

TFZ-Merkblatt: 19PFo005
Stand: Juni 2019

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

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

Sachgebiet Rohstoffpflanzen und Stoffflüsse
Technologie- und Förderzentrum (TFZ)



Abbildung 1: *Amarantrisppe*, 06.08.2015

1 Einleitung und Zielsetzung

Der Anbau von Pflanzen zur Gewinnung von Energie in Biogasanlagen trägt dazu bei, fossile Rohstoffe zu ersetzen. Die Biogasproduktion aus Energiepflanzen basiert größtenteils auf Mais. Um Probleme, die durch einen hohen Maisanteil in der Fruchtfolge entstehen, zu vermeiden und um die Diversität in der Agrarlandschaft zu erhöhen, werden alternative Kulturen zu Biomasseproduktion gesucht.

Als interessante Kultur zeigt sich der Amarant. Er hat sowohl ein hohes Ertragspotenzial als auch hohe Spurenelementgehalte, wie ein Vorprojekt zeigen konnte. Amarant enthält im Vergleich zu anderen Pflanzen deutlich höhere Konzentrationen der für die Methan produzierenden Mikroorganismen essenziellen Elemente Cobalt und Nickel. Die Zugabe von Amarant zu Maissubstrat könnte somit die Prozessstabilität im Biogasfermenter unterstützen. Ausgehend von den Erkenntnissen des im Jahr 2013 durchgeführten Amarant-Sortenscreenings sollen ausgewählte Linien durch wiederholte Selektion an hiesige Klimabedingungen angepasst werden und so ein erfolgreicher Anbau in unseren Breitengraden vorbereitet werden. Die wichtigsten Selektionskriterien sind dabei wie folgt:

- Trockenmasseertrag und Trockensubstanzgehalt,
- frühe Abreife,
- Standfestigkeit,
- möglichst hoher Gehalt an Spurenelementen,
- hoher Rispenanteil zur Kaskadennutzung,
- hoher Gehalt an weiteren wertvollen Inhaltsstoffen.

Mit ersten Ergebnissen soll zur Fortführung der Züchtungsarbeiten in der Privatwirtschaft motiviert werden. Sobald der Praxis verbessertes Sortenmaterial zur Verfügung steht, kann mit der Zugabe von Amarant, und damit Cobalt und Nickel, die Prozessstabilität im Biogasfermenter unterstützt werden. Dies könnte den potentiell risikobehafteten Zukauf von Additiven vermindern. Gleichzeitig wird das Landschaftsbild bereichert sowie durch abwechslungsreichere Fruchtfolgen die Bodenfruchtbarkeit erhalten.

Eng verknüpft ist das Projekt mit einem Forschungsvorhaben der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft: "Amarant als spurenelementreiches Biogassubstrat: Dauererhebung in Durchflussfermenter". Projektnehmer sind hier das Institut für Landtechnik und Tierhaltung (ILT) sowie die Abteilung für Qualitätssicherung und Untersuchungswesen (AQU). Am ILT wird mittels Langfristbetrieb von Durchflussfermentern die Umsetzungsstabilität von Reinmais- und Mais-Amarant-Mischungen mit und ohne Spurenelementzugabe untersucht. Die AQU betrachtet mit kontinuierlichen Erhebungen zur Mikro- und Makrobiologie in den Durchflussfermentern die Effekte der Spurenelementverarmung. Die erwartete Stabilisierung des Fermentationsprozesses durch Amarantsubstrat wird evaluiert. Hierzu wird vom TFZ die Amarantsilage zur Verfügung gestellt. Geldgeber dieses Projekts ist das Bayerische Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie (StMWi).

2 Material und Methoden

2.1. Zuchtgarten: Screening und Selektion verschiedener Amarantlinien

Die Zuchtgärten befanden sich jährlich wechselnd auf Versuchsflächen mit für den Gäuboden typischen Lössböden bei Straubing. Als Vorfrucht standen auf den Anbaufläche Winterweizen mit anschließender Brache und Herbstfurche.

Die Witterungsverhältnisse in den Anbaujahren zeichneten sich durch deutliche Unterschiede während der einzelnen Vegetationsabschnitte aus. Sowohl Niederschläge und Temperatur, als auch Sonnenscheindauer variierten und waren gespickt mit Extremwetterereignissen wie Starkregen im Juni 2016 und Hitze mit Trockenheit im Sommer 2018.

