA 250	1	1	1	x
2	AMA 251	1	1	1	x
2	AMA 252	1	1	1	x
2	AMA 253	1	1	1	x
2	AMA 254	1	1	1	x
2	AMA 255	1	x	1	x
2	AMA 256	1	1	1	x
2	AMA 257	1	1	1	x
2	AMA 258	1	1	1	x

Versuchsfläche ¹	Typ	Durchgeführte Analysen ²			
		TS-Bestimmung	Analyse wertgebender Inhaltsstoffe	Spurenelementanalyse	Biogas- und Methanausbeute
2	AMA 259	1	1	1	x
2	AMA 260	1	1	1	x
2	AMA 261	1	1	1	x
KP	AMA 008	1	1	x	x
KP	AMA 009	1	1	x	x
KP	AMA 010	1	1	x	x
KP	AMA 011	1	1	x	x
KP	AMA 012	1	1	x	x
KP	AMA 015	1	x	x	x
KP	AMA 016	1	x	1	x
KP	AMA 017	1	x	x	x
KP	AMA 018	1	1	x	x
KP	AMA 020	1	1	x	x
KP	AMA 023	1	x	x	x
KP	AMA 025	1	x	x	x
KP	AMA 026	1	x	x	x
KP	AMA 031	1	x	x	x
KP	AMA 032	1	1	x	x
KP	AMA 033	1	1	1	x
KP	AMA 035	1	1	x	x
KP	AMA 036	1	1	x	x
KP	AMA 037	1	1	x	x
KP	AMA 039	1	1	x	x
KP	AMA 043	1	1	x	x
KP	AMA 044	1	1	x	x
KP	AMA 045	1	1	x	x
KP	AMA 048	1	1	x	x
KP	AMA 050	1	1	x	x
KP	AMA 051	1	1	x	x
KP	AMA 052	1	1	x	x
KP	AMA 055	1	1	x	x
KP	AMA 057	1	x	x	x
KP	AMA 061	1	1	x	x

Versuchsfläche ¹	Typ	Durchgeführte Analysen ²			
		TS-Bestimmung	Analyse wertgebender Inhaltsstoffe	Spurenelementanalyse	Biogas- und Methanausbeute
KP	AMA 064	1	1	x	x
KP	AMA 067	1	1	x	x
KP	AMA 069	1	1	x	x
KP	AMA 072	1	1	x	x
KP	AMA 073	1	1	x	x
KP	AMA 074	1	1	x	x
KP	AMA 078	1	1	x	x
KP	AMA 088	1	1	x	x
KP	AMA 090	1	1	x	x
KP	AMA 091	1	x	x	x
KP	AMA 094	1	1	x	x
KP	AMA 104	1	1	x	x
KP	AMA 108	1	1	x	x
KP	AMA 110	1	1	x	x
KP	AMA 113	1	1	x	x
KP	AMA 114	1	1	x	x
KP	AMA 116	1	1	x	x
KP	AMA 121	1	1	x	x
KP	AMA 128	1	x	x	x
KP	AMA 130	1	1	1	x
KP	AMA 133	1	1	x	x
KP	AMA 134	1	1	x	x
KP	AMA 135	1	1	1	x
KP	AMA 136	1	1	x	x
KP	AMA 137	1	1	x	x
KP	AMA 141	1	1	x	x
KP	AMA 142	1	1	x	x
KP	AMA 143	1	1	x	x
KP	AMA 144	1	1	1	x
KP	AMA 145	1	1	x	x
KP	AMA 146	1	1	x	x
KP	AMA 147	1	1	x	x
KP	AMA 148	1	1	x	x

Versuchsfläche ¹	Typ	Durchgeführte Analysen ²			
		TS-Bestimmung	Analyse wertgebender Inhaltsstoffe	Spurenelementanalyse	Biogas- und Methanausbeute
KP	AMA 149	1	x	x	x
KP	AMA 152	1	x	x	x
KP	AMA 153	1	1	x	x
KP	AMA 154	1	1	x	x
KP	AMA 162	1	1	1	x
KP	AMA 166	x	x	x	x
KP	AMA 170	1	x	x	x
KP	AMA 176	1	1	1	x
KP	AMA 177	1	1	x	x
KP	AMA 180	1	1	1	x
KP	AMA 190	1	1	x	x
KP	AMA 191	x	x	x	x
KP	AMA 192	1	x	1	x
KP	AMA 193	1	1	x	x
KP	AMA 194	x	x	x	x
KP	AMA 195	1	1	1	x
KP	AMA 196	1	1	x	x
KP	AMA 197	1	1	x	x
KP	AMA 198	x	x	x	x
KP	AMA 199	1	1	x	x

¹⁾ Versuchsfläche: GP 1 = Großparzelle 1. Saattermin, GP 2 = Großparzelle 2. Saattermin,
 KP = Kleinparzelle

