

Universität für Bodenkultur Wien

Department für Nutzpflanzenwissenschaften





Einfluss einer unterschiedlich hohen HTC-Biokohlenausbringung als Bodenverbesserer auf den Wachstums- und Entwicklungsverlauf bei Sojabohnen (*Glycine max.* [L.] Merr.)

Masterarbeit

zur Erlangung des Diplomingenieurs der Universität für Bodenkultur Wien

vorgelegt von

Daniel Lehner

Matrikelnummer: 1040 349

Betreuer:
Ao. Univ. Prof. Dipl. –Ing. Dr. Peter Liebhard

Wien, im März 2015

Abstract

The soybean as a source for high quality protein and fat contributes essential to the growing need of protein for a rising world population. The combination with application of biochar was barely explored until now.

In 2012, a planting experiment was carried out in the semi-arid area of eastern Austria to see which influence biochar can have on growth, yield and selected ingredients of soybeans. The immediate effect from an amout of zero to 20 t/ha biochar was compared.

During the growth period of the soybeans until the beginning of blooming, differences between the variants could be found. At the beginning of July, differences in the length of plants and grown biomass were measured. The plants from the plots prepared with HTC biochar have shown significantly longer stems than the others. These differences diminished until the harvest. Due to the warmer temperatures and the lower precipitation values in 2012 compared with statistical average of 30 years, no rhizobia could be developed and nitrogen fixation for soybean plants was not possible. The plants could only use nitrogen from the soil for growth. As a result, the plots prepared with mineral fertilizer have shown the significantly longest plants, the highest mass of dry matter and the highest yields. Concerning the ingredients, only in the oil content significant differences could be found. The HTC variants had the lowest values as well in oil- as in sugar contents. Only the plots where HTC was mixed with compost had shown values above the average. All other values were lower than the middle. From this results it can be seen, that due to the lower amount of available nitrogen in the year of application there can be a negative influence of biochar on the yield. To evaluate effects in crop rotations, long term field experiments have to be made, because only thus, "medium- and longterm effects of biochar" on growth of plants, behave on yield and quality of harvested crops and impact on soil can be evaluated objectively.

Danksagung

Für die Hilfe und Unterstützung möchte ich mich bei allen herzlich bedanken.

Herrn Ao. Univ. Prof. Dr. Peter Liebhard für die Bereitschaft zur Durchführung und Betreuung der Arbeit.

Roland Kariger für die Zusammenarbeit beim Feldversuch und den Auswertungen.

Den Mitarbeitern der Versuchswirtschaft für die Unterstützung beim Versuch sowie den Auswertungen.

Henrike Thalenhorst für das Zustandekommen dieser Arbeit. Weiters für die Zusammenarbeit nicht nur bei den Versuchen und der Auswertungen betreffend der Arbeit, sondern für den ganzen Weg im gemeinsamen Bachelorstudium und für die großartige Zeit. Auch ihrem Vater, Dr. Jobst Thalenhorst für die Möglichkeit, dieses Thema zu bearbeiten.

Allen Freundinnen und Studienkolleginnen für die schöne Zeit während des Studiums.

Meinen Eltern, die mir den Lebensweg bis zum Studium ermöglichten.

Dir, liebe Julia für die Unterstützung bei der Arbeit und dass du immer für mich da bist, in allen Situationen.

Inhalt

1	. Einl	eitung, Problemstellung und Zielsetzung	7
	1.1	Einleitung	7
	1.2	Problemstellung	8
	1.3	Zielsetzung	8
2	. Aus	gewählte Literatur	9
	2.1	Definition der Biokohlen	9
	2.1.1	HTC-Biokohle	10
	2.2	Biokohle – Herstellungsverfahren	11
	2.3	Biokohle als Bodenverbesserer	13
	2.4	Biokohle: Boden-Pflanze Beziehung	14
	2.5	Biokohle - Einfluss auf die Sojabohne	15
	2.6	Sojabohne (Glycine max. [L.] Merr.)	16
3.	. Ma	terial und Methode	19
	3.1	Material	19
	3.1.1	Standort	19
	3.1.2	Versuchsaufbau und Faktoren	22
	3.1.2.	Ausbringung der Biokohle	24
	3.1.2.2	2 Saatgut	25
	3.2	Methode	26
	3.2.1	Entwicklungsverlauf der Kultur	26
	3.2.2	Zwischenernte der Ganzpflanzen	26
	3.2.3	Ernte und Ertrag	27
	3.2.4	Qualitätskriterien Korn	28
	3.2.5	Bodenbeprobungen	29
	3.3	Mathematisch statistische Verrechnung ausgewählter Daten	30

4	. Aus	sgewählte Ergebnisse	31
	4.1	N _{min} -Gehalt im Boden	31
	4.2	Wachstums- und Entwicklungsverlauf des Sojabohnenbestandes	32
	4.2.1	Wuchshöhe	32
	4.2.2	Blühverlauf	37
	4.2.3	Ganzpflanzen Trockenmasse	38
	4.2.3.	1 Gesamtpflanzen Trockenmasse - Zwischenernte	38
	4.2.3.	2 Gesamtpflanzen Trockenmasse bei der Reife	38
	4.3	Ertragsparameter und Kornertrag	10
	4.3.1	Pflanzenanzahl4	10
	4.3.2	Hülsenzahl pro Pflanze4	11
	4.3.3	Kornanzahl pro Sojapflanze4	12
	4.3.4	Tausendkorngewicht der Sojabohne4	14
	4.3.5	Sojabohne-Kornertrag4	15
	4.4	Ausgewählte Qualitätskriterien bei Sojabohnen4	1 7
	4.4.1	Ölgehalt4	17
	4.4.2	Proteingehalt4	18
	4.4.3	Zuckergehalt4	19
5	Disl	kussion5	51
	5.1	Einfluss der Biokohleausbringung auf den Wachstums- und Entwicklungsverlauf b	ei
	Sojabo	ohnen5	51
	5.2	Einfluss der Biokohleausbringung auf Ertragsparameter und den Kornertrag be	
		ohnen5	
	5.3 Sojaho	Einfluss einer Biokohleausbringung auf ausgewählte Qualitätskriterien be	
	5.4		
_		Conclusio5	13
-	7.10	ammanfaceung	

7.	Literaturverzeichnis56
8.	Abbildungsverzeichnis59
9.	Tabellenverzeichnis:61

1. Einleitung, Problemstellung und Zielsetzung

1.1 Einleitung

Die Produktion von Nutzpflanzen stellt einen wesentlichen, für die Bereitstellung von Nahrungsmitteln sowie deren Ausgangsprodukten für die gesamte Bevölkerung, bedeutsamen Schwerpunkt in der Landwirtschaft dar. Pflanzen sind, ob in direkter Form, verarbeitet oder als Tierfutter die Grundlage für die menschliche Existenz. Darüber hinaus dienen sie der Bereitstellung von Energie, Erzeugung von Werkstoffen, als Heilmittel und vielen anderen Zwecken. Sie haben auch einen bedeutenden Einfluss auf die menschliche Umgebung als gestaltgebende Landschaftselemente sowie als Produzenten von Sauerstoff in der Atmosphäre im Rahmen der Photosynthese.

Anschließend an das Jäger- und Sammlertum entwickelte sich ab der Jungsteinzeit der Ackerbau, welcher mehr oder weniger einher ging mit der Niederlassung der Menschen an bestimmten Orten. Seit jeher war diese Wirtschaftsform dem Spiel der "Naturelemente" ausgesetzt. Konnte man in Urzeiten kaum Einfluss auf das Wachsen und Gedeihen der Nutzpflanzen nehmen, änderte sich dies mit der Zeit. Die dafür verwendeten Werkzeuge und damit verbundenen Produktionstechniken wurden stets verbessert. Vorerst änderte sich noch wenig bei der Versorgung der Pflanzen mit wesentlichen, für das Wachstum unabdingbaren Nährstoffen. Genauso wie in der gesamten Lebensweise der Menschen spielte auch hier der Beginn der Industrialisierung eine bedeutende Rolle. Um die Jahrhundertwende vom 19. zum 20. Jahrhundert setzte eine immer schneller werdende Entwicklung ein. Einerseits wurden Maschinen zur immer großflächigeren Bearbeitung der Äcker entwickelt, andererseits wurde es durch technische Erfindungen möglich, synthetisch produzierten Stickstoff-Dünger zu erzeugen. Diese Errungenschaften sind jedoch im Grunde genommen von einer einzigen Grundlage, nämlich der fossilen Energie abhängig. Jahrzehntelang wurden, ohne über deren Einsatz sowie die damit verbundenen Folgen nachzudenken, diese endlichen Vorräte genutzt. Gegen Ende des 20. Jahrhunderts wurde immer deutlicher, dass diese Praxis am bereits immer stärker sichtbaren Phänomen des Klimawandels beteiligt sein müsse. Um diesen Fortgang einzubremsen, sind Maßnahmen in vielen Bereichen notwendig, vor allem auch in der Landwirtschaft. Biokohle stellt in diesem Zusammenhang eine zukunftsträchtige und wertvolle Alternative zu herkömmlichen

Bodenverbesserungsmaßnahmen dar. Um sie breitflächig einsetzen zu können bedarf es noch vieler Arbeiten und Erkenntnisse.

Darüber hinaus steigt der Bedarf bei Sojabohne als Quelle wertvollen Proteins und Fetts in der Human- und Tierernährung. Einen Beitrag zur Erforschung der Wirksamkeit von Biokohle als Bodenverbesserer, speziell bei Sojabohnen, soll diese Arbeit leisten.

1.2 Problemstellung

Wie in der Einleitung angeführt, spielt die Pflanzenproduktion eine große Rolle in der heutigen Welt. Neben dem Klimawandel als reale existierende Herausforderung steigt durch das stetige Wachstum der Weltbevölkerung der Bedarf an Nahrungsmitteln bei gleichzeitig begrenzt verfügbarer Produktionsfläche. Eine wesentliche Herausforderung demgegenüber ist die Verminderung der natürlichen Bodenfruchtbarkeit auf vielen Ackerflächen weltweit.

Effizientere Produktionsmethoden in allen Hinsichten sind das Maß der Dinge in der zeitgemäßen Pflanzenproduktion. Umweltverträgliche Produktion durch effektiven Einsatz von Düngemitteln und Bodenbearbeitungsmaßnahmen sowie die Reduktion der damit verbundenen Emissionen sind ein wesentlicher Bestandteil. Die Erträge aufgrund des steigenden Bedarfs an Nahrungsmitteln gesteigert werden, stehen aber derzeit niedrigen Produktpreisen gegenüber. Der Einsatz von Biokohle ist ein möglicher Ansatz.

1.3 Zielsetzung

Das Ziel dieser Arbeit ist, den Einfluss zweier Arten von Biokohle auf die Pflanze, aber auch auf den Boden zu beurteilen. Da Versuche dieser Art bisher großteils unter Glas durchgeführt wurden und kaum im Freiland, soll der Exakt-Feldversuch praxisnahe Ergebnisse liefern.

Der Einsatz von Biokohle soll eine Erhöhung der natürlichen Bodenfruchtbarkeit und eine höhere CO₂— Speicherung bewirken sowie eine stabile Bodenstruktur aufgrund des höheren C_{org}— Gehaltes aufbauen.

Sowohl das Pflanzenwachstum als auch der Ertrag bezogen auf die Versorgung mit Nährstoffen bei Sojabohnen sind eine zentrale Frage. Auswirkungen auf ausgewählte Qualitätsparameter der Sojabohne, Wassergehalt des Bodens, Einfluss auf das Bodenleben, die Mikrofauna und das Wurzelwachstum stehen im Vordergrund dieser Untersuchungen. Auch die Besiedelung mit Rhizobien ist bedeutend. Die Wechselwirkung mit unterschiedlichen Ausbringmengen von Biokohlen in Kombination mit anderen Düngemitteln soll für die Kornertragshöhe sowie die Qualität der Samen der Sojapflanze beurteilt werden.

2. Ausgewählte Literatur

2.1 Definition der Biokohlen

Der Begriff "Biokohle" ist eine relativ junge Bezeichnung. Sie wird in Verbindung mit Bodenbewirtschaftung und Kohlenstoff-Sequestrierung verwendet und ist in erster Linie dazu gedacht, für bodenverbessernde Zwecke eingesetzt zu werden. Hierin ist auch das wesentliche Unterscheidungsmerkmal zur Holzkohle zu sehen, welche als Brennstoff, für Filterzwecke oder etwa als Färbemittel verwendet wird (LEHMANN and JOSEPH, 2009).

Biokohle entsteht durch thermische Abbauprozesse von organischen Materialien in sauerstoffarmer (durch das eingebrachte Material) oder vorzugsweise gänzlich in sauerstofffreier Umgebung auf Basis einer pyrolytischen Reaktion. Auf die Herstellung von Biokohle wird im Punkt 2.2 eingegangen (Sohl et al., 2009).