2.1.1 Aufbau der Zuchtgärten und Datenerhebung

Um für den Anbau ein Bayern geeignete Amarantlinien zu finden wurde in den Jahren 2015 bis 2018 ein Zuchtgarten angelegt. Zur Ernte fand eine abschließende Bonitur aller Linien statt. Bonitiert wurden Lager und Homogenität, weiterhin wurde der Rispenanteil in Prozent geschätzt sowie Rispenform, Rispenfarbe und Kornfarbe festgehalten. Auch das letztendlich erreichte BBCH-Stadium wurde bestimmt. 2015 wurde nur der Trockensubstanzgehalt der Linien bestimmt, ab 2016 zusätzlich die Trockenmasseerträge. Im ersten Jahr enthielt der Zuchtgarten 308 verschiedene Amarantlinien die in Reihen angebaut wurden. 2015 wurde auf frühe Abreife, Standfestigkeit, Rispenanteil, Pflanzhöhe und Rispenfarbe selektiert. Der Zuchtgarten wurde im Jahr 2016 mit 60 Amarantlinien in Parzellen angelegt. Um die Eignung von Amarant für den Anbau nach Ganzpflanzen-Getreide mit Aussaaten ab Ende Juni zu testen, wurde der Zuchtgarten im gleichen Schema Ende Juni ein weiteres Mal ausgesät (Anlage 2). Selektionskriterien in diesem Jahr waren Standfestigkeit, frühe Abreife, hoher TS-Gehalt und hoher TM-Ertrag. Da vermutet wurde, dass die dunkelschaligen Amarantsamen ein höheres Unkrautpotenzial aufweisen, wurden hellchalige Amarantlinien bevorzugt. Auch die Spurenelementgehalte an Cobalt und Nickel aus dem Jahr 2015 wurden in die Entscheidung mit einbezogen.

Im Jahr 2017 wurden zwei Zuchtgärten in Parzellen angelegt, einer für die Selektion und einer zur Ertragserfassung mit größeren Parzellen. In diesem Jahr standen 47 Amarantlinien in den Zuchtgärten, davon waren sieben im Gewächshaus erzeugte Hybridlinien. Da diese den Anforderungen, die an eine Hybridlinie gestellt werden nicht genügten, wurden sie im Jahr 2018 nicht wieder angebaut. Damit standen im Jahr 2018 40 Amarantlinien im Zuchtgarten. Auch in 2018 wurden ein Zuchtgarten für die Selektion und einer für die Ertragserfassung angelegt. Der Fokus in den Jahren 2017 und 2018 lag auf der weiteren Vereinheitlichung der Bestände, daher wurde in diesen Jahren nicht weiter selektiert. Die 40 Linien beinhalten eine große Variation an phänotypischen Merkmalen, die eine ausreichend große Auswahl für unterschiedliche Zuchtziele bereitstellen. In jedem Jahr wurde eine Rispe jeder Linie eingetütet, um die Selbstung sicherzustellen. Somit ist Saatgut für interessierte Züchterhauer oder wissenschaftliche Institute vorhanden.

2.2 Weitere Versuche

2.2.1 Silageproduktion

Die Linie Gelber Amarant aus dem Screening von 2013 zeigte damals in der Summe viele pflanzenbaulich vielversprechende Eigenschaften gekoppelt mit sehr hohen Spurenelementgehalten. Daher wurde diese Linie für die Produktion des Silage-Materials für die Durchflussfermenterversuche angebaut und siliert.

2.2.2 Spurenelementaufnahme von Amarant in Abhängigkeit des Standorts

Zur Klärung der Frage, ob es Zusammenhänge von Bodenunterschieden und Spurenelementgehalten bei Amarantpflanzen gibt, wurde im Versuchsjahr 2017 die Linie Gelber Amarant an zwei unterschiedlichen Standorten gesät. Diese Standorte waren Straubing, ein fruchtbarer Lössboden der eine Hohertragslage repräsentiert und Rosenau ein fruchtbarer Auenboden mit hohem Humusgehalt. Spurenelementproben der Pflanzen und des Bodens wurden genommen.

2.2.3 Saatstärke

Nachdem in der Literatur unterschiedliche Angaben zur optimalen Aussaatstärke von Amarant zu finden wurde im Vegetationsjahr 2016 ein begleitender produktionstechnischer Versuch zu dieser Problematik durchgeführt. Ausgesät wurden ein Korn-Typ (AMA 184) und ein Energie-Typ (AMA 182) in einer Block-Spalt-Anlage mit vier Wiederholungen. Als unterschiedliche Saatstärken wurden 30, 60, 90, 120 und 150 keimfähige Körner/m² ausgewählt.

2.2.4 Stickstoffdüngerversuch

Zur Überprüfung der optimalen Stickstoffdüngung von Amarant wurde 2017 und 2018 ein Stickstoffdüngerversuch angelegt. Je zwei Amarantlinien standen in vierfacher Wiederholung in fünf N-Düngestufen in einer Block-Anlage. Das waren die Linie Gelber Amarant (AMA 182) als Energie-Typ und eine Konsumsorte (AMA 186) als Korn-Typ. Die Düngestufen waren 70 kg N/ha, 120 kg N/ha, 170 kg N/ha, 220 kg N/ha und 270 kg N/ha. Trockensubstanzgehalte und Trockenmasseerträge wurden bestimmt. Zusätzlich wurden die Spurenelementaufnahme und Inhaltsstoffe nach Soest in den verschiedenen Düngestufen untersucht. Um eine mögliche Kaskadennutzung zu bewerten wurden vom Korn-Typ Ganzpflanzenproben sowie Korn- und Strohproben genommen.

Die Biogas- und Methanausbeute wurde 2017 mit einem Batchversuch gemessen. Getestet wurden die Ganzpflanze des Energie-Typs (AMA 182) und das Stroh des Korn-Typs (AMA 186) von der 170 kg N/ha-Variante.