²⁾ Durchgeführte Analysen: 1 = Analyse liegt vor, x = keine Analyse

Tabelle 19: *Inhaltsstoffgehalte der Genotypen nach der erweiterten Weender Futtermittelanalyse im 1. Saattermin*

Typ	XA ¹	XF ²	XP ³	XL ⁴	NfE ⁵	NDF ⁶	ADF ⁷	ADL ⁸	Stärke	Nitrat
	in g/kg Trockenmasse									
AMA 181	150	302	137	19	392	483	385	56	73	18,9
AMA 182	154	230	132	35	449	403	292	39	179	11,4
AMA 183	147	194	157	32	469	412	283	54	155	13,8
AMA 184	114	158	120	49	559	323	236	37	358	7,4
AMA 185	91	173	147	41	547	334	266	87	346	7,5
AMA 186	115	152	149	36	547	366	230	52	318	5,8
AMA 201	125	288	149	39	398	478	360	68	178	12,5
AMA 202	132	255	128	27	457	494	342	45	134	9,2
AMA 203	118	208	124	37	513	394	283	41	248	6,1
AMA 204	150	284	133	29	403	450	322	47	136	8,8
AMA 205	132	168	134	54	512	306	209	39	299	7,4
AMA 206	151	203	134	40	472	374	274	48	205	9,1
AMA 207	161	272	131	32	404	427	354	59	152	12,4
AMA 208	143	256	131	23	448	498	333	46	100	4,8
AMA 209	152	267	144	32	405	450	292	45	137	13,0
AMA 210	162	260	141	25	412	451	306	48	148	8,6
AMA 211	143	249	125	30	452	420	368	51	148	11,3
AMA 212	136	291	133	25	415	488	326	65	59	11,5
AMA 213	127	271	127	24	450	459	339	71	161	11,0
AMA 214	136	269	135	32	429	426	325	84	163	11,9
AMA 215	158	303	142	29	368	500	338	64	100	12,9
AMA 216	115	228	139	37	482	388	305	86	257	9,3
AMA 217	139	277	139	28	417	467	327	78	104	9,9
AMA 218	177	286	131	28	378	451	332	79	161	9,1
AMA 219	156	221	129	30	464	383	280	44	139	11,9
AMA 220	145	236	130	29	460	415	314	43	177	10,4
AMA 221	154	229	140	33	445	417	304	46	158	10,8
AMA 222	142	283	143	13	418	513	372	60	105	12,0
AMA 223	142	327	134	25	372	526	363	69	105	10,1
AMA 224	141	296	128	19	416	504	366	48	71	8,9
AMA 225	139	317	127	24	393	529	344	59	61	6,0

Typ	XA ¹	XF ²	XP ³	XL ⁴	NfE ⁵	NDF ⁶	ADF ⁷	ADL ⁸	Stärke	Nitrat
	in g/kg Trockenmasse									
AMA 226	141	288	137	19	414	491	343	48	66	10,0
AMA 227	142	321	135	21	380	503	351	68	33	11,0
AMA 228	122	228	154	35	461	415	321	84	186	9,9
AMA 229	145	330	134	22	369	515	374	70	44	13,1
AMA 230	145	248	139	24	445	454	321	54	122	11,0
AMA 231	147	271	138	16	427	479	373	63	85	13,3
AMA 232	135	263	141	24	437	466	345	67	130	12,1
AMA 233	121	270	130	32	447	467	325	68	166	11,5
AMA 234	119	281	134	26	440	478	380	75	124	12,5
AMA 235	133	279	138	29	421	466	355	71	124	10,3
AMA 236	137	276	134	25	429	503	348	67	119	9,9
AMA 237	115	246	135	24	480	439	336	83	199	9,1
AMA 238	122	295	130	29	424	501	365	68	147	11,8
AMA 239	146	283	130	23	418	462	338	53	76	9,5
AMA 240	151	281	143	21	404	513	364	61	75	11,2
AMA 241	142	241	146	30	442	421	376	78	131	8,8
AMA 242	160	233	135	28	444	405	303	69	213	8,9
AMA 243	136	244	136	22	462	420	342	55	177	13,4
AMA 244	125	157	147	41	530	316	228	37	303	10,1
AMA 245	131	169	134	32	534	319	238	40	307	9,8
AMA 246	134	170	143	31	522	334	226	39	280	9,9
AMA 247	146	232	146	29	446	414	331	66	142	9,0
AMA 248	131	232	136	26	475	400	296	51	178	9,1
AMA 249	120	238	132	29	481	413	296	52	232	8,8
AMA 250	117	220	136	37	490	405	310	47	239	11,0
AMA 251	114	162	143	39	542	360	235	54	284	5,3
AMA 252	120	168	148	42	522	332	219	47	299	10,2
AMA 253	141	233	130	29	466	440	330	66	167	10,3
AMA 254	115	226	135	35	489	417	318	47	230	9,3
AMA 255	148	153	166	30	503	325	234	42	205	9,8
AMA 256	138	288	141	28	405	486	363	84	164	9,4
AMA 257	146	239	136	27	452	438	320	67	136	11,8
AMA 258	130	277	130	17	446	460	389	57	151	15,3