Der Ursprung landwirtschaftlicher Verwendung von Biokohle liegt mehr als 2000 Jahren zurück. Während Biokohle weltweit in Böden vorzufinden ist, welche entweder durch großflächige Brände oder anthropogene Praktiken im Ackerbau entstanden sind, galt das Interesse der Forschung in der jüngeren Vergangenheit speziell der im südamerikanischen Amazonas-Gebiet vorgefundenen "Terra Preta". Die portugiesische Bezeichnung für "schwarze Erde" wird für eine Mischung von Bio-/Holzkohle, Abfälle, Dung, Kompost, Knochen und andere Hausabfälle verwendet und soll die an sich nährstoffarmen Urwaldböden für eine ackerbauliche Bewirtschaftung auf längere Sicht tauglich machen. Unzählige Forschungsarbeiten der letzten Jahre in diesem Bereich belegen ein stark gestiegenes Interesse, nicht nur in der Wissenschaft. Auch bis in den Privathaushalt ist die

"Terra Preta" bereits vorgedrungen, für den Einsatz im Garten genauso wie für Thematisierung in Fernseh-Unterhaltungsproduktionen.

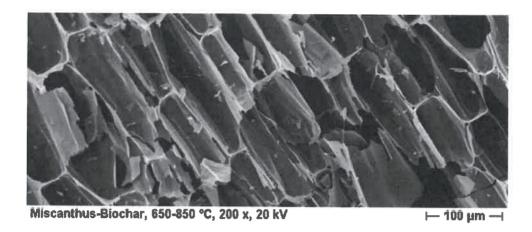


Abbildung 1: Miscanthus Biokohle – Mlkroskopaufnahme (Kaja Wiedner, Martin-Luther-Universität-Halle-Wittenberg, 2013)

2.1.1 HTC-Biokohle

Eine spezielle Form der Biokohle ist die durch "Hydrothermale Carbonisierung" (HTC) erzeugte Biokohle, welche neben der durch klassische Verkohlung gewonnenen und ebenfalls beschriebenen Biokohle verwendet wird – auch in der vorliegenden Arbeit. Das Verfahren der sogenannten "nassen Verkohlung" wurde 1913 vom Chemiker Friedrich BERGIUS erstmals erforscht und beschrieben, geriet jedoch für längere Zeit in Vergessenheit und wurde erst seit kurzem wieder Thema. Für seine Arbeiten in diesem Bereich erhielt er 1931 zusammen mit Carl BOSCH den Nobelpreis für Chemie für die Entdeckung und Entwicklung chemischer Hochdruckverfahren.

Die Herstellung von Biokohle wird im nächsten Absatz näher beschrieben. In Abb. 2 ist eine aus Stroh hergestellte HTC-Biokohle zu sehen, sowohl vor als auch nach der Verkohlung.



Abbildung 2: HTC Biokohle [b] und deren Ausgangsmaterial Stroh [a] (Karlsruher Institut für Technologie, 2014)

2.2 Biokohle – Herstellungsverfahren

2.2.1 Biokohle

Die kommerzielle Erzeugung von Biokohle findet in Reaktoren statt, welche mit unterschiedlicher Biomasse als Ausgangsmaterial gespeist werden. Dies können Rohstoffe pflanzlichen Ursprungs wie Holzhackschnitzel, land- und forstwirtschaftliche Ernterückstände, Grünschnitt oder auch Lebensmittelabfälle sein. Aber auch andere organische Reststoffe wie zum Beispiel feste Gärreste aus Biogasanlagen, Knochen, Schlachtabfälle, Wirtschaftsdünger, organische Industrierohstoffe oder Klärschlamm, bis hin zu Restprodukten der Biodieselerzeugung sind pyrolysierbar (Soja et al., 2012).



Abbildung 3: Pflanzliche Biokohle und deren Ausgangsmaterialien (Gerhard Soja, Austrian Institute of Technology, 2014)

Der Vorgang der Pyrolyse beschreibt die Zersetzung von organischer Substanz in (theoretischer) Abwesenheit von Sauerstoff. Pyrolyse entsteht spontan bei Temperaturen von 300 bis 1000 °C. Während dieses Prozesses durchläuft das eingesetzte Material eine Vielzahl von physikalischen, chemischen und molekularen Veränderungen. Verflüchtigungen während der Pyrolyse verursachen einen Massenverlust und führen zu Reduktion und Schrumpfen des Ausgangsmaterials, jedoch ohne große Änderungen an der ursprünglichen Struktur. Die Bezeichnung ist abgeleitet vom griechischen "pyr", was so viel wie Feuer und "lysis", was so viel wie Auflösung bedeutet. Im Extremfall bleibt bei einer Pyrolyse nur Kohlenstoff übrig – dieser Vorgang wird dann als Verkohlung bezeichnet. Üblicherweise liegen die Endprodukte in drei verschiedenen Aggregatzuständen vor, als Feststoffe, flüssig und gasförmig, in jeweils verschiedenen Verhältnissen, abhängig sowohl vom Ausgansmaterial als auch von den Umständen während der Pyrolyse. Die Prozessführung der Pyrolyse (vor allem Temperatur und Verweildauer) beeinflusst Ausbeute und Eigenschaften

der entstehenden Biokohlen. Aufgrund der großen Auswahl pyrolysierbarer Ausgangsprodukte können sich die produzierten Biokohlen in ihren Eigenschaften stark unterscheiden; daher variieren auch die jeweils optimalen Einsatzbereiche (VERHEIJEN et al., 2010; KLOSS et al., 2012; SOHI et al., 2009).

2.2.2 HTC-Biokohle

Die "Hydrothermale Carbonisierung" findet bei Temperaturen im Bereich von 180° C bis 250° C und Drücken von 10 bis 40 bar statt. Da dieser Prozess im wässrigen Medium stattfindet, eignet sich Biomasse mit hohem Wassergehalt besonders für dieses Verfahren. Ausgangsmaterialien dafür sind zum Beispiel Landschaftspflegematerial, Erntereste, Gärreste aus Biogasanlagen, Lebensmittelreste, Treber oder Klärschlamm und Fäkalien. Dabei zeichnet sich die deutliche Verbesserung der Entwässerungseigenschaften gegenüber der Ursprungssubstanz als wesentliche Eigenschaft der HTC aus (Buttmann, 2011).

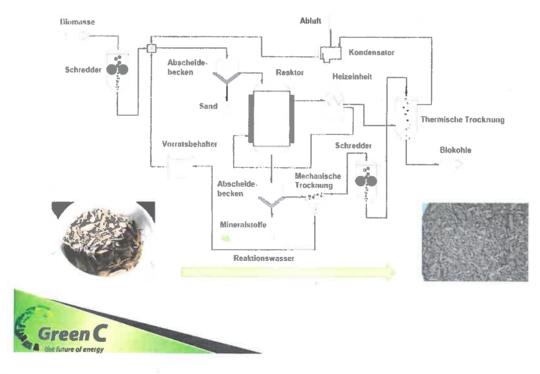


Abbildung 4: Verfahrensfließbild der Hydrothermalen Carbonisierung für die im Versuch eingesetzte HTC-Biokohle (Fa. Green C, 2013)

Während dieser Vorgang in der Natur einen Zeitraum von abertausenden bis Millionen von Jahren in Anspruch nimmt, kann durch das HTC-Verfahren dieser auf nur wenige Stunden reduziert werden.

2.3 Biokohle als Bodenverbesserer

KAMMANN et. al (2010) schreibt beim Einsatz von Biokohlen in Böden von positiven Effekten wie Ertragssteigerung, höherer Ertragsstabilität bei klimatischen Extremereignissen, einer verbesserten Nährstoff-Nutzungseffizienz, C-Sequestrierung und Verringerung der Treibhausgas-Emissionen aus Böden.

Bezüglich der Reduktion von Treibhausgas-Emissionen haben Messungen unter Glashausund Freilandbedingungen gezeigt, dass Biokohle die N₂O-Emissionen aus dem Boden zu
einem Drittel bis zur Hälfte reduzieren kann. Hingegen werden CO₂- und CH₄-Emissionen
nicht signifikant reduziert. Am deutlichsten waren die Reduktionen kurz nach N-Gaben.
Lachgas (N₂O) trägt 8% zu den globalen Treibhausgasemissionen bei. Landwirtschaftliche
Quellen sind dabei für ca. 60 % der vom Menschen verursachten N₂O Emissionen
verantwortlich. Der Großteil landwirtschaftlicher N₂O Emissionen stammt aus der
gesteigerten Anwendung von Dünger. Ein beträchtlicher Anteil von Stickstoffdüngern wird zu
N₂O durch mikrobiologische Prozesse wie Nitrifikation und Denitrifikation umgewandelt.
Analysen ergaben, dass durch die Zugabe von Biokohle sowohl die Zusammensetzung als
auch die Aktivität von Mikroorganismen im Boden verändert wird und somit die N₂O
Emissionen reduziert werden können (HARTER et al., 2011; SOJA et al., 2014).

Die Einarbeitung von Biokohle in den Boden kann sowohl die bodenphysikalischen Eigenschaften als auch die Textur, Struktur, die Porengröße sowie deren Verteilung und Dichte verändern. Weiters besteht eine Auswirkung auf die Bodendurchlüftung, Wasserspeicherkapazität, das Pflanzenwachstum und die Bodenbearbeitungsfähigkeit.

Durch die wesentlich niedrigere Schüttdichte von Biokohle gegenüber mineralischen Böden kann eine Anwendung der Biokohle zur Verringerung der Schüttdichte des gesamten Bodens beitragen. Bei Einbringung von Biokohle mit geringer mechanischer Festigkeit zerfällt diese relativ rasch in kleine Bestandteile, welche die vorhandenen Porenräume im Boden auffüllen, was zu einer Steigerung der trockenen Schüttdichte führt.

Relativ einfache Mechanismen führen zu möglichen Verbesserungen im Wasserhaltevermögen durch Biokohle. Einbringung von Biokohle kann sowohl direkte als auch indirekte Effekte auf das Wasserhaltvermögen im Boden haben, sowohl kurz- als auch langfristig. Die Bodenwasserspannung wird durch die Verteilung und Verbindungsfähigkeit der Poren im Bodengefüge bestimmt, welche zum großen Teil durch die Textur, kombiniert mit der Aggregation und der gelösten organischen Substanz im Boden reguliert wird (VERHEIJEN et al., 2010).

Bei sauren Böden wird durch die Alkalinität der Biokohle eine erwünschte Anhebung des pH-Werts erreicht. Darüber hinaus gibt es einen positiven Einfluss auf die Bodenfruchtbarkeit. Anthropogene Schadstoffe werden besser zurückgehalten, da durch Biokohle verstärkt reaktive Oberflächen und Bindungsstellen in den Boden eingebracht werden. Dadurch kann etwa zum Grundwasserschutz beitragen werden, indem die Verlagerung und Bioverfügbarkeit von Schwermetallen und Pestiziden bei durchlässigen Böden verringert wird.

Da die poröse Struktur der Biomasse auch nach der Pyrolyse erhalten bleibt, lassen sich bessere Bedingungen für Mikroorganismen sowie erhöhte mikrobielle Biomasse und Aktivität feststellen (Soja et al., 2012).

Auch das Verhältnis von Kohlenstoff zu Stickstoff (C:N) im Boden verbessert.

2.4 Biokohle: Boden-Pflanze Beziehung

Ein verbessertes Pflanzenwachstum als Folge erhöhter Bodenfruchtbarkeit durch Biokohle wurde auf vielen tropischen Standorten nachgewiesen und wird laut den Ergebnissen aktueller Feldversuche im Mittel mit etwa zehn Prozent angesetzt.

Die Ertragsfähigkeit von Böden hängt entscheidend von der pflanzenverfügbaren Wassermenge ab. Dies ist bei grundwasserfernen Standorten die nutzbare Feldkapazität im effektiven Wurzelraum (nFKWe). Organische Bodensubstanz kann die nFKWe positiv beeinflussen. In Untersuchungen zeigte sich eine Steigerung der nutzbaren Feldkapazität durch die Applikation von Biokohle und HTC-Biokohle in Abhängigkeit der Bodenart, des Humusgehalts der verwendeten Böden und der zugegebenen Menge an Kohle.

Beispielsweise besitzt durch Hochtemperatur-Pyrolyse produzierte Biokohle (> 550 °C) eine große Oberfläche (> 400 m²g⁻¹), was zu hoher Sorptionskapazität des Materials führt (ABEL et al., 2011; HARTER et al., 2013).

Der hohe Kohlenstoffgehalt von Biokohle, welcher bis zu 80 Prozent betragen kann, hat zur Folge, dass Stickstoff in wesentlich geringerem Anteil verfügbar ist. Somit ist ein kurzfristiger Stickstoffmangel bei Kulturpflanzen möglich, welcher durch andere Stickstoffquellen ausgeglichen werden muss. Während diese Funktion bei der Terra Preta die verschiedenen eingearbeiteten Abfällen übernehmen, verwendet man heute meist Mischungen aus Biokohle und Kompost (Soja et al., 2012).