2.2.5 Misanbau von Mais und Amarant

Um den praktischen Nutzen eines Misanbaus von Amarant und Mais abzuschätzen, wurde zu dieser Fragestellung ein Versuch in Blockanlage mit vier Varianten in vier Wiederholungen angelegt. Amarant und Mais wurden jeweils in Monokultur angebaut als auch in zwei Misanbauvarianten. Diese unterschieden sich im Säzeitpunkt des Mais. Dieser wurde in einer Variante 13 Tage nach dem Amarant gesät (A&M-spät), in der anderen Variante gleichzei-

tig mit dem Mais (A&M-früh). Trockensubstanzgehalte, Trockenmasseerträge, Spurenelementgehalte sowie Inhaltsstoffe nach van Soest wurden bestimmt.

2.2.6 Durchwuchsverhalten von Amarant

Zur Überprüfung des Durchwuchsverhaltens des Amarants wurde im Jahr 2017 ein Versuch dazu etabliert. Dazu wurden eine hellchalige (SON 2) und eine dunkelschalige (AMA 234) Linie gesät. Nach der Ernte wurde bei einer Wiederholung eine nichtwendende Bodenbearbeitung, bei der anderen Wiederholung eine wendende Bodenbearbeitung praktiziert. In den jeweiligen Blöcken wurden die in Biogasfruchtfolgen üblichen Nachfrüchte Winterweizen, Mais und Zuckerrüben gesät und mit praxisüblichen Herbizidstrategien der auflaufende Ausfallamarant bekämpft.

2.2.7 Keimfähigkeit von Amarant nach unterschiedlichen Expositionszeiten im Fermenter

Um überprüfen zu können, wie sich unterschiedliche Expositionszeiten auf die Keimfähigkeit von Amarantsamen im Gärrest auswirken, ein Versuch mit fünf verschiedenen Verweildauern durchgeführt. Es wurden sowohl eine hellkörnigen (Gelber Amarant, AMA 182) als auch eine dunkelkörnige (AMA 234) Amarantlinie getestet, indem mit speziellen Beuteln Samen in die Durchflussfermenter der LfL eingehängt wurden. Die Expositionszeiten waren für beide Linien jeweils ein, drei, fünf, sieben und zehn Tage. Anschließend wurde eine Keimprobe angelegt.

2.2.8 Multielementanalysen (Dr. Sauer, IZNE)

Pflanzen und Bodenproben wurden von Dr. Sauer an der Universität Göttingen analysiert. Die Multielementanalysen erfolgten über die Methoden Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometry (ICP-OES) am sowie der Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry (ICP-MS). Die Elementgehalte der Pflanzenproben wurden über ein mathematisches Korrekturverfahren von anhaftendem Bodenmaterial bereinigt.

3. Ergebnisse und Diskussion

3.1 Zuchtgarten: Screening und Selektion verschiedener Amarantlinien

3.1.1 Bestandsentwicklung im Zuchtgarten von 2015 bis 2018

Jahr 2015

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

Bei zu großem Vorsprung gegenüber später gekeimten Pflanzen wurden einzelne große Pflanzen aus der Reihe/den Reihen entfernt, sodass hier keine Bevorteilung bezüglich der Abreife einzelner Pflanzen erfolgen konnte. Im Laufe der Vegetation hatte sich dieser Unterschied jedoch weitestgehend verwachsen (Abbildung 2), sodass eine verhältnismäßig hohe Gleichmäßigkeit der Pflanzenentwicklung innerhalb der Linien gegeben war.



Abbildung 2: Amaranth-Bestand nach 60 Tagen Vegetationsdauer 2015

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

Jahr 2016

Im Gegensatz zu den Witterungsbedingungen 2015, welche sich durch hohe Temperaturen und Trockenheit auszeichneten, war das Anbaujahr 2016 von vielen Niederschlägen und mehrmaligen Starkregenereignissen geprägt. Bedingt durch die nur kurze Hitzeperiode und den fehlenden Regen direkt nach der Aussaat liefen die Pflanzen im Zuchtgarten verzögert und leicht ungleichmäßig auf. Sieben Tage nach der Aussaat, als ein Großteil der Sämlinge die obere Bodenschicht noch nicht durchstoßen hatte, ging auf dem Versuchsfeld ein Regenschauer mit über 80 mm/m² innerhalb weniger Stunden nieder, was, bedingt durch den hohen Schluffanteil im Lössboden, zum Verschlämmen des Saatbettes führte.

Durch die warmen Bodentemperaturen und weitere Niederschläge während dieser Phase erfolgte dennoch ein problemloser Durchtritt der Keimlinge durch den Boden. Es waren keine nennenswerten Ausfälle im Bestand der jeweiligen Parzellen zu beobachten. Auch das anschließende rasche Abtrocknen und Verkrusten des Bodens konnte die Amaranth-Sämlinge nicht in ihrem Wachstum behindern, es folgte eine zügige Jugendentwicklung des Bestandes (Abbildung 3).