Typ	XA ¹	XF ²	XP ³	XL ⁴	NfE ⁵	NDF ⁶	ADF ⁷	ADL ⁸	Stärke	Nitrat
	in g/kg Trockenmasse									
AMA 259	139	266	140	24	431	476	338	53	106	12,7
AMA 260	108	194	133	33	532	335	239	38	314	5,7
AMA 261	158	339	143	16	343	505	394	63	49	16,7
Saattermin Mittel	137	248	137	29	449	434	318	58	166	10,4
Saattermin Minimum	91	152	120	13	343	306	209	37	33	4,8
Saattermin Maximum	177	339	166	54	559	529	394	87	358	18,9

¹)XA=Rohasche, ²)XF=Rohfaser, ³)XP=Rohprotein, ⁴)XL=Rohfett, ⁵)NfE=Stickstofffreie Extraktstoffe, ⁶)NDF=Neutral Detergenz Faser, ⁷)ADF=Säure Detergenz Faser, ⁸)ADL=Säure Detergenz Lignin

Tabelle 20: Inhaltsstoffgehalte der Genotypen nach der erweiterten Weender Futtermittelanalyse im 2. Saattermin

Typ	XA	XF	XP	XL	NfE	NDF	ADF	ADL	Stärke	Nitrat
	in g/kg Trockenmasse									
AMA 181	152	287	152	17	393	472	364	64	45	18,6
AMA 182	169	289	173	18	351	468	342	43	38	26,2
AMA 184	178	245	182	25	370	422	325	44	75	26,6
AMA 185	171	254	166	26	383	423	337	73	121	18,3
AMA 186	146	268	154	25	407	482	352	62	139	13,2
AMA 201	161	278	161	22	378	491	362	48	52	22,1
AMA 202	152	266	173	14	395	439	335	38	79	24,5
AMA 203	155	240	182	20	404	431	314	45	88	22,5
AMA 204	176	259	180	22	363	445	334	40	60	24,7
AMA 205	168	259	174	25	375	424	336	36	62	22,1
AMA 206	180	261	178	28	352	429	330	45	59	18,3
AMA 207	179	318	180	20	304	503	384	55	40	22,7
AMA 208	154	261	178	21	385	431	317	43	73	24,2
AMA 209	176	262	187	21	355	446	335	35	44	31,3
AMA 210	171	273	172	20	365	437	347	52	51	18,7
AMA 211	162	260	171	17	390	498	353	52	63	21,1
AMA 212	146	254	173	23	406	430	309	51	75	23,0
AMA 213	156	260	155	15	414	483	372	58	76	22,8

Typ	XA	XF	XP	XL	NfE	NDF	ADF	ADL	Stärke	Nitrat
	in g/kg Trockenmasse									
AMA 214	138	243	178	27	415	407	313	74	132	19,3
AMA 215	174	253	190	21	362	422	299	43	58	27,9
AMA 216	140	238	176	30	416	402	306	76	157	13,2
AMA 218	156	260	168	21	395	426	385	61	93	17,5
AMA 219	171	281	168	22	358	496	364	53	47	20,0
AMA 220	167	273	168	21	371	510	356	52	45	21,5
AMA 221	172	267	172	19	368	493	366	50	49	22,9
AMA 222	158	261	168	21	392	483	342	59	59	24,1
AMA 223	159	263	167	23	388	456	323	68	63	19,3
AMA 224	169	282	185	23	342	467	343	41	42	22,0
AMA 225	155	275	173	18	378	456	342	55	66	21,3
AMA 226	162	281	176	20	362	459	363	50	48	23,2
AMA 227	158	263	186	20	373	466	329	79	55	18,2
AMA 228	153	252	166	22	408	456	322	79	90	16,9
AMA 229	156	267	181	20	376	465	343	76	70	22,0
AMA 230	199	254	163	20	364	452	326	52	81	21,7
AMA 231	156	278	170	21	376	503	359	55	53	22,3
AMA 232	153	277	168	20	383	474	338	73	75	17,7
AMA 233	152	237	174	22	415	474	345	58	62	22,4
AMA 234	159	243	180	20	399	461	320	83	127	23,3
AMA 235	157	276	179	23	365	470	336	51	49	25,4
AMA 236	159	255	181	20	386	455	329	56	61	21,6
AMA 237	135	249	168	22	426	462	343	71	110	20,3
AMA 238	148	259	170	16	406	484	359	54	50	22,7
AMA 239	167	269	183	23	358	439	334	38	54	24,2
AMA 241	149	260	174	24	393	480	361	65	89	19,9
AMA 242	144	243	157	25	430	471	341	67	107	17,6
AMA 243	156	247	171	24	403	454	339	48	110	23,4
AMA 244	172	239	168	24	397	466	345	49	76	21,0
AMA 245	176	266	178	23	357	467	350	44	44	11,4
AMA 246	169	252	167	17	395	459	347	47	46	10,1
AMA 247	162	268	177	24	368	446	323	44	74	21,9
AMA 248	147	241	172	21	420	442	327	49	129	19,9