2.5 Biokohle - Einfluss auf die Sojabohne

Die Auswirkung von Biokohle, - hergestellt aus Streu bei der Haltung japanischer Wachteln - auf Sojabohnen, wurde in einer thailändischen Studie erforscht. Der in dieser Studie verwendete sandige Boden wurde mit sechs verschiedenen Düngungsstufen von 4 t/ha bis 20 t/ha gedüngt. Dabei wies die zufällig von verschiedenen Farmen gewählte und anschließend bei 500°C verkohlte Streu durchwegs hohe Gehalte an den Schwermetallen Blei (Pb), Cadmium (Cd) und Quecksilber (Hg) im Vergleich zum Versuchsboden auf. Naturgemäß war dies auch im Anschluss an die Ausbringung im Boden feststellbar. Jedoch konnte keine signifikante Akkumulation dieser Schwermetalle weder in den Blättern noch in den Samen der Sojapflanzen nachgewiesen werden. Dies deutet auf die Fähigkeit von Biokohle hin, Schwermetalle im Boden zu immobilisieren (Suppadit et al., 2012).

SANVONG und NATHEWET (2013) erhielten im Experiment mit verschiedenen Anwendungsstufen von Biokohle bei Sojabohnen längere Stängeln, mehr Nodien, mehr Blattfläche und ein höheres Gewicht der getrockneten Stängel (signifikante Unterschiede gegenüber der Kontrollvariante). Die Blattfläche war über die gesamte Wachstumsdauer erkennbar höher. Ebenso zeigte die Anzahl der Hülsen und der Samen einen signifikanten Anstieg gegenüber der Vergleichsvariante. Jedoch zeigte sich, dass – wie auch in der oben genannten Studie – der Ertrag nicht bei der Variante mit der stärksten Biokohledüngung (20 t/ha) am höchsten war, sondern bei jener mit 15 t/ha. Wie von Suppadit et al. (2012)

vermutet wird, könnte dies an der Alkalinität der Biokohle liegen und am dadurch veränderten pH-Wert.

2.6 Sojabohne (Glycine max. [L.] Merr.)

GEISLER (1988) schreibt von der Sojabohne, dass sie die bedeutendste Leguminosenart in der Welterzeugung und im internationalen Handel ist.

Das Entstehungsgebiet wird im nordöstlichen Raum Chinas vermutet. Sicher jedoch wurde die Sojabohne dort bereits 1000 v. Chr. als Kulturpflanze genutzt. Doch erst zu Beginn des 18. Jahrhunderts wurde erstmals in Europa auf die Bedeutung dieser Kulturpflanze hingewiesen. Schließlich folgten Ende des 19. Jahrhunderts erste Versuche, die Sojabohne als landwirtschaftliche Kulturpflanze in Europa zu kultivieren. Anfang des 19. Jahrhunderts erreichte die Sojabohne die Vereinigten Staaten, gegen dessen Ende begann der Anbau in Brasilien. Hatte die Sojabohne in China, Korea, Japan und Südostasien bereits eine weite Verbreitung, wurde in Anbaugebieten außerhalb dieser Regionen erst mit Beginn des 20. Jahrhunderts dieser Kulturpflanze eine größere Bedeutung in der landwirtschaftlichen Produktion beigemessen.

In Österreich landete die Sojabohne erstmals 1873 bei der Wiener Weltausstellung. Prof. Friedrich HABERLANDT, erster Pflanzenbauprofessor der Universität für Bodenkultur Wien, machte zwischen 1875 und 1877 ausgedehnte Anbauversuche. Nach seinem Tod geriet die Sojabohne wieder in Vergessenheit und erst 1920 wurde in Niederösterreich die Züchtung aufgenommen. Durch sehr frühe Sorten ist der Sojaanbau inzwischen auch in klimatischen Randgebieten möglich. In Österreich wird der Anbau mittlerweile ausgehend von der bayerischen Grenze bis in das Kärntner Becken durchgeführt. Die Anbauschwerpunkte sind im Linzer Zentralraum und im Südburgenland zu finden. Sojabohnen besitzen vier Chromosomensätze, sind also tetraploid, 2n = 40. Die wilde Sojabohne (Glycine soja) dürfte die Wildform der heute kultivierten Art sein, die heute noch als Wildpflanze und Unkraut in China und Japan verbreitet ist. Kreuzungen werden oft an Feldrändern nachgewiesen. Ein Beispiel dafür ist Glycine gracilis, ein Hybrid zwischen Wild- und Kulturformen. Weitere Wildarten mit 40 oder 80 Chromosomen, teilweise perennierend, sind in Südostasien und im tropischen Australien verbreitet (Buerstmayr, 2013).

Die Sojabohne besitzt behaarte Sproßteile. Ihre Blüten sind weiß oder lila und dabei teils kleistogam (geschlossen), vor allem bei niedriger Temperatur. Daher sind Kreuzungen schwer durchführbar. Die Sojabohne ist selbstfertil, wobei Selbstbefruchtung vorherrscht. Die Hülsen sind 3 bis 4 cm lang und 8 bis 10 mm breit, borstig behaart und beinhalten 2 bis 3 runde Samen. Die Farbe der Samen variiert von grün, gelb, braun bis schwarz (BUERSTMAYR, 2013; GEISLER, 1988).

Die Sojabohne als Kurztagpflanze ist gegen die Tageslänge stark empfindlich. Dies führt zu erheblicher Verzögerung der Blühphase unter Langtagbedingungen. Aber auch für das Samenwachstum besteht eine positive Korrelation zum Kurztag. Das führt zu besonders hoher Abhängigkeit dieser Kulturart von der photoperiodischen Reaktion bezüglich ihrer Ertragsleistung.

Die Temperaturansprüche der Sojabohne sind generell hoch. So liegt das Temperaturminimum für die Keimung liegen bei 8 bis 10° C, aber auch während der Hauptvegetationszeit von Juli bis September ist eine warme Witterung Voraussetzung für eine ausreichende Ertragsleistung.

In ihrer Jugendentwicklung ist die Sojabohne ist relativ trockenheitsverträglich und kann daher Trockenperioden gut überstehen. Zur Zeit der Assimilateinlagerung in die Samen sollte allerdings eine ausreichende Wasserversorgung gewährleistet sein. Anschließend, während der Ausreife der Bohnen ist wiederum trockenes Wetter vom Vorteil.

Für den Anbau von Sojabohnen stehen Sorten verschiedener Reifegruppen zur Verfügung, welche die Vegetationsdauer der Sojabohnensorten in mehrere Gruppen unterscheidet. Beginnend mit extrem frühen Sorten (bzw. extrem kurzer Vegetationsdauer) als Reifegruppe 000 und geht über 00, 0 und I bis zur Gruppe X mit der längsten Vegetationsdauer. Die Sorten früherer Gruppen (I) benötigen 30 bis 40 Tage bis zur Blüte und knapp über 90 Tage bis zur Ernte. Sorten mit mittlerer Vegetationsdauer (Gruppe V) zeichnen sich durch eine Zeitspanne von ca. 45 Tagen bis zur Blüte und 120 Tagen bis zur Ernte aus. Sorten mit sehr langer Vegetationsdauer benötigen etwas über 60 Tage bis zur Blüte und fast 150 Tage bis zur Ernte. Die Vegetationsdauer der Sorten steht in einer negativen Korrelation zur Ertragsleistung (Geisler, 1988).

Vor dem Anbau von Sojabohnen ist eine sorgfältige Bodenbearbeitung mit tiefer Lockerung und entsprechend guter Vorbereitung des Saatbettes notwendig. Im Hinblick auf die epigäische Keimung der Sojabohne ist eine Aussaattiefe von 2 bis 3 cm anzustreben. Vor Ende April beziehungsweise Anfang Mai ist die Aussaat nicht zielführend.

Die Wurzeln werden vom spezifischen Bakterium *Rhizobium japonicum*, welches unter normalen Umständen die Pflanze unabhängig von ausgebrachtem Stickstoff macht, befallen. Da dieses Bakterium in Europa nicht ursprünglich im Boden vorhanden ist, muss es bereitgestellt werden.

In der aktuellen österreichischen beschreibenden Sortenliste finden sich 50 verschiedene Sorten, wobei mittlerweile bereits 0000 Sorten verfügbar sind (AGES, 2014; GEISLER, 1988; WEISS, 2000).

3. Material und Methode

3.1 Material

3.1.1 Standort

Der zugrundeliegende Feldversuch für diese Arbeit wurde im Jahr 2012 auf den Flächen der Versuchswirtschaft der Universität für Bodenkultur Wien in Groß Enzersdorf durchgeführt. Diese befinden sich ca. 20 km vom Hauptstandort der Universität entfernt in nordöstlicher Richtung, unweit der Stadtgrenze zu Wien, im sogenannten "Marchfeld" auf 155 m Seehöhe gelegen. Das Marchfeld hat etwa eine Größe von ca. 900 km² und gilt damit als die größte Ebene Österreichs. Die als "Kornkammer und Gemüsegarten Österreichs" bezeichnete Region ist mit einem durchschnittlichen Jahresniederschlag von 550 mm eines der trockensten Gebiete in Österreich (Weber, 2013).

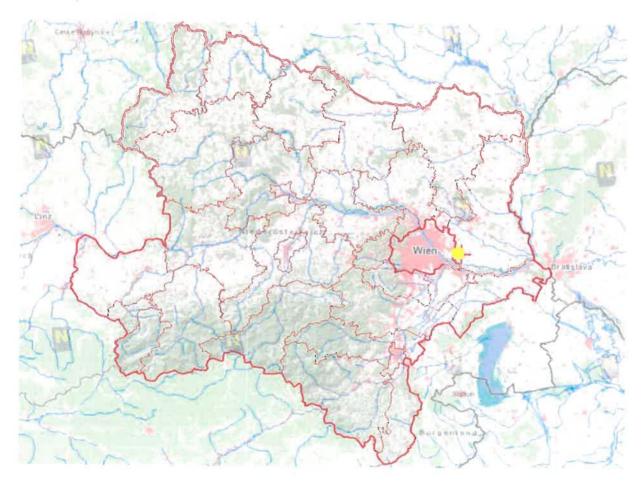


Abbildung 5: Niederösterreichkarte mit Lage des Versuchsstandort (Quelle: "(c) Land Niederösterreich, NÖ Atlas")

3.1.1.1 Klima und Witterung

Die Versuchsfläche auf dem Gelände Versuchswirtschaft Groß Enzersdorf befindet sich im sogenannten "Pannonischen Klima". Der Name für dieses Gebiet stammt von der pannonischen Provinz des römischen Reiches, welche in der Ausdehnung ungefähr der Größe dieser Klimaregion entsprach. Prägend für diese Klimaregion sind vor allem sehr wenig Niederschlag und sehr starke Unterschiede zwischen den Monaten Jänner und Juli. Darüber hinaus zeichnen sich Winde aufgrund der flachen und weit offenen Landschaft für Trockenheit im Sommer und relativ niedrige Temperaturen im Winter aus (WEBER, 2013).

In Abbildung 4 sind die Klimadaten, sowie die Werte des langjährigen Mittels von der Messstelle der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) in Groß Enzersdorf sowie die Daten für den Zeitraum von April bis Oktober 2012 von der Wetterstation nahe der Versuchsfläche in Raasdorf der Versuchswirtschaft Groß Enzersdorf, dargestellt. Der Verlauf der Temperatur des Langjährigen Mittels auf der Versuchsfläche wird durch die orange und violette Linie dargestellt. Die mittlere Jahrestemperatur im Jahr 2012 lag um 1,4 °C höher als im Mittel der Jahre 1971 bis 2000, in denen ein Wert von 9,8 °C erreicht wurde.

Die mittlere Jahrestemperatur 2012 betrug 11,2 °C. In der Vegetationsperiode der Sojabohnen im Versuch, während des Zeitraums von April bis September, war eine um mehr als 2 °C höhere Durchschnittstemperatur im Vergleich zum langjährigen Durchschnitt von 1971 bis 2000 zu verzeichnen. Ein außergewöhnliches Spätfrostereignis führte Mitte Mai nach einer sehr warmen und sehr trockenen Periode zu großen Schäden bei frostempfindlichen landwirtschaftlichen Kulturen. Dies war jedoch als Ausnahmeereignis zu werten.

Alle Monate im Vegetationszeitraum 2012 außer Juli verzeichneten unterdurchschnittliche Niederschlagsmengen, auch der Jahresniederschlag war mit 435 mm unter dem Durchschnitt des langjährigen Mittels von 520 mm und zeigt, dass das Jahr 2012 durch Trockenheit gekennzeichnet war. Auch im vorangegangen Herbst fiel äußerst wenig Niederschlag, so dass zum Saatzeitpunkt kaum Winterfeuchte im Boden war. Im Mai 2012, zum Zeitpunkt des Aufgangs der Sojapflanzen fiel mit nur knapp 10 mm weniger als ein Viertel des üblichen Monatsniederschlags. Während die Niederschläge im Juni und August ebenfalls unterdurchschnittlich ausfielen, zeigte der Juli mehr als die doppelte Niederschlagsmenge im Vergleich zum langjährigen Durchschnitt (BOKU, 2014; ZAMG, 2014).