Abbildung 3: Amaranth-Bestand nach 14 Tagen Vegetationsdauer in 2016

Jahr 2017

Im Versuchsjahr 2017 waren optimale Bedingungen für den Auflauf der Amaranthbestände gegeben. Nachdem in ein trockenes, gut abgesetztes Saatbett gesät werden konnte, brachte ein kurz darauf folgender geringer Niederschlag mit darauffolgender warmer Witterung den Amaranth schnell zum Auflaufen. Diese warme Witterung führte am 01.07.2017 zu einem schnellen und gleichmäßigen Reihenschluss (Abbildung 4). Durch die etwas spätere Saat des Mais konnte ein gleich schnelles Längenwachstum von Amaranth und Mais erreicht werden. Dadurch wurde eine Beeinträchtigung der Amaranthbestände durch eventuell höher wachsenden Mais ausgeschlossen. Hitzegewitter im Sommer führten dazu, dass einige Linien ins Lager gingen.



Abbildung 4: Zuchtgarten zur Ertragserfassung kurz vor Reihenschluss, 23.06.2017

Jahr 2018

Im Jahr 2018 war der Frühling sehr warm und trocken. Bereits im April fehlten 32 mm Niederschlag im Vergleich zum langjährigen Mittel, was einherging mit hohen Temperaturen und in einer stark negativen Wasserbilanz resultierte. Dieses Muster setzte sich im Mai fort, wodurch für die Amarantsamen zur Aussaat am 29.05.2018 kaum Feuchtigkeit im Boden war und der Feldaufgang extrem unregelmäßig wurde. Die Pflanzen, die früher keimen und tiefe Wurzel ausbilden konnten, hatten einen deutlichen Entwicklungsvorsprung gegenüber den anderen Pflanzen. Trotz hoher Niederschläge im Juni waren die Entwicklungsunterschiede Anfang Juli noch deutlich zu sehen (Abbildung 5) und waren in einigen Linien noch im September vorhanden. Die Trockenheit im Juli und August wirkte sich in einer geringeren Pflanzenhöhe aus als in den beiden Jahren zuvor, aber Trockenstresssymptome waren nicht erkennbar. Zur Reife und Ernte bewirkte die heiße und trockene Witterung höhere TS-Gehalte als in den Vorjahren.



Abbildung 5: Ungleichmäßiger Aufgang, 06.07.2018

3.1.2 Trockenmasseerträge

Der Trockensubstanzgehalt von Amaranth liegt generell unter den für die Silierung angestrebten 28 %. Die TS-Gehalte der Zuchtgärten lagen im Mittel zwischen 19,7 und 22,9 %. Damit liegen sie im Vergleich im Mittelfeld. Das Minimum lag bei 15,7 % TS und das Maximum bei 26,1 % TS.

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

Die durchschnittlichen Trockenmasseerträge im Zuchtgarten lagen in der sehr spät gesäten Anlage 2 im Jahr 2016 nur bei 90 dt/ha TM, in Anlage 1 im Jahr 2016 wurden 119,7 dt/ha TM erreicht. 2017 lag der TM-Ertrag bei 120 dt/ha M und in 2018, bei warmen Temperaturen und viel Sonnenschein, sogar bei 169,5 dt/ha TM. Einzelne Linien erreichten FM-Erträge über 1 000 dt/ha und TM-Erträge über 200 dt/ha. Das zeigte das enorme Ertragspotenzial von Amaranth unter den richtigen klimatischen Bedingungen. Auch wenn Amaranth jetzt noch ertragsmäßig unter Mais liegt, kann er doch durch seine gute Wassernutzungseffizienz in Zukunft interessant werden, sollten die Sommer heißer und trockener werden. Um auch in kälteren Jahren zuverlässig einen hohen Ertrag zu liefern, bedarf es allerdings noch züchterischen Fortschritt. Zum jetzigen Zeitpunkt ist er nicht ertragsicher genug, um eine Alternative zu Mais darzustellen.

3.1.3 Spurenelementgehalte (Dr. Sauer, IZNE)

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

Vor allem Cobalt (Co) ist als essentielles Element für die methanbildenden Archaeen in Biogasanlagen mit viel Maisinput besonders wichtig. Da Cobalt nicht zu den für Pflanzen essentiellen Mikronährelementen zählt, ist es sehr schwierig, dieses Element mittels Pflanzen den methanbildenden Mikroorganismen in ausreichender Menge zur Verfügung zu stellen.

Tabelle 1 zeigt die Elementmittelwerte der im Zuchtgarten gemessenen Amaranthpflanzen (n = 199) im Vergleich mit Elementgehalten von Mais (n = 5). In der 3. Spalte ist der Faktor, wie weit der Gehalt des jeweiligen Elements im Amaranth über dem von Mais liegt, aufgetragen. Es fällt auf, dass mit Ausnahme von Kupfer die Amaranthpflanzen immer ein Vielfaches an den dargestellten Elementen gegenüber Mais besaßen. So enthielten die Amaranthpflanzen mit 3,8 % Kalium und 1,6 % Calcium die 4- bis 5-fache Konzentration gegenüber Mais. Das für den Biogasprozess nötige Cobalt war im Amaranth in 8-fach höherer Konzentration enthalten. Es muss aber auch darauf hingewiesen werden, dass auch die Schadelementkonzentration in Amaranth deutlich über der in Mais lag. So zeigen die Analysen, dass Cadmium in 4-fach und Thallium in 9-fach höherer Konzentration gegenüber Mais vorlagen.