Typ	XA	XF	XP	XL	NfE	NDF	ADF	ADL	Stärke	Nitrat
	in g/kg Trockenmasse									
AMA 249	158	269	171	20	381	457	332	50	88	17,7
AMA 250	163	256	176	22	383	469	325	45	65	18,9
AMA 251	140	276	154	22	407	478	357	47	129	16,1
AMA 252	151	228	160	26	436	418	311	50	134	19,8
AMA 253	151	264	169	25	391	428	310	53	120	18,4
AMA 254	161	259	171	20	389	456	328	55	93	20,4
AMA 255	179	236	169	31	385	447	328	52	67	19,3
AMA 257	164	265	154	21	395	462	374	48	108	20,1
AMA 258	161	277	161	20	380	489	365	58	86	22,5
AMA 259	149	271	167	20	392	468	329	61	90	19,4
AMA 260	152	268	161	20	399	475	353	55	93	17,9
AMA 261	175	271	179	16	359	452	352	51	50	23,1
Saattermin Mittel	160	262	171	22	385	458	340	54	77	20,8
Saattermin Minimum	135	228	152	14	304	402	299	35	38	10,1
Saattermin Maximum	199	318	190	31	436	510	385	83	157	31,3

Tabelle 21: *Inhaltsstoffgehalte der Genotypen nach der erweiterten Weender Futtermittelanalyse bei den Kleinparzellen*

Typ	XA	XF	XP	XL	NfE	NDF	ADF	ADL	Stärke	Nitrat
	in g/kg Trockenmasse									
AMA 008	198	225	191	22	365	406	280	50	78	19,8
AMA 009	183	230	175	21	391	409	289	45	78	16,3
AMA 010	178	215	188	21	398	387	268	46	87	20,5
AMA 011	173	230	183	20	394	405	280	57	73	19,6
AMA 012	168	233	198	23	377	413	283	47	104	23,0
AMA 018	178	204	192	24	402	379	279	82	113	18,8
AMA 020	170	220	162	23	425	395	290	72	128	13,1
AMA 032	234	187	171	22	386	367	272	62	97	23,8
AMA 033	163	223	193	24	397	423	307	74	91	26,7
AMA 035	158	243	192	28	379	431	308	71	93	22,7
AMA 036	147	245	155	21	433	447	337	67	99	12,0

Typ	XA	XF	XP	XL	NfE	NDF	ADF	ADL	Stärke	Nitrat
	in g/kg Trockenmasse									
AMA 037	150	241	184	27	398	428	322	66	71	19,1
AMA 039	250	192	164	21	373	366	260	60	109	14,9
AMA 043	176	227	185	25	388	416	295	52	91	19,3
AMA 044	168	196	205	30	400	392	260	43	107	22,8
AMA 045	213	214	197	23	353	385	285	60	94	25,4
AMA 048	144	245	184	22	405	432	325	74	112	18,2
AMA 050	169	221	198	20	393	429	288	34	51	28,5
AMA 051	181	227	198	18	376	425	281	35	45	29,2
AMA 052	173	243	209	20	355	423	282	38	39	29,2
AMA 055	174	221	222	19	364	415	298	43	56	60,5
AMA 061	216	174	171	27	411	333	251	70	183	18,7
AMA 064	130	235	154	28	453	417	307	75	131	12,7
AMA 067	178	220	184	29	389	402	290	69	99	21,4
AMA 069	168	244	149	29	410	403	303	76	137	10,2
AMA 072	128	261	175	20	415	465	306	44	55	12,7
AMA 073	132	240	177	26	425	432	312	72	96	15,0
AMA 074	151	237	172	34	406	426	330	93	151	13,4
AMA 078	192	229	143	23	413	410	302	80	123	12,6
AMA 088	151	223	197	22	408	413	279	40	81	20,6
AMA 090	157	247	209	21	366	411	282	36	48	27,3
AMA 094	164	231	197	19	388	422	329	38	50	27,9
AMA 104	172	211	217	22	378	404	269	31	59	30,0
AMA 108	185	216	182	19	399	386	280	39	63	23,7
AMA 110	202	210	185	23	379	368	275	41	68	20,1
AMA 113	175	209	189	24	403	391	276	40	76	21,4
AMA 114	172	265	181	20	362	439	339	42	37	27,7
AMA 116	222	173	225	29	350	356	248	45	40	28,0
AMA 121	203	204	205	23	366	393	289	49	68	21,5
AMA 130	190	230	216	21	342	419	313	52	74	33,4
AMA 133	161	211	197	26	404	399	267	39	131	25,7
AMA 134	160	204	171	34	431	383	275	37	180	19,9
AMA 135	162	189	180	38	430	319	239	42	235	25,5
AMA 136	184	196	203	34	382	327	259	38	163	30,8