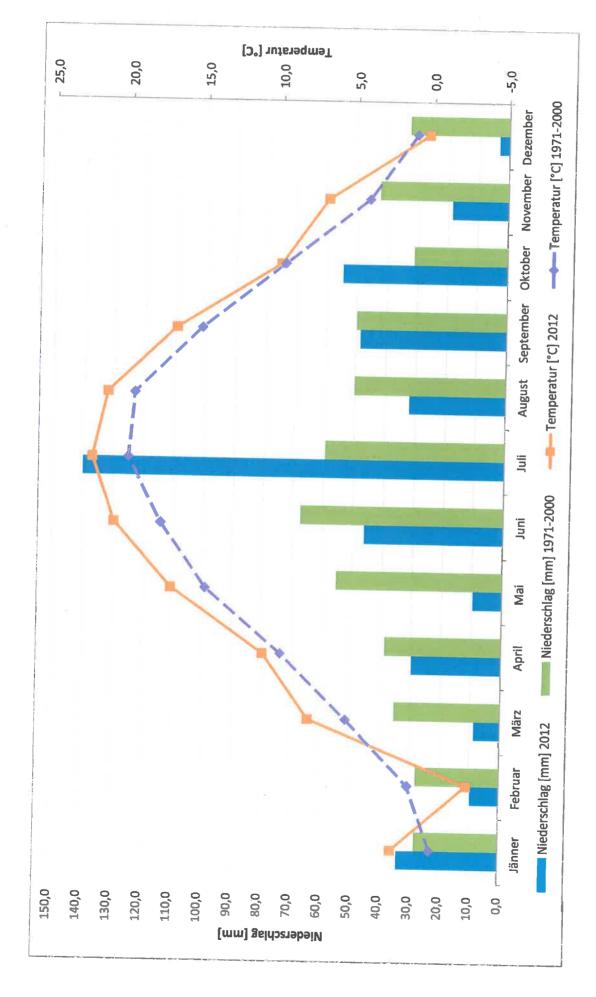


Abbildung 6: Klimadaten 2012, Versuchswirtschaft Groß Enzersdorf im Vergleich zum langjährigen Mittel

3.1.1.2 Boden

"Die Böden im Produktionsgebiet Marchfeld (ein Teil der Praterterrasse) und somit der Boden der Versuchsfläche sind überwiegend ein Tschernosem. Die Böden sind tiefgründig, mittelschwer und bestehen aus schluffigem Lehm. Allerdings ist zu erwähnen, dass die Tiefgründigkeit des Bodens aufgrund hoch anstehender Schotterlagen nicht gleichmäßig ist. Der A – Horizont reicht von 0 – 25 cm, hat eine graubraune Farbe und weist einen Humusgehalt von 2,5 bis 4,8 % auf. Von der Bodenreaktion her liegen die Böden der Versuchsfläche leicht (Versorgungsstufe D) im alkalischen Bereich (pH 7,5 – 7,6), sie sind hoch mit Phosphor, Kalium und Magnesium versorgt" (WEBER, 2013).

3.1.2 Versuchsaufbau und Faktoren

Der Versuch wurde als Split-Plot-Anlage mit 10 Faktoren und 3 Wiederholungen angelegt. Die Faktoren sind die jeweiligen Bodenbehandlungsmaßnahmen (Varianten).

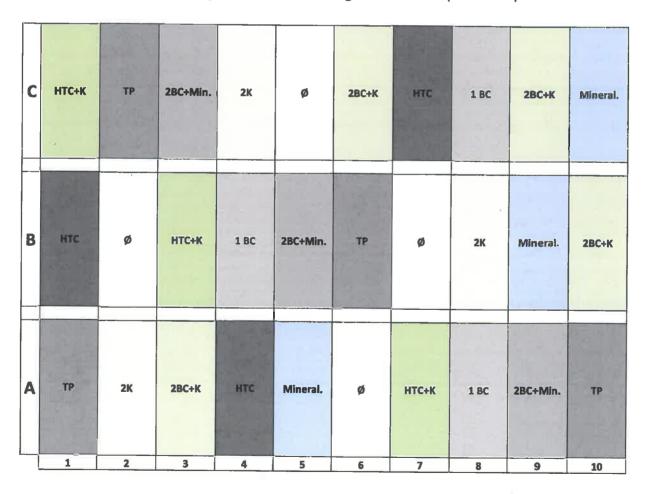


Abbildung 7: Versuchsanordnung des Soja – Biokohle Feldversuchs 2012, Versuchswirtschaft Groß Enzersdorf

Legende:

- HTC = Hydrothermal Carbonisierte Biokohle
- BC = Herkömmliche Biokohle (1 = 10 t/ha, 2 = 20 t/ha)
- K = Kompost
- Mineral. = Mineralische Düngung
- Ø = Nullparzelle
- TP = Terra Preta

Wie aus dem Design der Versuchsanlage ersichtlich ist, besteht diese aus insgesamt 30 Parzellen in 3 Wiederholungen. Jede Wiederholung beinhaltet 10 Einzelparzellen, welche von links aus gezählt werden. Die Maße der Einzelparzellen betragen 3 m in der Breite und 10 m in der Länge, woraus sich eine Fläche von je 30 m² ergibt, somit beträgt die Größe der Versuchsfläche im Gesamten 900 m². Zwischen den einzelnen Wiederholungen wurde jeweils ein Abstand von ca. 2,0 m gehalten, um keine Beeinflussung der einzelnen Varianten zu riskieren. Darüber hinaus blieb am linken und rechten Rand der Versuchsfläche sowie an der Vorderseite je eine Arbeitsbreite unbebaut. Nach Auflaufen der Sojapflanzen wurden diese Randflächen am 14. 06. 2012 mit einer Mantelreihe nachgesät, um etwaige Auswirkungen der Nachbarversuche zu unterbinden. Durch den späteren Saatzeitpunkt entwickelten sich diese Pflanzen relativ schnell und schlossen rasch zu den Versuchspflanzen auf. An der vierten Seite war das Versuchsgelände durch einen Zaun begrenzt. Da sich aber nach wenigen Wochen herausstellte, dass die Fläche von Kaninchen frequentiert wurde, welche möglicherweise einen Schaden an den Pflanzen anrichten würden, wurde die gesamte Versuchsfläche zusätzlich durch einen "hasendichten" Zaun eingefriedet.

Um die Sojabohnen, trotz relativ guter Toleranz gegenüber Trockenheit (siehe 2.6) zu schützen, wurde nach der Saat wegen der sehr geringen Niederschlagsmengen vier Wochen nach der Saat eine Rund-Beregnungsanlage mit je vier montierten Regnern, quer über die Versuchsfläche verlegt.

3.1.2.1 Ausbringung der Biokohle

Für den Versuch kamen zwei sehr unterschiedliche Typen von Biokohle zum Einsatz. Einerseits die ursprünglich für den Versuch vorgesehene, durch Hydrothermale Carbonisierung gewonnene HTC-Kohle, welche von der Firma "GreenC" aus dem Nordrhein-Westfälischen Heek in pelletierter Form geliefert wurde, andererseits die Biokohle aus Papierschlamm und Gerstenspelzen der Firma "Sonnenerde" aus dem Mittelburgenländischen Riedlingsdorf.

Die ursprünglich geplanten 10 t/ha Biokohle wurden auf 20 t/ha erhöht. Bei einem spezifischen Gewicht von ca. 0,32 kg/dm³ ergab dies eine Menge von 2 kg/m². Da der Wassergehalt der Biokohle nicht konstant ist bzw. aus brandschutztechnischen Gründen eine Befeuchtung stattfinden muss, ist eine Umrechnung in Liter notwendig. In der landwirtschaftlichen Praxis wird eine Gabe von 10 t/ha über 3 Jahre empfohlen.

Die Biokohle und bzw. der Kompost wurden am 8.5.2012 vor der Aussaat manuell laut Versuchsplan auf den Parzellen (Abbildung 6) oberflächig ausgebracht. Bereits zuvor wurden die abgesteckten Parzellen mit Kalk markierten. Anschließend wurde das ausgebrachte Substrat mit einer Kreiselegge in das bereits fertige Saatbett auf eine Tiefe von ca. 10 cm eingearbeitet, in welches die Sojabohnen am 14. 05. 2012 mit einer handelsüblichen Drillmaschine gesät wurden. Um ein durch den sehr trockenen und feinen Boden sowie den vorherrschenden Wind mögliches Verwehen der Biokohle zu verhindern, wurde die gesamte Versuchsfläche eine Stunde bewässert (ca. 4 mm).



Abbildung 8: Ausbringung der Biokohle auf den Versuchsparzellen, uneingearbeitet. 8.5.2012

3.1.2.2 Saatgut

Als Saatgut für die Versuchsfläche wurde die Sojabohnen-Sorte "Silvia PZO" verwendet, welche als violett blühende 00 Sorte in der Österreichischen Sortenliste geführt wird und nicht gentechnisch verändert ist. Sie ist eine spät reifende Sorte, welche nahezu an die Reifegruppe 0 grenzt, aber ein dementsprechend hohes Ertragspotenzial (ertragreichste Sorte in Österreich) und einen hohen Ölgehalt aufweist. Die von der RWA Raiffeisen Ware Austria AG unter der Marke "Die Saat" vertriebene Sorte wurde in Kanada an der University of Guelph gezüchtet und am 09. 03. 2012 erstmals in Österreich zugelassen. Die als Verzweigungstyp geführte Sorte wird als für alle österreichischen Anbaugebiete geeignet beschrieben und ist bereits mit Rhizobien saatfertig inokuliert. Das Tausendkorngewicht, der Proteingehalt und die Wuchshöhe werden als mittelhoch angegeben, bei guter Standfestigkeit. Das Samenkorn ist gelb gefärbt und besitzt einen dunklen Nabelfleck. Als Richtwert für die Aussaatstärke werden 60 Körner/m² empfohlen. Die Krankheitstoleranzen werden als gut ausgeprägt beschrieben. (AGES, 2014; DIE SAAT, 2014)

3.2 Methode

3.2.1 Entwicklungsverlauf der Kultur

Die Pflanzenzahl und der Entwicklungsstand der Pflanzen wurde insgesamt dreimal, am 30. 05. 2012, 04. 06. 2012 und am 08. 06. 2012 durch Zählung der Pflanzenanzahl von zwei nebeneinander, innerhalb der jeweiligen Parzelle gelegenen Reihen, bestimmt. Durch markieren mit Kunststoffstäben wurde ein leichtes Wiederauffinden dieser Reihen gesichert. Weiters wurde die Anzahl der Pflanzen mit bereits vorhandenen Laubblättern, und eventuelle Auffälligkeiten in der Entwicklung der Pflanzen beziehungsweise innerhalb der jeweiligen Parzelle festgehalten. Der Verlauf der Entwicklung der zweikeimblättrigen (dikotylen) Sojapflanzen, welche das Keimblattstadium verließen, wurde mit Erreichen des BBCH/EC-Stadiums 11 sowie nachfolgend gemessen. Das erste Mal wurde sechzehn Tage nach der Aussaat der Aufgang beurteilt.

Im BBCH/EC Makrostadium 6 wurde am 05. 07. 2012 die Anzahl der bereits geöffneten Blüten pro Pflanze ermittelt. Zusätzlich wurde der Unkrautbedeckungsgrad im Bestand geschätzt. Wegen der sehr klein ausgebildeten Blüten der Sojabohne musste mit großer Sorgfalt gearbeitet werden. An 9 Pflanzen pro Parzelle wurde der Blühfortschritt beurteilt. Mehrmals wurde der Besatz an Rhizobien geprüft.

3.2.2 Zwischenernte der Ganzpflanzen

Als Zwischenbeurteilung des Wachstumsverlaufs beziehungsweise zur Vorabschätzung des Ertragspotentials wurde am 06. 07. 2012 eine Zwischenernte durchgeführt. Zu diesem Zwecke wurden jeweils 8 Einzelpflanzen mitsamt der Wurzel ausgestochen. Die Wurzeln wurden durch Waschen von Erde befreit und anschließend wurde die Wuchshöhe der Einzelpflanzen in gestrecktem Zustand bestimmt. In diesem Zuge wurde weiters das Vorhandensein von Rhizobien (Knöllchenbakterien) an den Wurzeln beurteilt. Anschließend wurde der oberirdische Pflanzenteil von den Wurzeln getrennt. Das Gesamtgewicht der Einzelpflanzen als auch jenes der Wurzeln wurde im frischen Zustand ermittelt. Die somit aufgetrennten ober- und unterirdischen Pflanzenteile wurden schonend auf Gewichtskonstanz getrocknet und anschließend verwogen. Danach wurde die Biomasse vermahlen und einer CN-Analyse unterzogen.