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

Nach den hier vorliegenden Daten bleibt es fraglich, ob verschiedene Amaranthgenotypen und -linien überhaupt nach unterschiedlich starkem Cobalt-Transferfaktor klar differenziert werden können (vergleiche Abbildung 6). Somit konnte die Eigenschaft „sehr hohe Cobaltgehalte“ lediglich ein untergeordnetes Selektionskriterium darstellen. Andere pflanzenbauliche Eigenschaften, wie der Trockenmasseertrag, der Trockensubstanzgehalt zur Ernte sowie die Silierfähigkeit und der potentielle Durchwuchs in der Folgefrucht, sind für die Landwirtschaft wichtigere Parameter. In jedem Fall ist die Kultur Amaranth in der Lage, im Vergleich zu Mais ein Vielfaches an Spurenelementen für den Biogasprozess bereitzustellen.

Tabelle 1: Vergleich der mittleren Elementgehalte der Amarantpflanzen (n = 199) im Projekt mit Mais (n = 5).

	Amarant	Mais	Faktor Amaranth über Mais
	mg/kg TS		
P	3352	2130	1,6
K	37866	8830	4
Mg	4704	2129	2,2
S	2388	962	2,5
Ca	16100	3403	5
Co	0,07	0,01*	7
Cr	0,7	0,4	1,6
Cu	4,3	4,8	0,9
Fe	69	53	1,3
Mn	42	25	1,7
Mo	0,8	0,3	2,4
Na	26	< 14	3,7
Ni	0,6	0,4	1,5
Zne	20	15	1,3
Schadelemente			
Cd	0,9	0,02	4
Tl	0,013	< 0,003	9
Sb	0,03	0,01	2
Cs	0,13	0,03	4

* Cobaltgehalt von Mais kompiliert mit eigenen Daten und Literatur

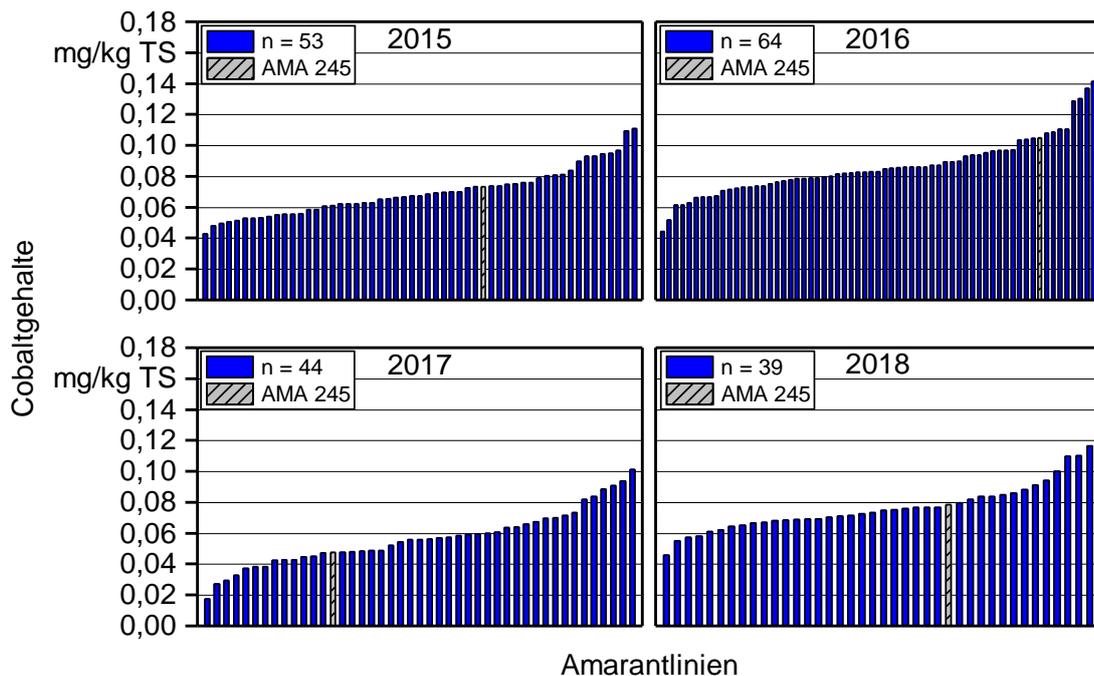


Abbildung 6: Physiologische Cobaltgehalte der Amaranthpflanzen im Zuchtgarten über die vier Versuchsjahre

3.1.4 Selektion

Neben einer schnellen Abreife müssen von einer Kulturpflanze weitere pflanzenbaulich relevante Kriterien erfüllt werden, um für Landwirte anbauwürdig zu sein. Im ersten Selektionszyklus 2015 war neben der Abreife die Standfestigkeit eines der wichtigsten Selektionsmerkmale. In 2015 diente die Pflanzenhöhe als Anhaltspunkt für eine Einschätzung des Ertragspotenzials einer Linie. Es konnte beobachtet werden, dass sich ein ausgewogenes Verhältnis von Höhe und Habitus der Pflanzen positiv auf die Stabilität auswirkte. Hohe und schlanke Pflanzen, die durch einen hohen Rispenansatz kopflastig wurden, neigten zum Ende der Vegetation deutlich stärker zum Lagern als kleinere, kompakte Pflanzen. Linien, die diese negativen Eigenschaften zeigten, wurden aussortiert.