Typ	XA	XF	XP	XL	NfE	NDF	ADF	ADL	Stärke	Nitrat
	in g/kg Trockenmasse									
AMA 137	170	171	187	38	435	347	234	37	204	22,6
AMA 141	168	262	194	24	352	433	341	50	70	31,0
AMA 142	147	259	180	22	391	440	308	44	103	25,6
AMA 143	193	228	177	24	378	400	300	44	89	22,1
AMA 144	177	199	161	29	434	390	262	42	159	13,7
AMA 145	153	193	177	32	445	379	272	35	144	20,1
AMA 146	170	206	246	24	354	406	261	34	51	40,4
AMA 147	191	204	239	21	345	398	260	35	46	38,9
AMA 148	178	209	201	28	384	407	285	43	95	28,2
AMA 153	164	182	172	34	449	344	257	40	172	20,7
AMA 154	177	215	189	32	388	390	259	41	139	23,2
AMA 162	182	198	210	32	379	370	278	51	117	28,9
AMA 176	190	229	185	23	374	428	289	44	70	18,1
AMA 177	228	202	162	16	392	385	281	67	113	18,1
AMA 180	174	212	195	29	391	411	279	57	91	23,1
AMA 190	175	219	208	27	371	422	300	52	93	24,6
AMA 193	208	210	205	28	348	363	275	42	89	27,8
AMA 195	159	202	175	27	437	350	276	37	173	25,4
AMA 196	219	201	166	23	391	372	270	55	126	22,7
AMA 197	189	213	194	27	377	376	286	39	90	24,1
AMA 199	220	232	152	30	366	361	288	79	161	15,4
Saattermin Mittel	177	218	188	25	391	398	286	51	101	23,1
Saattermin Minimum	128	171	143	16	342	319	234	31	37	10,2
Saattermin Maximum	250	265	246	38	453	465	341	93	235	60,5

Tabelle 22: Biogas- und Methanausbeuten der betrachteten Genotypen auf Basis des Hohenheimer Biogasertragstests sowie Methanerträge

Typ	oTS in % TS	Biogasausbeute in l Biogas/kg oTS	CH ₄ in %	Methanausbeute in l CH ₄ /kg oTS	TM-Ertrag in dt/ha	Methanertrag in Nm ³ CH ₄ /h
AMA 182	80,7	512,6	53,1	271,9	99,7	2187,6
AMA 184	84,5	578,9	52,8	305,9	98,2	2537,5
AMA 185	83,0	470,8	51,9	244,4	75,0	1521,6
AMA 203	84,7	481,4	51,7	248,9	96,0	2023,3
AMA 205	81,6	528,4	52,6	277,8	95,3	2161,1
AMA 206	84,8	570,4	53,5	305,1	92,3	2388,6
AMA 216	85,1	535,0	52,9	282,9	78,5	1890,0
AMA 228	84,2	487,0	52,3	254,5	92,7	1987,6
AMA 234	83,4	469,3	53,1	249,3	91,6	1904,6
AMA 237	82,9	454,8	53,3	242,5	90,6	1821,2
AMA 244	81,1	538,6	52,0	280,0	97,2	2206,9
AMA 245	80,7	519,2	52,1	270,7	94,7	2068,7
AMA 246	81,0	517,6	52,5	271,8	101,3	2230,4
AMA 247	84,1	511,8	52,6	269,1	97,4	2204,4
AMA 248	83,7	500,9	49,4	247,6	102,0	2113,1
AMA 249	85,2	531,9	53,4	283,9	77,2	1867,0
AMA 250	82,5	498,9	52,9	264,2	108,7	2370,1
AMA 252	83,2	495,8	53,1	263,5	77,2	1692,3
AMA 253	84,5	511,5	53,5	273,5	92,1	2128,6
AMA 254	84,2	533,3	52,1	278,1	91,1	2133,4
AMA 255	82,3	524,3	53,3	279,3	100,5	2310,8
AMA 257	83,2	482,6	52,4	252,8	95,1	2000,0
AMA 258	82,8	488,7	53,0	259,2	113,7	2440,4
AMA 260	85,3	562,2	52,9	297,5	77,1	1957,0
Genotypen Mittel	83,3	512,7	52,6	269,8	93,1	2089,4
Genotypen Minimum	80,7	454,8	49,4	242,5	75,0	1521,6
Genotypen Maximum	85,3	578,9	53,5	305,9	113,7	2537,5

Tabelle 23: Elementgehalte der verschiedenen Probensets in mg/kg auf TS bezogen; ausgewiesen als Median mit zugehörigem Standardfehler