3.2.3 Ernte und Ertrag

Die im September im reifen Zustand geernteten Sojabohnen wurden parzellenweise durch einen Windsichter im Steigrohrprinzip (Marke Damas) gereinigt und anschließend verwogen. Der bei einigen Parzellen auftretende sehr hohe Unkrautbesatz und den dadurch mitgeernteten Samen erhöhte den Aufwand (mehrmaliges Windsichten). Speziell der teilweise hohe Anteil an sehr kleinen Amaranthsamen und auch von sehr harten Bodenkrümeln – bedingt durch die Trockenheit vor der Ernte – erwies sich als problematisch. Das Windsichten wurde mit der Einstellung 12 bei der linken Klappe (bedeutet ganz geöffnet – voller Luftstrom) sowie der Einstellung 5 bei der rechten Klappe durchgeführt. Für den zugehörigen Vorschub wurde am Potentiometer die Einstellung bei 95 gewählt.



Abbildung 9: Steigrohr- Windsichter

Anschließend wurde mit Hilfe eines Zählgeräts das Tausendkorngewicht (TKG) für jede Probe einzeln bestimmt.

Der Ertrag wurde zuerst in g/m² erfasst und zur besseren Interpretation beziehungsweise Vergleichbarkeit in kg/ha umgerechnet.

In weiterer Folge wurden aus jeder Parzelle die Pflanzen von einem Quadratmeter - ca. 50 bis 90 aufeinanderfolgende Pflanzen bei Vollreife mit den Wurzeln händisch gezogen und nach den ausgewählten Kriterien beprobt:

- Parzellengewicht [g]
- Hülsengewicht [g]
- Korngewicht [g]
- Reststrohgewicht [g]
- Anzahl der hülsentragenden Pflanzen
- Wuchshöhe [cm]
- Anzahl der hülsentragenden Verzweigungen
- Anzahl der Hülsen mit ≤ 2 Sojabohnen
- Anzahl der Hülsen mit ≥ 2 Sojabohnen

3.2.4 Qualitätskriterien Korn

Mittels Nah-Infrarot-Reflexions-Spektroskopie (NIRS) wurden die Sojabohnen im Department eigenen Labor in Tulln bezüglich des Öl-, Protein- und Zuckergehalts (Saccharose) analysiert. NIRS dient im Bereich der Nahrungs- und Futtermittel zum Beispiel zur Bestimmung von Inhaltsstoffen wie Öl, Protein, Stärke, Rohfaser und Feuchtigkeit. Bei dieser weitverbreiteten physikalischen Analysemethode zur qualitativen und quantitativen Analyse von Inhaltsstoffen wird Licht in einem Wellenbereich von ca. 800 bis 2500 nm von organischen Verbindungen absorbiert und reflektiert, so dass für jeden Inhaltsstoff spezifische Spektren an Absorptionsbanden entstehen. Die Öl-, Protein- und Zuckergehalte werden dann mit linearer Regression und dem Inhaltsstoff entsprechender Kalibrierung ermittelt.

Vor der Messung wurden die Proben fein vermahlen, da unterschiedliche Oberflächen, Textureigenschaften, Korngrößen oder Kornhärten von großkörnigen Untersuchungsproben wie Sojabohnen das Messergebnis beeinflussen können. Hingegen trifft dies nicht auf kleinkörnige Proben wie Raps, Mohn, Amaranth und ähnlichen zu (Buback und Vögele, 1993; Wandl, 2004).

Der Öl- und Proteingehalt wird in g/kg Trockenmasse angegeben, jener für Saccharose in g/100g.

3.2.5 Bodenbeprobungen

Bereits bei der Anlage des Versuchs und noch vor der Aussaat wurde eine N_{min} Beprobung am 10. 05. 2012 durchgeführt. Insgesamt wurden vier Proben aus den Kontrollparzellen aus einer Tiefe von 0 bis 30 cm, 30 bis 60 cm und 60 bis 90 cm entnommen. Bei einer weiteren, umfangreicheren N_{min} Beprobung am 30. 08. 2012 wurden die Proben aus der ersten Wiederholung gezogen, mit Ausnahme der mineralisch gedüngten Variante. Dabei wurden ebenso jeweils aus den Horizonten 0-15 cm, 15-30 cm und 30-60 cm Bodentiefe Proben entnommen. Der Umfang einer Bodenprobe betrug mindestens 500 g. Diese Menge wurde durch zehn verschiedene Einstiche pro Parzelle mit einem sogenannten Pürckhauer-Bohrstock erzielt. Durch den zu diesem Zeitpunkt stark ausgetrockneten (Ober-)Boden erwies sich dies als nicht sehr einfach, trotz maschineller Unterstützung. Hierzu wurde ein durch einen benzingetriebenen Generator gespeister Elektro-Bohrhammer eingesetzt.

Die Proben wurden nach Zwischenlagerung in einer Kühlbox umgehend in das am Gelände der Versuchsanstalt untergebrachte Labor transportiert und im Tiefkühlschrank bis zur vor Ort stattfindenden Untersuchung gelagert. Sämtliche dabei verwendete Geräte sind in der Abbildung Nr. 10 zu sehen.



Abbildung 10: Ausrüstung zur Entnahme der Bodenproben

3.3 Mathematisch statistische Verrechnung ausgewählter Daten

Die Daten wurden mittels einer Varianzanalyse beurteilt. Als Ausgangshypothese H₀ wurde angenommen, dass die verschiedenen Bodenbehandlungsmaßnahmen keinen Einfluss auf die jeweils gemessenen Parameter haben.

Die statistischen Auswertungen erfolgten mit dem Programm R Statistical package for Windows (i86 3.0.2). Es wurden paarweise T-Tests durchgeführt und Korrelationskoeffizienten nach Pearson berechnet. Sämtliche Daten repräsentieren dabei den Mittelwert aller drei Wiederholungen.

Die Mittelwerte werden in der einfaktoriellen ANOVA miteinander verglichen. Zusätzlich werden für die Mittelwerte jeweils ein 95 %-Konfidenzintervall angegeben. Dies sind die Bereiche, in denen der jeweilige Mittelwert der Grundgesamtheit mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 % liegt.

Die Irrtumswahrscheinlichkeit bei der Varianzanalyse ist gekennzeichnet:

- *** hoch signifikant bei ≤ 0,1 % Irrtumswahrscheinlichkeit
- ** signifikant bei ≤ 1 % Irrtumswahrscheinlichkeit
- * signifikant bei ≤ 5 % Irrtumswahrscheinlichkeit
- signifikant bei ≤ 10 % Irrtumswahrscheinlichkeit
- n.s. nicht signifikant (d.h. die Differenzen beruhen auf Zufall)

Die Erstellung der einzelnen Diagramme erfolgte mit dem Tabellenkalkulationsprogramm Microsoft Excel 2010.

4. Ausgewählte Ergebnisse

Die angeführten Ergebnisse beziehen sich auf den Verlauf des N_{min}-Gehaltes im Boden, den Wachstums- und Entwicklungsverlauf, den Ertrag und auf ausgewählte Qualitätskriterien bei der Sojabohne.

4.1 N_{min}-Gehalt im Boden

Im Bodenuntersuchungsergebnis vor der Aussaat der Sojabohne am 10. 05. 2012 gab es eine mineralisierte Nitrat(NO₃)-Stickstoffmenge im Oberboden (0 bis 30 cm Bodentiefe) in der Höhe von 222,15 kg/ha, im Unterboden von 30 bis 60 cm Bodentiefe waren es 195,7 kg/ha und in der Bodentiefe von 60 bis 90 cm 54,24 kg/ha Nitrat N.

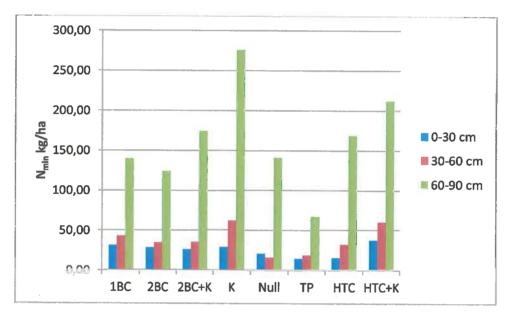


Abbildung 11: N_{min}-Gehalt bei unterschiedlichen Bodenbehandlungsmaßnahmen, 30.8.2012

Bei der zweiten variantenbezogenen Beprobung (Abb. 11) am 30. 8. 2012 wurde im Oberboden von 0 bis 30 cm Bodentiefe der höchste Nitrat-N Gehalt mit 37,94 kg/ha in der HTC+K Parzelle ermittelt, gefolgt von den Varianten 1BC, K, 2BC und 2BC+K, welche über oder geringfügig unter 30 kg/ha NO₃N aufwiesen. Den geringsten Wert ergaben mit 14,51 und 15,68 kg/ha NO₃N die TP und die HTC Variante.

In der Bodentiefe von 30 bis 60 cm lagen die Varianten HTC+K und Kompost mit 60,59 und 62,69 kg/ha NO₃N über dem Mittel der Varianten 1BC, 2BC+K, 2BC und HTC im Bereich von 32,52 bis 42,93 kg/ha NO₃N. Die geringsten Nitrat-N Mengen gab es bei den TP Varianten mit 18,80 kg/ha NO₃N noch vor der Nullparzelle mit 15,63 kg/ha NO₃N.

Im Horizont von 60 bis 90 cm Bodentiefe wies die Kompost Variante mit 276,13 kg/ha NO₃N mit deutlichem Abstand den höchsten Wert auf. Es folgten die mit Kompost vermengten Varianten HTC+K sowie 2BC+K mit 212,47 und 174,45 kg/ha NO₃N. Nachfolgend die Variante HTC, gefolgt von der Nullparzelle und 1BC sowie der Variante 2BC. Den niedrigsten Wert mit 67,18 kg/ha NO₃N wies wieder die Variante Terra Preta auf.

4.2 Wachstums- und Entwicklungsverlauf des Sojabohnenbestandes

Durch die extrem geringen Niederschlagsmengen ab der Saat am 14. 05. 2012 mit Ausnahme des Monats Juli kam es zu länger andauernden Trockenperioden, und diese waren die Ursache des fehlenden Besatzes mit Rhizobien.

4.2.1 Wuchshöhe

Diese Trockenbedingungen waren auch Ursache, dass vom Feldaufgang beginnend, Unterschiede im Wachstumsverlauf zwischen den Varianten vorlagen. Bei einzelnen Pflanzen gab es abgefressene Blätter (Abb. 11) und es kam auch zu einer Verunkrautung durch Ackerwinde (Abb. 12). Darüber hinaus gab es im Bereich zwischen der zweiten und dritten Wiederholung, bei der ersten Parzelle, eine starke Verschlämmung mit anschließender Verkrustung des Bodens. Dies führte im weiteren Verlauf zu einer Beeinträchtigung des Wachstums. Einzelne Pflanzenreihen wurden durch die Verschlämmung, aber im Besonderen durch Fraßschäden (Abb. 11) beeinträchtigt. Zwischen den Varianten bzw. Wiederholungen gab es keinen Trend in der Schädigung.

Bei der ersten Blatt-Bonitur am 30. 05. 2012 gab es im Bestand bei ca. 15 bis 35 % der Pflanzen ausgebildete Blätter.

Bei der zweiten Blatt-Bonitur, fünf Tage später (04. 06. 2012), war in der ersten Wiederholung ein stärkeres Wachstum bei den Pflanzen festzustellen. 40 bis 50 % der Pflanzen wiesen voll entwickelte Blätter auf.

Bei der abschließenden Blatt-Bonitur, vier Tage darauf am 08. 06. 2014, wurde die Anzahl der Pflanzen mit Spross und Laubblättern in der ersten Wiederholung auf ca. 60 bis 70 % geschätzt. Die dritte Wiederholung wies hingegen im Mittel nur etwa 35 bis 55 % normal entwickelte Pflanzen auf.



Abbildung 12: Fraßschäden an Jungpflanzen am 8.6.2012

Ab Blühbeginn (Anfang Juli) gab es bereits eine wachstumsbeeinflussende Verunkrautung. In der ersten Wiederholung waren die drei Varianten TP und 1BC mit ca. 30 % sowie 2BC+M mit knapp der Hälfte (bezogen auf den Bodenbedeckungsgrad) verunkrautet. Nur die Varianten 2BC+K und HTC (teilweise) in der ersten und HTC+K in der zweiten Wiederholung wurden händisch gehackt, der Unkrautbedeckungsgrad lag auf diesen Parzellen daher nur zwischen 5 bis 15 %. Der geringste Unkrautdruck wurde in der Nullparzelle mit 5 % Bedeckungsgrad festgestellt.

In der zweiten Wiederholung lag der Unkrautbedeckungsgrad im Mittel zwischen 10 und 20 %. Die Variante 2K mit 45 % und die mineralisch gedüngte Variante mit 50 % lagen weit darüber. Ungleichmäßig in der Verunkrautung präsentierte sich die dritte Wiederholung. Der Bedeckungsgrad lag bei 5 bis 60 % Die Nullparzelle mit < 5 % neben der 2BC+K Variante mit 5 % war nahezu unkrautfrei. Der verschlämmte und lückenhafte Bestand der mineralischen Variante war mit 15 %, die Bestände der 2K sowie 2BC+M mit 20 % Unkraut bedeckt. Alle übrigen Parzellen (HTC, HTC+K, TP und 1BC) wiesen eine Verunkrautung zwischen 40 und 60 % auf.