Ein weiterer Aspekt bei der Betrachtung der Amaranthlinien war die Vielgestaltigkeit der Pflanzenfarbe. Das ausgesäte Pflanzenmaterial zeigte ein breites Farbspektrum von gelb-hellgrün über orange bis hin zu dunkelrot und purpur sowohl bei den Blättern als auch bei den Rispen. Gerade im Hinblick auf die Wirkung im Landschaftsbild bedeutet dies eine größere Abwechslung im Vergleich zu einfarbig grünen Maisflächen. Solche farbigen Linien wurden bei ansonsten gleichen Eigenschaften bei der Selektion besonders berücksichtigt. Alle Linien wurden zudem auch im Hinblick auf ihre Homogenität innerhalb der Linie untersucht. Dabei zeigte sich, dass bereits ein großer Teil der verwendeten Linien sehr stabil in ihren Eigenschaften war.

Generell sind eine hohe Standfestigkeit, Krankheitsresistenz, geringe Vorernteverluste durch Samenfall, Abtrocknung der Pflanze zur Samenreife und abiotische Stresstoleranz, insbesondere Kältetoleranz, wichtige Selektionsziele. Amaranth als Biogassubstrat sollte auch noch einen hohen Biomassertrag mitbringen. Auch auf Eignung zum Anbau auf unterschiedlichen Standorten kann

selektiert werden. Eine Variation eines Merkmals kann sowohl durch das Zusammenwirken mehrerer Gene oder durch Umwelteinflüsse entstehen. Genotyp und Umwelt wirken nur selten unabhängig voneinander, meistens gibt es eine Interaktion zwischen beiden Faktoren. Die Linie AMA 245 zeigte starke Interaktionen, andere Linien im Panel wie AMA 141, die immer schlecht abschnitt, deutlich geringere. So lassen sich Linien selektieren, die besser an bestimmte Standortbedingungen angepasst sind. Um für all diese unterschiedlichen Anforderungen weiterentwickelbare und kreuzbare Linien zur Verfügung stellen zu können, wurde die Anzahl an Linien von 2017 auf 2018 nicht weiter reduziert.



Abbildung 7: *Amarant Zuchtgarten 07.09.2017*

3.2 Weitere Versuche

3.2.1 Spurenelementaufnahme von Amarant in Abhängigkeit des Standorts (Dr. Sauer, IZNE)

Im Mittel wiesen die Pflanzen vom Standort Rosenau (0,04 mg/kg TS), wie nach den Analysen der Bodenproben auch zu erwarten war, geringere Konzentrationen gegenüber dem Hauptstandort Straubing (0,11 mg/kg TS) auf. Die Nickelgehalte der Amarantpflanzen des Standortes Straubing (1,14 mg/kg TS) waren im Mittel höher als in Rosenau (0,77 mg/kg TS), was den Gehalten des Bodens an Nickel entsprach.

Tabelle 2: Elementgehalte in den Böden der zwei Versuchsstandorte in 2017: Straubing und Rosenau

Spurenelement	Rosenau 2017 (n = 1)	Straubing 2017 (n = 10)
	mg/kg TS	
Co	3,9	12,4
Ni	10,0	32,0

3.2.2 Saatstärke

Im Mittel lag die Ertragsleistung des Energietyps bei 126 dt TM/ha. Die Unterschiede zur Ertragsleistung der Bestände mit geringerer Saaddichte waren nicht signifikant. Ein ähnliches Bild zeichnete sich auch bei der Ertragsleistung des Korn-Typs ab. Bei einem mittleren Ertragsniveau von 82 dt TM/ha, waren die Unterschiede in Abhängigkeit der Saatstärke ebenfalls nicht signifikant. Wie die Ergebnisse zeigen, können Amaranbestände niedrigere Aussaatstärken gut durch einen erhöhten Massezuwachs der Einzelpflanzen kompensieren, sodass ein vergleichbarer Flächenertrag erzielt wird.

3.2.3 Stickstoffdüngerversuch

Die Ergebnisse aus den am TFZ durchgeführten Versuchen bestätigen die in der Literatur beschriebene hohe Stickstoffaufnahme von Amaran. Es waren nur eine geringe Umsetzung des aufgenommenen Stickstoffs in Mehrertrag oder wertgebende Inhaltsstoffe zu sehen. Im Jahr 2017 in der Linie Gelber Amaran war ab 120 kg N/ha kein signifikanter Trockenmassezuwachs festzustellen. Im Jahr 2018 ließen sich keine Ertragsunterschiede bei steigender Stickstoffdüngung feststellen, weder in Linie Gelber Amaran noch im Korn-Typ.