Probe	Cobalt		Kupfer		Eisen		Mangan		Molybdän		Nickel		Zink	
	Median	StdErr ¹	Median	StdErr	Median	StdErr	Median	StdErr	Median	StdErr	Median	StdErr	Median	StdErr
Amarant GP	0,17	0,005	4,3	0,1	44	1,2	42	1,4	0,41	0,01	0,53	0,03	24	0,7
Amarant KP	0,17	0,023	6,4	0,3	45	3,2	34	3,0	1,13	0,17	0,88	0,11	28	1,1
Buchweizen	0,13	0,021	5,8	0,2	71	11,8	72	9,8	0,55	0,03	0,77	0,07	54	6,7
Quinoa	0,18	0,019	5,8	0,3	54	4,5	95	11,7	0,40	0,04	0,92	0,03	36	8,4
Sorghum	0,05	0,003	4,7	0,7	49	3,2	25	2,5	0,40	0,04	0,36	0,03	26	2,3
Mais	0,01	0,002	2,5	0,2	16	0,9	18	1,9	0,63	0,08	0,28	0,03	21	1,4

¹⁾ hier: StdErr weist die Streuung der Elementgehalte für die Einzelproben innerhalb der Kulturarten aus, bei den Einzelproben selbst liegen keine Wiederholungen (d.h. keine Stichproben) vor

Tabelle 24: Physiologische Elementgehalte von Amarant und Buchweizen, Quinoa, Sorghum und Mais, gemessene Elementgehalte bei Rindergülle

Probe		Al	Ba	Ca	Cd	Ce	Co	Cu	Fe	K	La	Mg	Mn	Mo	Na
		in mg/kg Trockenmasse													
AMA 181	EA 1-4	13	8,4	24 165	0,13	0,02	0,17	4,4	52	33 413	0,037	7114	53	0,25	41
AMA 182	Gelber Amarant	12	14,4	28 195	0,11	0,03	0,26	6,3	52	41 136	0,039	6655	50	0,38	91
AMA 184	Bärnkrafft	3	12,3	26 391	0,09	0,05	0,18	4,5	34	46 905	0,039	6150	39	0,42	70
AMA 186	“Konsumsorte”	< 5	8,0	24 717	0,13	0,03	0,24	4,9	40	41 234	0,041	6196	41	0,41	94
AMA 205	MT 3	41	12,8	33 020	0,11	0,08	0,20	4,2	44	51 997	0,061	8411	34	0,46	91
AMA 206	Nu World	18	11,4	27 153	0,10	0,10	0,15	5,0	55	42 174	0,071	6817	40	0,50	67
AMA 210	Suvarna	13	11,0	23 753	0,10	0,10	0,22	4,7	48	44 282	0,065	6544	39	0,38	73
AMA 211	K 61	27	11,4	25 395	0,10	0,07	0,12	5,0	53	40 211	0,060	7393	44	0,44	60
AMA 213	K 72	12	10,3	23 067	0,09	0,02	0,20	5,0	56	37 812	0,026	6542	46	0,44	50
AMA 216	Pastewny	27	5,8	24 253	0,11	0,06	0,21	3,8	45	38 328	0,050	6576	40	0,30	58
AMA 219	Andy	15	9,5	22 765	0,10	0,02	0,14	5,6	59	36 507	0,029	6857	49	0,33	62
AMA 221	Villarica	28	9,8	25 789	0,13	0,02	0,22	4,7	49	39 262	0,047	9121	64	0,27	45
AMA 229	K 39	15	7,5	22 578	0,11	0,04	0,16	4,3	57	36 270	0,034	5861	50	0,38	48
AMA 235	K 51	17	6,5	25 614	0,11	0,03	0,19	3,6	40	42 791	0,034	6109	31	0,36	54
AMA 242	Ukraine	10	7,9	28 191	0,12	0,01	0,19	5,0	40	41 561	0,038	6601	41	0,58	61
AMA 246	Arma	21	17,8	33 852	0,12	0,04	0,22	4,2	30	52 814	0,052	7586	40	0,41	93
AMA 250	Z 10/03	15	10,0	25 202	0,14	0,02	0,21	5,0	53	38 081	0,034	7144	83	0,31	47
AMA 252	CX 2007 MA	8	8,5	26 501	0,11	<0,001	0,26	4,4	32	44 939	0,004	5964	26	0,40	474
AMA 255	Amar Z/01	23	14,1	29 220	0,12	0,04	0,19	4,8	44	41 151	0,046	7535	43	0,45	85
AMA 257	Z 12/06	14	9,7	29 783	0,15	0,01	0,23	4,0	34	39 546	0,044	8555	65	0,49	137
AMA 261	Riesenamarant	10	10,7	25 548	0,14	0,02	0,23	4,2	43	32 737	0,047	6404	73	0,91	75
Amarant GP	Median n=64-67 ¹	14	7,5	23 753	0,10	0,03	0,17	4,3	44	38 328	0,039	6544	42	0,41	60
Amarant KP	Median n=10	1	9,2	30 254	0,12	0,04	0,17	6,4	44	40 196	0,042	7396	34	1,13	77
Buchweizen	Median n=5	30	7,6	12 658	0,15	0,22	0,13	5,8	71	21 713	0,241	4083	72	0,55	24
Quinoa	Median n=5	13	4,9	14 527	0,11	0,04	0,18	5,8	54	39 923	0,039	5959	95	0,40	130
Sorghum	Median n=4	8	3,5	3 827	0,13	<0,001	0,05	4,7	49	10 224	0,004	2317	25	0,40	<12
Mais	Median n=6	< 5	0,8	2 328	0,01	<0,001	0,01	2,5	16	7474	<0,0005	1469	18	0,63	<12
Rindergülle	n=2	4104	86,5	18 975	0,26	6,13	1,69	91,7	2378	36 688	3,281	7232	422	2,27	7988