Abbildung 13: Beginnende Verunkrautung am 8.6.2012

Eine sehr unterschiedliche Wuchshöhe wiesen die Pflanzen bei der Zwischenernte am 06. 07. 2012 auf (Abb. 14). Hier ist ersichtlich, dass die Bodenbehandlung mit HTC-Biokohle den höchsten (37.69 cm) und die Düngung mit TP den niedrigsten Mittelwert (25.31 cm) der Wuchshöhe ergab.

Die Wuchshöhe (Signifikanz des F-Wertes <0.0001) war hoch signifikant unterschiedlich. Die Art der Düngung ergab einen gesicherten Unterschied in der Wuchshöhe.

Tab.1: Varianzanalyse über die Auswirkung unterschledlicher Bodenbehandlungsmaßnahmen auf die Wuchshöhe der Sojapflanzen am 6.7.2012

Effekt	Zähler	F-Statistik	Pr > F
	Freiheitsgrade		
Wuchshöhe	8	8.471	<.0001 ***

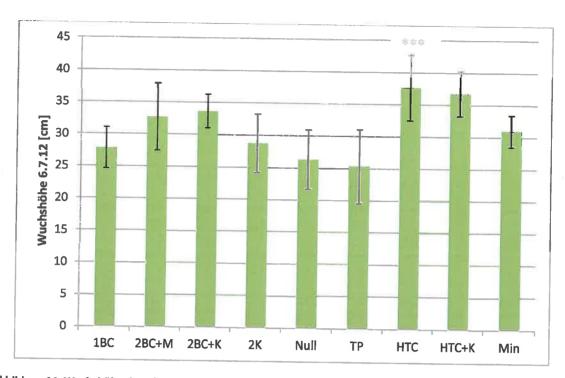


Abbildung 14: Wuchshöhe der Pflanzen in cm bei unterschiedlichen Bodenbehandlungsmaßnahmen am 06. 07. 2012

Bei den erntereifen Pflanzen war die Wuchshöhe differenzierter. Die mineralisch gedüngte Variante wies mit 57.72 cm hoch signifikant längere Pflanzen als die übrigen Varianten auf. Sämtliche Varianten, mit Ausnahme der beiden HTC Parzellen mit 51.76 cm (HTC) und 52.34 cm (HTC+K), wiesen kürzere Wuchslängen auf, sie unterschieden sich daher nicht signifikant.

Tabelle 2: Varianzanalyse bezüglich Einfluss der unterschiedlichen Bodenbehandlungsmaßnahmen auf die Wuchshöhe der Sojapflanzen bei der Ernte

Effekt	Zähler	F-Statistik	Pr > F	
	Freiheitsgrade			
Wuchshöhe	7	9,312	>.0001 ***	

Tabelle 3: Pearsonsche Korrelationskoeffizienten der Wuchshöhe der Sojapflanzen im reifen Zustand bei unterschiedlichen Bodenbehandlungsmaßnahmen

2BC	1BC 0.03980	2BC	2BC+K	Null	K	TP	HTC	HTC+K
2BC+K	0.26015	0.45998						
Null	0.05993	3.9e-06	0.00204					
K	0.64303	0.08723	0.45287	0.00926				
TP	0.68559	0.01119	0.12583	0.14837	0.36642			
HTC	0.00111	1.4e-08	1.8e-05	0.06195	7.8e-05	0.00379		
HTC+K	0.40586	0.23818	0.73235	0.00386	0.67690	0.20965	3.2e-05	
MIN	0.00015	0.02745	0.00945	1.0e-09	0.00033	2.3e-05	3.7e-12	0.00220

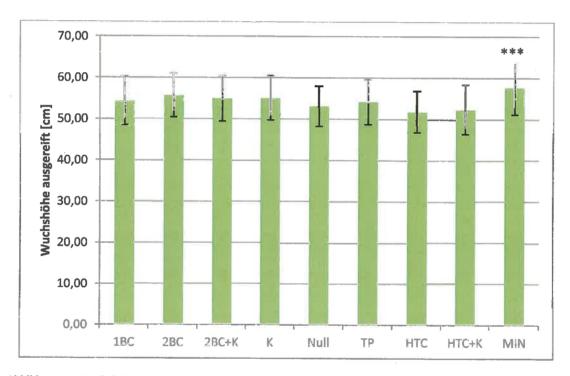


Abbildung 15: Wuchshöhe der erntereifen Pflanzen bei unterschiedlichen Bodenbehandlungsmaßnahmen, Ernte September 2012

4.2.2 Blühverlauf

Die höchste Anzahl der geöffneten Blüten je Pflanze wies am 06. 07. 2012 die Variante HTC+K mit im Mittel 3.96, gefolgt von den Varianten 1BC mit 3.70 und HTC mit 3.48 auf. Geringfügig darunter, aber relativ dicht beieinander lagen die TP mit 3.39 sowie 2K mit 3.37, gefolgt von K mit 3.37 und 2BC mit 3.26. Am unteren Ende lagen die Pflanzen der Nullparzelle mit 3.03 und die mineralisch gedüngte Variante mit 2.89 Blüten je Pflanze.

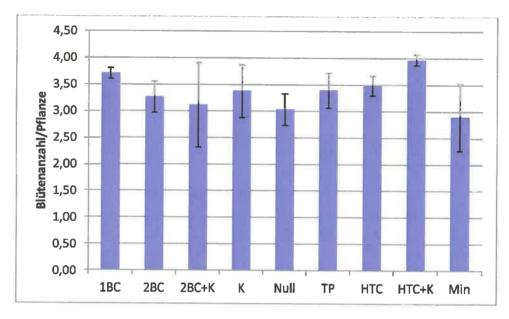


Abbildung 16: Durchschnittliche Blütenzahl/Pflanze bei unterschiedlichen Bodenbehandlungsmaßnahmen am 05. 07. 2012

4.2.3 Ganzpflanzen Trockenmasse

Das variantenbezogene, unterschiedliche Wachstum zeigte sich bereits Anfang Juli bei der Zwischenernte in der Trockenmassemenge.

4.2.3.1 Gesamtpflanzen Trockenmasse - Zwischenernte

Die Frischpflanzenmasse wurde auf Gewichtskonstanz getrocknet und ergab einen ähnlichen Verlauf wie die Wuchshöhe der Pflanzen. Die höchste Biomassemenge wurde bei den HTC Pflanzen mit 89.1 g/Pflanze erreicht, gefolgt von HTC+K mit 75.5 g und nahezu gleichauf mit 2BC+K mit 75.2 g, nachfolgend die Pflanzen der 2BC+M Variante mit 72.0 g. Die übrigen Varianten wiesen ein um ein Viertel geringeres Trockenmassegewicht auf. Der Trend bei Frisch- und Trockenmasse in den Varianten blieb erhalten.

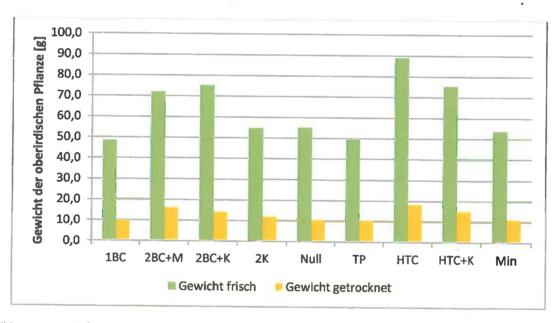


Abbildung 17: Frisch-/Trockenmasse in g/Pflanze bei unterschiedlichen Bodenbehandlungsmaßnahmen am 06. 07. 2012 (Zwischenernte)

4.2.3.2 Gesamtpflanzen Trockenmasse bei der Reife

Bei der gesamten, oberirdischen Biomasse (Trockenmasse/Pflanze) im trockenen Zustand ergab sich erst bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 10 % ein signifikanter Unterschied. Die mineralisch gedüngte Variante erreichte mit 692.9 g/m² den höchsten Wert (Abb. 18). Die zugehörigen statistischen Zusammenhänge sind in Tab. 10 und 11 angeführt.

Tabelle 4: Varianzanalyse bezüglich der Auswirkung der unterschiedlichen Bodenbehandlungsmaßnahmen auf die oberirdische Biomasse im reifen Zustand

Effekt	Zähler	Summe der	Mittlere	F-Statistik	Pr > F
	Freiheitsgrade	Quadrate	quadratische		
			Abweichung		
Biomasse	8	43362	5420.2	2.2838	0.06669 .
Residuen	19	45094	2373.4		

Tabelle 5: Pearsonsche Korrelationskoeffizienten der oberirdischen Biomasse im reifen Zustand bei unterschiedlichen Bodenbehandlungsmaßnahmen

	1BC	2BC	2BC+K	Null	K	TP	нтс	HTC+K
2BC	0.2065							
2BC+K	0.6649	0.3963						
Null	0.2589	0.8173	0.4963					
K	0.6426	0.4134	0.9751	0.5173				
TP	0.3004	0.8104	0.5396	0.9797	0.5601			
HTC	0.5187	0.5233	0.8300	0.6501	0.8544	0.6885		
HTC+K	0.0466	0.4222	0.1077	0.2803	0.1140	0.3008	0.1577	
MIN	0.0023	0.0393	0.0061	0.0176	0.0066	0.0238	0.0099	0.1798

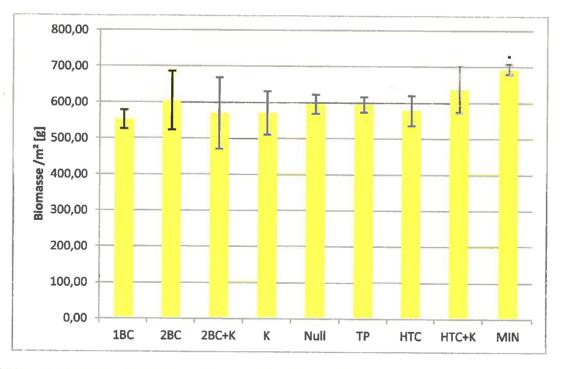


Abbildung 18: Oberirdische Biomasse in g/m² bei unterschiedlichen Bodenbehandlungsmaßnahmen, Ernte September 2012

4.3 Ertragsparameter und Kornertrag

Die durch die Verschlämmung beeinträchtigten Parzellen wurden in der statistischen Auswertung der Ergebnisse herausgenommen.

4.3.1 Pflanzenanzahl

Die höchste Pflanzenzahl mit 53.67/m² wurde bei der Variante Terra Preta erreicht, gefolgt von der Variante 2BC mit 52.71 Pflanzen/m². Die Unterschiede zwischen den Varianten waren statistisch nicht signifikant.

Tabelle 6: Varianzanalyse bezüglich der Auswirkung der unterschiedlichen Bodenbehandlungsmaßnahmen auf die Anzahl der Sojapflanzen im reifen Zustand

Effekt	Zähler Summe der		Mittlere	F-Statistik	Pr > F
	Freiheitsgrade	Quadrate	quadratische		
			Abweichung		
Pflanzenanzahl	8	207.9	25.98	1.072	0.431 n.s.
Residuen	15	363.7	24.24		

Tabelle 7: Pearsonsche Korrelationskoeffizienten der Anzahl der Sojapflanzen im reifen Zustand bei unterschiedlichen Bodenbehandlungsmaßnahmen

	1BC	2BC	2BC+K	Null	K	TP	HTC	HTC+K
2BC	0.605							
2BC+K	0.242	0.082						
Null	0.848	0.407	0.244					
K	0.210	0.058	0.981	0.199				
TP	0.596	0.949	0.099	0.425	0.076			
HTC	0.716	0.863	0.109	0.516	0.080	0.827		
HTC+K	0.955	0.522	0.221	0.881	0.182	0.525	0.639	
MIN	0.974	0.630	0.230	0.818	0.198	0.619	0.743	0.926

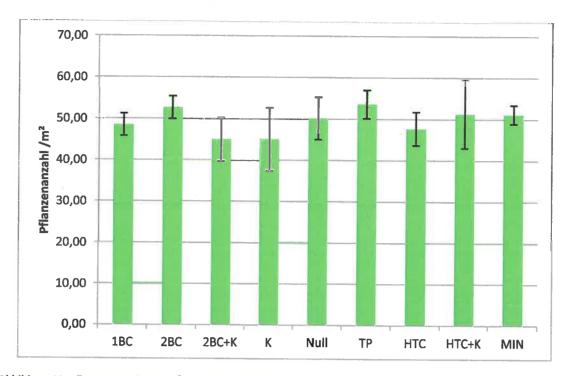


Abbildung 19: Pflanzenanzahl pro m² bei unterschiedlichen Bodenbehandlungsmaßnahmen, Ernte September 2012

4.3.2 Hülsenzahl pro Pflanze

Wie bei der Pflanzenanzahl/m² gab es auch bei der Hülsenzahl/Pflanze keine signifikanten Unterschiede zwischen den Bodenbehandlungsmaßnahmen. Die durchschnittliche Hülsenzahl/Pflanze mit bis zu zwei Bohnen lag zwischen 11.05 bei Terra Preta und 12.35 bei der mineralisch gedüngten Variante. Die Streuung war hoch. Etwas größer, aber ebenso nicht signifikant unterschiedlich, waren die Werte bei den Hülsen mit drei und mehr Bohnen/Hülse. Der Bereich lag zwischen 4.22 Hülsen bei der HTC Variante und 5.45 bei der Nullparzelle. Die Streuung war bei den Hülsen mit bis zu zwei Bohnen und mehr als zwei Bohnen gleich hoch.