Insgesamt ist der Amaran als Low-Input-Pflanze zu betrachten, der schon mit einem geringen Stickstoffbedarfswert sein volles Potenzial ausschöpfen kann. Die Düngeempfehlungen in der Praxis reichen von 30 bis 130 kg N/ha. In den Versuchen am TFZ betrug die höchste Düngestufe, die einen signifikanten Mehrertrag lieferte, 120 kg N/ha.

Der Batchtest zeigte eine ähnliche Methanausbeute für den GPS-Typ und das Stroh des Korn-Typs (232 I_N/kg oTM). Es zeigte sich, dass die Samen gegenüber dem Stroh deutlich geringere Konzentrationen an Cobalt und Nickel aufwiesen. Aufgrund dieser Erkenntnis würde sich eine Kaskadennutzung des Amarants anbieten.

3.2.4 Mischanbau von Amaran und Mais

Die Mischanbaufähigkeit von Mais und Amaran wurde mit einem Versuch in 2018 getestet. Hierbei waren die Auswirkungen auf die Lageranfälligkeit, die wertgebenden Inhaltsstoffe als auch die Spurenelementgehalte von Interesse. In diesem Jahr war Lager kein Problem im Amaran, weshalb stützende Effekte des Mais nicht beobachtet wurden.

Mais liegt ertragsmäßig und vom TS-Gehalt deutlich über der Leistung des Amarants. Die Varianten A&M-früh und Mais lagen mit TM-Erträgen von 144,3 und 151,0 dt TM/ha auf einer Höhe. Die Varianten Amaran und A&M-spät lagen mit 106,3 und 100,5 dt TM/ha deutlich darunter. In der Variante A&M-früh

wurde der TS-Gehalt durch den Einfluss des Mais angehoben auf 29 % TS und lag damit überhalb des angestrebten Mindest-Trockensubstanzgehalts von 28 %. Dadurch wird eine bessere Silierbarkeit erreicht, die sonst bei Amarantsilage ein Problem darstellt.

Der Mischanbau von Mais und Amarant führte wie erwartet dazu, dass sich eine Spurenelementkonzentration ergab, die sich zwischen den niedrigen Gehalten von Mais und den höheren Gehalten vom Partner Amarant einstellte.

3.2.5 Durchwuchsverhalten von Amarant

Im Durchwuchsversuch wurden die drei Kulturen Winterweizen, Zuckerrüben und Mais nach weiß- und rotsamigem Amarant angebaut, jeweils mit wendender und nicht-wendender Bodenbearbeitung. Bei den Sommerungen Mais und Zuckerrüben waren nach der Aussaat im Frühjahr Amarantsamen von beiden Amarantlinien aufgelaufen, in der gepflügten Variante weniger als in der gegrubberten. Weizen und Mais waren nach der Herbizidapplikation weitestgehend sauber. In den Zuckerrüben wurde der hellkörnige Amarant besser vom Herbizid erfasst als der dunkelkörnige, dieser war in der pfluglosen Variante ein massives Problem. Auch in den Varianten mit wendender Bodenbearbeitung wurde der Durchwuchsamarant erfolgreich kontrolliert.

3.2.6 Keimfähigkeit von Amarantsamen nach unterschiedlichen Expositionszeiten im Fermenter

Im weißkörnigen Amarant nahm die Keimfähigkeit bei längerer Verweildauer im Biogasfermenter nahezu exponentiell ab auf 1,1 % Keimfähigkeit an Tag zehn. Der schwarzkörnige Amarant AMA 234 hatten an Tag zehn nur noch eine Keimfähigkeit von 2,4 % Bei einer durchschnittlichen Verweildauer des Substrats in einstufigen Biogasanlagen von 22 bis 88 Tagen kann daher davon ausgegangen werden, dass ein geringes Unkrautpotenzial durch die Nutzung von Amarant als Biogassubstrat besteht.

4 Fazit und Einordnung in die Praxis

Amarant kann als Spurenelementreiches Substrat in der Biogasanlage verwendet werden. Dadurch soll die Spurenelementversorgung der Mikroorganismen im Fermenter optimiert werden. Im Rahmen des Projekts wurden von 2015 bis 2018 in Bayern Feldversuche durchgeführt um praxistaugliche Amarantlinien zu selektieren und produktionstechnische Fragen zu beantworten.