¹⁾ Abweichende Probenanzahl durch aufgetretene Messfehler bei einzelnen Akzessionen und Spurenelementen

Tabelle 25: Fortsetzung der Elementgehalte in Tabelle 24: Physiologische Elementgehalte von Amaranth und Buchweizen, Quinoa, Mais und Sorghum; gemessene Elementgehalte bei Rindergülle

Probe		Nb	Ni	P	Pb	Rb	S	Sb	Sn	Sr	Ti	Tl	Zn	Zr
		in mg/kg Trockenmasse												
AMA 181	EA 1-4	0,01	0,47	2662	0,06	44	2109	0,010	0,03	27	0	0,016	27	0,12
AMA 182	Gelber Amaranth	0,03	1,15	3987	0,07	34	3056	0,026	0,07	28	0	0,011	26	0,16
AMA 184	Bärnkrafft	0,02	0,91	3136	0,05	42	2624	0,015	0,04	30	0	0,013	19	0,09
AMA 186	“Konsumsorte”	0,03	1,01	4002	0,03	26	3053	0,016	0,05	25	0	0,021	35	0,07
AMA 205	MT 3	0,02	0,87	2718	0,10	47	2942	0,016	0,06	34	0	0,033	18	<0,02
AMA 206	Nu World	0,02	0,52	3608	0,04	45	3042	0,015	0,03	27	0	0,021	21	0,01
AMA 210	Suvarna	0,02	0,74	3337	0,06	51	2207	0,015	0,05	26	0	0,028	22	0,11
AMA 211	K 61	0,02	0,44	2956	0,07	35	3086	0,022	0,06	27	0	0,021	19	0,19
AMA 213	K 72	0,02	0,78	3381	0,05	38	2561	0,014	0,03	23	0	0,014	25	0,04
AMA 216	Pastewny	0,02	0,69	2596	0,06	41	2541	0,019	0,05	26	0	0,010	23	<0,02
AMA 219	Andy	0,01	0,46	3690	0,04	43	2368	0,013	0,03	23	0	0,014	26	0,06
AMA 221	Villarica	0,02	0,87	2937	0,08	47	2691	0,016	0,05	29	0	0,016	23	0,20
AMA 229	K 39	0,03	0,57	3070	0,06	45	2453	0,013	0,05	23	0	0,018	26	0,23
AMA 235	K 51	0,02	0,70	2557	0,05	50	2796	0,016	0,04	25	0	0,031	29	<0,02
AMA 242	Ukraine	0,02	0,42	2679	0,06	24	2381	0,017	0,04	31	0	0,014	33	0,20
AMA 246	Arma	0,02	0,46	2398	0,07	39	2710	0,015	0,04	37	0	0,017	15	0,32
AMA 250	Z 10/03	0,01	0,63	3515	0,06	56	2713	0,015	0,03	27	0	0,015	25	0,03
AMA 252	CX 2007 MA	0,04	1,37	2700	0,07	28	2948	0,022	0,07	28	0	0,009	22	0,19
AMA 255	Amar Z/01	0,01	0,65	2776	0,06	39	2371	0,013	0,03	31	0	0,016	18	0,11
AMA 257	Z 12/06	0,02	0,84	2540	0,08	46	2513	0,014	0,05	32	0	0,015	23	0,16
AMA 261	Riesenamarant	0,01	1,07	2957	0,05	54	2162	0,010	0,02	24	0	0,196	21	0,10
Amarant GP	Median n=64-67 ¹	0,02	0,53	2854	0,06	41	2592	0,016	0,04	24	0	0,016	24	0,08
Amarant KP	Median n=10	0,02	0,88	4377	0,04	50	2939	0,015	0,03	28	0	0,024	27	0,08
Buchweizen	Median n=5	0,01	0,77	2930	0,14	11	1406	0,013	0,02	14	0	0,027	67	0,02
Quinoa	Median n=5	<0,01	0,92	3559	0,06	44	1983	0,008	0,06	16	0	0,141	36	0,02
Sorghum	Median n=4	<0,01	0,36	2070	0,04	6	943	0,007	0,01	3	0	0,002	26	<0,02
Mais	Median n=6	<0,01	0,28	1599	0,03	1	608	0,005	0,01	3	0	<0,001	21	<0,02
Rindergülle	n=2	1,69	7,91	8670	3,80	48	5536	0,148	0,54	69	433	0,097	273	31,71