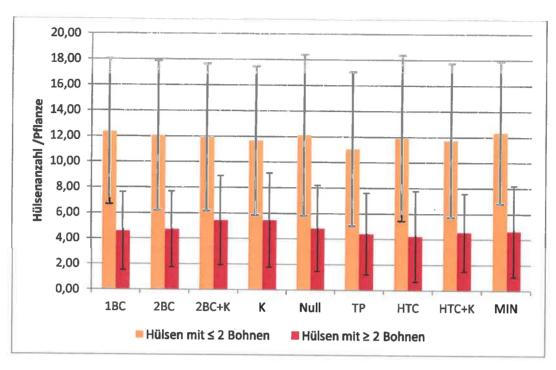


Abbildung 20: Hülsenanzahl bei unterschiedlichen Bodenbehandlungsmaßnahmen, Ernte September 2012

4.3.3 Kornanzahl pro Sojapflanze

Auch bei der Anzahl der Körner pro Pflanze ergaben sich keine statistisch signifikanten Unterschiede (Tab. 6). Mit 40.08 Körnern im Mittel wurde bei den Varianten 2BC+K die höchste Zahl erreicht. Die wenigsten Körner pro Pflanze mit 35.31 ergaben die Varianten HTC und Terra Preta.

Tabelle 8: Varianzanalyse bezüglich der Auswirkung der unterschiedlichen Bodenbehandlungsmaßnahmen auf die Kornzahl pro Sojapflanze im ausgereiften Zustand

Effekt	Zähler	F-Statistik	Pr > F
	Freiheitsgrade		
Kornanzahl	8	0.957	0.468 n.s.

Tabelle 9: Pearsonsche Korrelationskoeffizienten der Kornzahl pro Sojapflanze im reifen Zustand bei unterschiedlichen Bodenbehandlungsmaßnahmen

	1BC	2BC	2BC+K	Null	K	TP	нтс	HTC+K
2BC	0.94							
2BC+K	0.58	0.63						
Null	0.91	0.98	0.63					
K	0.67	0.73	0.90	0.73				
TP	0.33	0.30	0.14	0.25	0.17			
HTC	0.33	0.30	0.14	0.25	0.17	1.00		
HTC+K	0.70	0.64	0.35	0.60	0.42	0.55	0.55	
MIN	0.94	1.00	0.64	0.98	0.73	0.29	0.29	0.64

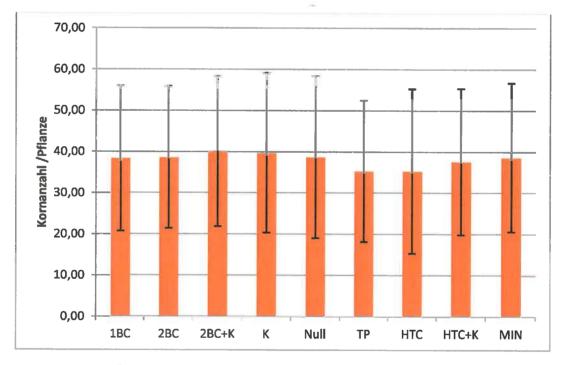


Abbildung 21: Kornzahl/Pflanze bei unterschiedlichen Bodenbehandlungsmaßnahmen, Ernte September 2012

4.3.4 Tausendkorngewicht der Sojabohne

Die Unterschiede im Tausendkorngewicht zwischen den Varianten waren sehr gering. Den höchsten Wert mit 179.6 g erzielte die mineralisch gedüngte Variante und den niedrigsten mit 168.75 g die 2BC+K Variante. Die Streuung im Vergleich zu allen anderen Varianten war hoch (16,1 %) (Abb. 21).

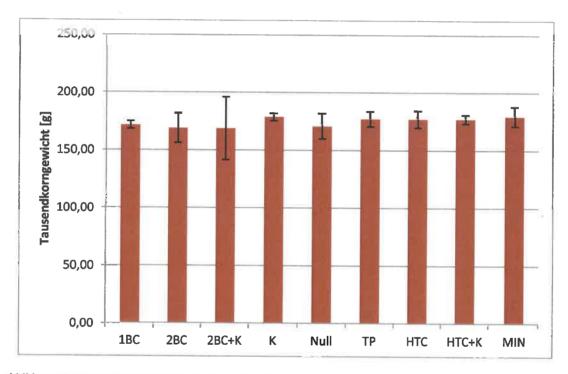


Abbildung 22: Tausendkorngewicht bei unterschiedlichen Bodenbehandlungsmaßnahmen, Ernte September 2012

4.3.5 Sojabohne-Kornertrag

Der Kornertrag muss aufgrund der hohen Erntefeuchte vergleichbar gemacht werden, daher wurden die Werte auf 15 % Kornfeuchte standardisiert. Den Maximalertrag ergab die mineralisch gedüngte Variante mit 3.511 kg/ha, welche sich signifikant von den übrigen Varianten unterschied (Tab. 9). Den zweithöchsten Ertrag ergab die Variante HTC+K bei 3.257 kg/ha. Die übrigen Varianten lagen mit Ausnahme der Nullparzellen (3.054 kg) knapp unter 3.000 kg/ha.

Tabelle 10: Varianzanalyse bezüglich der Auswirkung der unterschiedlichen Bodenbehandlungsmaßnahmen auf den Kornertrag im reifen Zustand

Effekt	Zähler	F-Statistik	Pr > F
	Freiheitsgrade		
Kornertrag	8	9.112	<.0001 ***

Tabelle 11: Pearsonsche Korrelationskoeffizienten des Kornertrags im reifen Zustand bei unterschiedlichen Bodenbehandlungsmaßnahmen

	1BC	2BC	2BC+K	Nuli	K	TP	HTC	НТС+К
2BC	0.1634							
2BC+K	0.4166	0.0310						
Null	0.9872	0.1588	0.4257					
K	0.8665	0.1201	0.5182	0.8791				
TP	0.8675	0.2176	0.3288	0.8549	0.7379			
HTC	0.5059	0.0433	0.8817	0.5161	0.6182	0.4065		
HTC+K	0.2540	0.7936	0.0553	0.2476	0.1924	0.3282	0.0754	
MIN	0.0273	0.3861	0.0035	0.0263	0.0184	0.0399	0.0052	0.2614

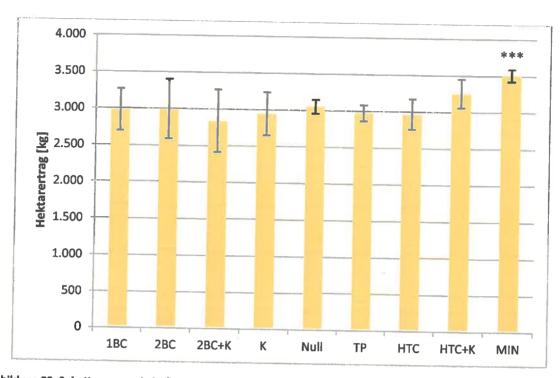


Abbildung 23: Soja-Kornertrag in kg/ha bei unterschiedlichen Bodenbehandlungsmaßnahmen, Ernte September 2012

4.4 Ausgewählte Qualitätskriterien bei Sojabohnen

4.4.1 Ölgehalt

Der signifikant höchste Ölgehalt mit 218.55 g/kg Trockenmasse wurde bei der Variante 2BC erreicht, gefolgt von den drei beinahe gleichen Werten der Varianten Kompost mit 211.73 g/kg, mineralisch gedüngt mit 211.17 g/kg und 1BC mit 210.52 g/kg. Die Variante HTC erreichte den geringsten Ölgehalt mit nur 191.06 g/kg. Die Nullparzellen erreichten mit 195.89 g/kg den zweitniedrigsten Ölgehalt, die übrigen Varianten lagen bei ca. 200 g/kg. Die Varianten 1BC, 2BC und HTC wiesen eine große Streuung auf (Tab. 13 und Abb. 24).

Tabelle 12: Varianzanalyse bezüglich der Auswirkung der unterschiedlichen Bodenbehandlungsmaßnahmen auf den Ölgehalt der Sojabohnen

Effekt	Zähler	Summe der	Mittlere	F-Statistik	Pr > F
	Freiheitsgrade	Quadrate	quadratische		
			Abweichung		
Ölgehalt	8	1925.6	240.699	2.7884	0.03174 *
Residuen	19	1640.1	86.321		

Tabelle 13: Pearsonsche Korrelationskoeffizienten des Ölgehalts der Sojabohnen bei unterschiedlichen Bodenbehandlungsmaßnahmen

2BC	1BC 0.3027	2BC	2BC+K	Null	K	TP	НТС	НТС+К
2BC+K	0.3655	0.0616						
Null	0.0532	0.0048	0.2980					
K	0.8739	0.3801	0.2902	0.0378				
TP	0.2399	0.0349	0.7779	0.4542	0.1854			
HTC	0.0190	0.0018	0.1181	0.5048	0.0135	0.1926		
HTC+K	0.1789	0.0239	0.6448	0.5759	0.1361	0.8572	0.2571	
MIN	0.9325	0.3425	0.3238	0.0444	0.9410	0.2095	0.0158	0.1549

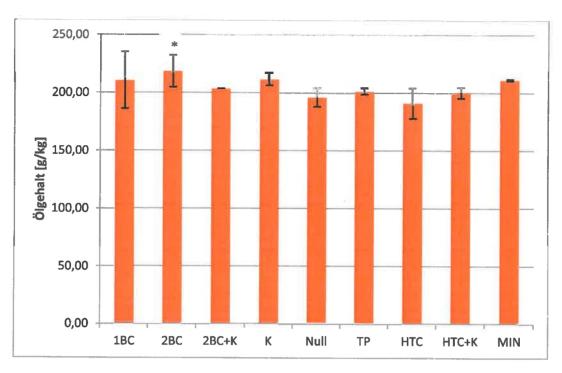


Abbildung 24: Ölgehalt in g/kg Korn-TM bei unterschiedlichen Bodenbehandlungsmaßnahmen, Ernte September 2012

4.4.2 Proteingehalt

Sehr unterschiedliche Werte ergaben die Proteinwerte. Aufgrund der hohen Streuung waren die Werte statistisch nicht signifikant. Die höchsten Gehaltswerte erreichten die Varianten 1BC mit 425.59 g/kg und unmittelbar darunter die HTC mit 423.49 g/kg. Mit Abstand nachfolgend darunter lagen die Werte der Varianten Terra Preta mit 416.23 g/kg und HTC+K mit 415.08 g/kg. Die Variante 2BC wies mit 406.78 g/kg den geringsten Proteingehalt auf. Die übrigen Varianten erreichten um die 411.00 g/kg Protein (Tab. 15 und Abb. 25).

Tabelle 14: Varianzanalyse bezüglich der Auswirkung der unterschiedlichen Bodenbehandlungsmaßnahmen auf den Proteingehalt der Sojabohnen

Effekt	Zähler	Summe der	Mittlere	F-Statistik	Pr > F
	Freiheitsgrade	Quadrate	quadratische		
			Abweichung		
Ölgehalt	8	947.28	118.41	0.9957	0.4702 n.s.
Residuen	19	2259.62	118.93		

Tabelle 15: Pearsonsche Korrelationskoeffizienten des Proteingehalts der Sojabohnen bei unterschiedlichen Bodenbehandlungsmaßnahmen

	1BC	2BC	2BC+K	Null	K	TP	нтс	HTC+K
2BC	0.048							
2BC+K	0.117	0.644						
Nuli	0.100	0.603	0.979					
K	0.112	0.660	0.982	0.960				
TP	0.307	0.302	0.561	0.552	0.547			
HTC	0.816	0.076	0.176	0.156	0.169	0.425		
HTC+K	0.253	0.363	0.649	0.645	0.633	0.899	0.357	
MIN	0.134	0.592	0.940	0.957	0.923	0.612	0.199	0.703

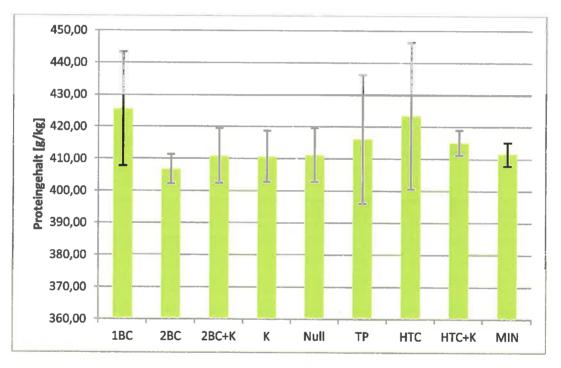


Abbildung 25: Proteingehalt in g/kg Korn-TM bei unterschiedlichen Bodenbehandlungsmaßnahmen, Ernte September 2012

4.4.3 Zuckergehalt

Keine signifikanten Unterschiede gab es im Zuckergehalt, welcher bei der mineralisch gedüngten Variante mit 5.99 g/100g Trockenmasse am höchsten war. Die höchste Streuung wiesen die Varianten 1BC und HTC mit knapp 10 % vom Mittelwert auf. Die Variante HTC erreichte mit 5.52 g/100g den niedrigsten Zuckergehalt (Tab. 17 und Abb. 26).