Ein Akzessionspanel von Amarantlinien wurde angebaut und auf die Merkmale TS-Gehalt, TM-Ertrag, Frühreife, Standfestigkeit, Spurenelementgehalt und Rispen- und Samenfarbe selektiert. Von anfangs 308 Linien wurden letztendlich 40 Linien selektiert, die den ausgewählten Kriterien entsprechen und dabei noch eine ausreichende Varianz der interessanten Merkmale für die Weiterentwicklung in unterschiedliche Nutzungsrichtungen aufweisen. Spurenelementgehalte waren im Amarant deutlich höher als im Mais, starke Jahreseffekte machen aber eine Selektion auf hohe Spurenelementgehalte schwierig. Im Winterhalbjahr im Gewächshaus durchgeführte Kreuzungen mit 46 Elternpaaren ergaben nur sieben Hybridlinien. Aus der hohen Heterogenität der Hybridlinien konnte geschlossen werden, dass die Ausgangslinien nicht homozygot genug für eine erfolgreiche Hybridkreuzung waren. Die erreichten TS-Gehalte lagen im Mittel der Jahre zwischen 19,7 % und 22,9 %, die TM-Erträge zwischen 119,7 dt/ha und 169,5 dt/ha. Dies zeigt das hohe Ertragspotenzial von Amarant. Als Kurztagspflanze reift Amarant unter bayerischen Bedingungen meist nicht ausreichend ab. Eine lange Vegetationsdauer ist nötig, eine späte Aussaat im Juni sorgt für Ertragseinbußen und geringe TS-Gehalte, durch die eine verlustfreie Silierung nicht möglich ist. Auch die Lagergefahr ist größer als bei Mais. Berechnete Korrelationen ergaben einen negativen Korrelationskoeffizienten für den TS-Gehalt und den TM-Ertrag. Zuchtziel ist es, Linien zu entwickeln, die für beide Merkmale hohe Werte aufweisen können.

Amarant hat eine sehr geringe Samengröße mit einem Tausendkorngewicht von nur etwa 0,8 g. Durch die Streckung des Saatguts mit handelsüblichen Semmelbröseln kann es mit gängiger Technik ausgesät werden. Da Amarant sehr flexibel auf unterschiedliche Standdichten reagiert, sind auch geringe Saaddichten von 30 keimfähigen Körnern/m² ohne Ertragseinbußen möglich.

Ohne Frage stellt Amarant ein Unkrautpotenzial für die Folgefrucht dar. Durch Anbau einer Winterung sterben die meisten auflaufenden Amarantsamen im Winter ab. Auch eine wendende Bodenbearbeitung reduziert den Amarantauflauf. Weiße Kulturamarantsamen überleben deutlich schlechter im Boden als dunkle Amarantsamen. Auch die Düngung mit Gärresten birgt ein geringes Unkrautrisiko bei Nutzung von Amarantsubstrat. Zwar sind die meisten Amarantsamen nach einer Fermenterverweildauer von über zehn Tagen nicht mehr keimfähig, Kurzschlussströme können aber keimfähige Samen in den Nachfermenter einbringen. Es muss daher bei der Fruchtfolgegestaltung darauf geachtet werden, dass Amarant gut in der Folgefrucht und auf den mit Gärrest gedüngten Flächen bekämpfbar ist. Das Unkrautpotenzial ist bei hellkörnigen Samen gering und gut bekämpfbar, dunkelschalige Samen zeigten einen höheren Überlebensfähigkeit und bewirken dadurch einen höheren Unkrautdruck.

Bei höheren Gehalten von Cobalt und Nickel im Boden wurden auch höhere Gehalte dieser Spurenelemente im Amarant gefunden. Amarant hat eine große phänotypische Anpassungsfähigkeit an unterschiedliche Saaddichten. Auf unterschiedliche Saaddichten reagierte er mit morphologischen Veränderungen bei gleich bleibendem Ertrag. Eine zunehmende Stickstoffdüngung führte ab

120 kg N/ha nicht mehr zu Mehrertrag, ein Trend für zunehmende Rohprotein- und Nitratgehalte war festzustellen. Ein Batchtest zeigte für das Amaranstroh nur unwesentlich niedrigere Methanausbeuten je kg oTM als für die Ganzpflanze. Durch eine Kaskadennutzung von Amaranth könnte somit die Konkurrenz von Lebensmittelproduktion und Energiepflanzenanbau vermieden werden. Ein Mischanbau von Amaranth und Mais führte zu höheren TS-Gehalten als bei Amaranth Monokultur und höheren Spurenelementgehalten im Substrat als bei Mais Monokultur und glich somit die Schwächen der jeweiligen Kultur aus.

Eine Bewertung der im Projekt untersuchten Aspekte für den praktischen Anbau findet sich in Tabelle 3.

Tabelle 3: Vor- und Nachteile von Amaranth

Eigenschaft	Bewertung
Flexible Saatedichte	+
Unkrautpotenzial im Gärrest	-
Unkrautpotenzial in der Nachfrucht	-
Verfügbare Saatechnik nutzbar	+
Geringe Krankheitsanfälligkeit	+
Ausreichender Trockensubstanzgehalt für Silierbarkeit	--
Rechtzeitige Abreife	-
Hoher Trockenmasseertrag	+
Bereicherung des Landschaftsbilds	++
Geringer Stickstoffbedarf	+
Pollen und Nektarquelle	-
Auflockerung der Fruchtfolge	+
Mischanbaufähig	+
Hohe Co.- und Ni-Gehalte in Amaranth	++
Standorteinfluss auf Spurenelementgehalte in Amaranth	+
Spurenelementgehalt	+
Schadelementgehalt	-

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