¹⁾ Abweichende Probenanzahl durch aufgetretene Messfehler bei einzelnen Akzessionen und Spurenelementen

Ausgewählte Bilder zum Sortenscreening im Vegetationsverlauf



Abbildung 25: Blick auf die Versuchsanlage der Großparzellen; gut entwickelte Bestände im 2. Saattermin (vorne) zeugen vom hervorragenden Kompensationsvermögen des Amarants



Abbildung 26: Sortenvielfalt in der Kleinparzellenanlage



Abbildung 27: Homogene Saatzeilen des 1. Saattermins (links) gegenüber vergleichsweise lückigen Beständen im 2. Saattermin (rechts)



Abbildung 28: Lagernde Bestände nach starken Winden Anfang September 2013



Abbildung 29: Frostschäden an Amarantpflanzen im Oktober 2013



Abbildung 30: Schadbild an Amaranthpflanzen, vermutlich verursacht durch den Pilzerreger *Albugo candida*



Abbildung 31: Typischer Fensterfraß (links) durch *Mamestra brassicae*, der sich mit zunehmendem Wachstum der Larven zum Skelettierfraß (rechts) erweiterte



Abbildung 32: Larve der Kohleule im früheren (links) und späteren Entwicklungsstadium (Mitte) sowie Löcher im Boden (rechts), in denen die Larven im Puppenstadium überdauern

Berichte aus dem TFZ

Bisher erschienene Ausgaben der Schriftenreihe des Technologie- und Förderzentrums:

1	Qualitätssicherung bei der dezentralen Pflanzenölerzeugung für den Nicht-Nahrungsbereich Projektphase 1: Erhebung der Ölqualität und Umfrage in der Praxis
2	Erprobung der Brennwertechnik bei häuslichen Holzhackschnitzelheizungen mit Sekundärwärmetauscher
3	Daten und Fakten zur dezentralen Ölgewinnung in Deutschland
4	Untersuchungen zum Feinstaubausstoß von Holzzentralheizungsanlagen kleiner Leistung
5	Qualität von kaltgepresstem Rapsöl als Speiseöl und Festlegung eines Qualitätsstandards
6	Entwicklung einer Prüfmethode zur Bestimmung der Cetanzahl von Rapsölkraftstoff
7	Untersuchung der Wechselwirkungen zwischen Rapsöl als Kraftstoff und dem Motorenöl in pflanzenöлтаuglichen Motoren
8	Wärmegegewinnung aus Biomasse – Begleitmaterialien zur Informationsveranstaltung
9	Maize as Energy Crop for Combustion – Agricultural Optimisation of Fuel Supply
10	Staubemissionen aus Holzfeuerungen – Einflussfaktoren und Bestimmungsverfahren
11	Rationelle Scheitholzbereitstellungsverfahren
12	Qualitätssicherung bei der dezentralen Pflanzenölerzeugung für den Nicht-Nahrungsbereich Technologische Untersuchungen und Erarbeitung von Qualitätssicherungsmaßnahmen
13	Getreidekörner als Brennstoff für Kleinf Feuerungen – Technische Möglichkeiten und Umwelteffekte
14	Mutagenität der Partikelemissionen eines mit Rapsöl- und Dieselmkraftstoff 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 Kleinf Feuerungen für Holz und Ansätze für Minderungsmaßnahmen
23	Bewertung kostengünstiger Staubabscheider für Einzelfeuerstätten und Zentralheizungskessel
24	Charakterisierung von Holzbriketts
25	Additivierung von Rapsölkraftstoff – Auswahl der Additive und Überprüfung der Wirksamkeit
26	Status quo der dezentralen Ölgewinnung – bundesweite Befragung
27	Entwicklung einer Siloabdeckung aus nachwachsenden Rohstoffen
28	Sorghumhirse als nachwachsender Rohstoff – Sortenscreening und Anbau szenarien
29	Sorghum als Energiepflanze – Optimierung der Produktionstechnik
30	Ethanol aus Zuckerhirse – Gesamtkonzept zur nachhaltigen Nutzung von Zuckerhirse als Rohstoff für die Ethanolherstellung
31	Langzeiterfahrungen zum Einsatz von Rapsölkraftstoff in Traktoren der Abgasstufe I und II
32	Pflanzenöлтаugliche Traktoren der Abgasstufe IIIA – Prüfstandsuntersuchungen und Feldeinsatz auf Betrieben der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft
33	Betriebs- und Emissionsverhalten eines pflanzenöлтаuglichen Traktors mit Rapsöl, Sojaöl und Sonnenblumenöl
34	Dezentrale Ölsaatenverarbeitung 2012/2013 – eine bundesweite Befragung
35	Additivierung von Rapsölkraftstoff – Projektphase 2: Langzeit- und Prüfstandsuntersuchungen
36	Nutzer- und Brennstoffeinflüsse auf Feinstaubemissionen aus Kleinf Feuerungsanlagen
37	Screening und Selektion von Amarantsorten und -linien als spurenelementreiches Biogassubstrat