Tabelle 16: Varianzanalyse bezüglich der Auswirkung der unterschiedlichen Bodenbehandlungsmaßnahmen auf den Zuckergehalt der Sojabohnen

Effekt	Zähler	Summe der	Mittlere	F-Statistik	Pr > F
	Freiheitsgrade	Quadrate	quadratische		
			Abweichung		
Zuckergehalt	8	0.6781	0.084763	0.8803	0.5501 n.s.
Residuen	19	18.294	0.096285		

Tabelle 17: Pearsonsche Korrelationskoeffizienten des Zuckergehalts der Sojabohnen bei unterschiedlichen Bodenbehandlungsmaßnahmen

	1BC	2BC	2BC+K	Null	K	TP	HTC	HTC+K
2BC	0.447							
2BC+K	0.688	0.717						
Null	0.703	0.239	0.421					
K	0.669	0.736	0.979	0.405				
TP	0.494	0.938	0.775	0.272	0.795	×		
HTC	0.306	0.083	0.161	0.469	0.154	0.096		
HTC+K	0.596	0.204	0.355	0.851	0.342	0.231	0.614	
MIN	0.442	0.993	0.710	0.235	0.729	0.930	0.082	0.201

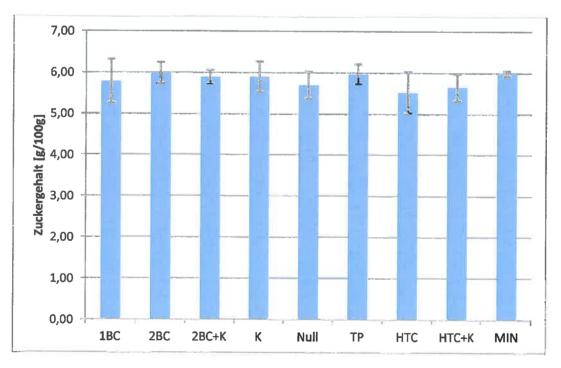


Abbildung 26: Zuckergehalt in g/100g Korn-TM bei unterschiedlichen Bodenbehandlungsmaßnahmen, Ernte September 2012

5. Diskussion

Aus den vorliegenden Ergebnissen ist ersichtlich, dass vor allem im Wachstumsverlauf bis Blühbeginn ein Einfluss der unterschiedlichen Bodenbehandlungsvarianten mit gegeben war. Die Unterschiede zwischen den unterschiedlichen Bodenbehandlungsmaßnahmen bei den erntereifen Pflanzen waren nur sehr gering und teilweise nicht signifikant. Eine Beeinflussung war auch durch die Witterung gegeben.

Die Effekte sind im ersten Jahr nicht immer nachweisbar oder in besonderen Fällen manchmal sogar negativ (VERHEUEN et al., 2010).

5.1 Einfluss der Biokohleausbringung auf den Wachstums- und Entwicklungsverlauf bei Sojabohnen

Im Wachstumsverlauf während der Jugendphase gab es Unterschiede durch die unterschiedlichen Bodenbehandlungsvarianten. In den Randparzellen, wo sich die bereits beschriebene Verschlämmung eindeutig stark hemmend auf den Wachstumszustand auswirkte, gab es auch eine breite Streuung bei der Blütenzahl/Pflanze in den Varianten 2BC+K sowie der mineralisch gedüngten Variante. In weiterer Folge war das Wachstum gehemmt und die Kornerträge geringer.

Die hohe Trockenheitsverträglichkeit der Sojapflanzen bis zur Blüte, wie GEISLER (1988) anführt, führt meist zu einem guten Wachstumsverlauf, trotz sehr geringer Niederschläge. Bei der ersten Zwischenernte waren signifikant längere Pflanzen der mit HTC-Kohle gedüngten Varianten vorhanden, wie auch von Sanvong und Nathewet (2013) ermittelt wurde. Die Höchstwerte bei Frisch- und Trockenmasse der Grünpflanzen aus der Zwischenernte waren in den HTC Varianten am höchsten und entsprachen damit den Literaturergebnissen. Im Unterschied zu den einschlägigen Ergebnissen in der Literatur konnten diese Höchstwerte jedoch bei den erntereifen Pflanzen nicht mehr nachgewiesen werden. Die Pflanzen mit der mineralischen Düngung wiesen die höchste Wuchshöhe auf. Dies deutet darauf hin, dass die Verfügbarkeit von Stickstoff bei gleichzeitiger Anwesenheit von Biokohle verringert wird, wie auch Soja et al. (2012) feststellte. Der mineralisch ausgebrachte Stickstoffdünger konnte diesen Mangel ausgleichen.

5.2 Einfluss der Biokohleausbringung auf Ertragsparameter und den Kornertrag bei Sojabohnen

Ausgehend von der Anzahl der hülsentragenden Pflanzen durch die unterschiedlichen Bodenbehandlungsvarianten konnte kein Trend bezüglich des Kornertrags festgestellt werden. Zwar waren Unterschiede zwischen den Varianten vorhanden, jedoch statistisch nicht sicherbar. Dies trifft auch auf die Anzahl der Hülsen je Pflanze zu. Im Mittel wurden mit 16 Hülsen pro Pflanze nur etwa die Hälfte bzw. etwas weniger als die in der Literatur angeführten 32 - 39 Hülsen pro Pflanze geerntet. Starke Schwankungen durch ungleichmäßiges Wachstum zwischen den einzelnen Pflanzen zeigten sich in der hohen Streuung der Werte. Die Hülsenanzahl war durch den witterungsbedingten Trockenstress gering. Weiters enthielt auch nur rund ein Drittel der Hülsen mehr als zwei Bohnen. Dies führte in weiterer Folge auch zu einer geringeren Kornzahl insgesamt, da gerade zum Zeitpunkt des Hülsenansatzes, des Hülsenwachstums und der Blüte eine ausreichende Wasserversorgung zur Ertragsbildung erforderlich ist. Entgegen ABEL (2011) und HARTER (2013) konnte keine erhöhte Wasserspeicherfähigkeit durch die Biokohle festgestellt werden, was möglicherweise auf eine geringe Biokohle-Ausbringmenge zurückzuführen war. Trotz der in der Literatur beschriebenen, mehr oder weniger gut ausgebildeten Pfahlwurzel, welche bis zu einer Tiefe von 2 m reichen kann, liegt ein Großteil der Hauptwurzelmasse in der Krume vor. Daher wird bei Trockenheit eine Bewässerung empfohlen. Dadurch wird auch beim Tausendkorngewicht ein höherer Wert erzielt. Das TKG lag im Maximum mit 179.6 g bei der mineralisch gedüngten Variante wesentlich unter den Werten von MAIRUNTEREGG (2012). Der bereits im Wachstumsverlauf aufgezeigte Trend zeigt sich auch im Kornertrag. Mit Ausnahme der Variante HTC-Kohle mit Kompost vermengt, lagen alle Biokohle Varianten im Kornertrag unter dem Mittelwert. Dies deckt sich mit den von VERHEIJEN (2010) beschriebenen Auswirkungen der Biokohle, welche auch negative Effekte ergaben. Auch das Fehlen der Rhizobien, wie in den Ergebnissen angeführt, führte zu negativen Folgen. Die angeführten Ergebnisse weisen auf eine Stickstoffbindung durch Biokohle hin. Nach WEISS (2000) versorgt sich die Sojapflanze durch den von Knöllchenbakterien erzeugten Stickstoff unabhängig von zusätzlich ausgebrachtem Dünger-Stickstoff.

5.3 Einfluss einer Biokohleausbringung auf ausgewählte Qualitätskriterien bei Sojabohnen

Bei den Qualitätskriterien konnte nur im Ölgehalt ein signifikanter Unterschied durch die unterschiedlichen Bodenbehandlungsvarianten festgestellt werden. Die Variante 2BC ergab den signifikant höchsten Ölgehalt im Korn und war im Vergleich zu mehreren anderen Standorten - siehe Mairunteregg (2012) - sehr hoch. Der Proteingehalt liegt im Vergleich mit Versuchen aus der Literatur im unteren Mittel. Trotz nicht signifikanter Unterschiede wiesen die HTC und 1BC Varianten den höchsten absoluten Gehaltswert auf. Auch die im Zuckergehalt erreichten Werte sind im Vergleich zu Euteneuer (2011) niedrig. Die niedrigen Protein- und Zuckerwerte sind möglicherweise auf die Auswirkungen der geringen Niederschläge während der Kornfüllungsphase zurückzuführen, da in dieser Zeit ein Drittel der benötigten 300 mm Niederschlag fehlten. Sowohl im Ölgehalt als auch im Zuckergehalt wies die HTC-Variante den mit Abstand geringsten Wert auf. Galic (2011) berichtet von einem signifikant verminderten Zuckergehalt bei der Ausbringung von HTC-Biokohle bei Zuckerrüben. Dies lässt auf einen negativen Einfluss auf den Zuckergehalt durch den Einsatz von Biokohle schließen.

5.4 Conclusio

Die Wirtschaftlichkeit bei der Erzeugung von HTC ist gegenwärtig noch nicht gegeben, kann aber in Einbeziehung der dadurch vermiedenen CO2 Emissionen erreicht werden. (EBERHARDT et al., 2011)

Die Versorgung der Sojapflanzen mit dem essentiellen Nährstoff Stickstoff und dessen Wechselwirkung mit Biokohle wurde im angeführten Versuch festgestellt. Die fehlende Symbiose mit Rhizobien führte zu einem Mangel bei der Stickstoffversorgung der Sojapflanzen. Die Aussagekraft eines einjährigen Versuches ist begrenzt. Die Fortführung des Versuchs im Rahmen der Dissertation von KARIGER ergab im zweiten und dritten Jahr eine wesentlich günstigere und deutlichere Wirkung der Biokohle, was langfristig eindeutig für eine Anwendung dieses Bodenverbesserers spricht.

6. Zusammenfassung

Die Erhaltung der natürlichen Bodenfruchtbarkeit auf Ackerflächen ist derzeit ein aktuelles Thema. Bei Verminderung der Erträge und der Qualität der Inhaltsstoffe von Nutzpflanzen wird dies häufig durch einen erhöhten Einsatz von Mineraldüngern ausgeglichen. Um eine zeitgemäße und umweltfreundliche Produktion zu gewährleisten, ist eine Stabilisierung bzw. Erhöhung der Bodenfruchtbarkeit erforderlich. Auch der Klimawandel ist in der Pflanzenproduktion zu berücksichtigen. Der Einsatz von Biokohle könnte zur Verminderung der Probleme beitragen.

Die Sojabohne, weltweit die bedeutendste Körnerleguminose, ist die Pflanze mit qualitativ hochwertigem Protein und Fett; sie trägt einen wesentlichen Anteil zur Deckung des steigenden Bedarfes für die wachsende Weltbevölkerung bei. Die Kombination mit Biokohledüngung wurde bisher kaum bearbeitet.

Im Jahr 2012 wurde im semiariden Produktionsgebiet Österreichs, an der Versuchswirtschaft der Universität für Bodenkultur Wien in Groß Enzersdorf ein Feldversuch zur Beurteilung des Einflusses der Biokohle auf Wachstum, Ertrag und ausgewählte Inhaltsstoffe bei der Sojabohne durchgeführt. Die unmittelbare Wirkung einer Menge von Null bis 20 t/ha wurde in verschiedenen Varianten vergleichend beurteilt.

Bereits während des Wachstumsverlaufes der Sojabohnen bis zur Blüte wurden Unterschiede zwischen den Varianten festgestellt. Bereits Anfang Juli gab es in der Wuchshöhe und in der bis zu diesem Zeitpunkt gebildeten Biomasse Unterschiede. Die Pflanzen der Varianten, welche mit HTC-Kohle gedüngt wurden, zeigten signifikant höhere Wuchshöhen. Diese Unterschiede verringerten sich jedoch bis zur Ernte.

Aufgrund der extrem geringen Niederschläge im Frühjahr und Frühsommer 2012 bildeten sich keine Rhizobien und daher gab es auch keine symbiotische Stickstoffbindung. Für das Wachstum der Pflanzen stand nur der bodenbürtige Stickstoff zur Verfügung. Daher erreichten die mit Mineraldünger gedüngten Parzellen die höchsten Wuchshöhen, die höchste Gesamttrockenmasse und den höchsten Kornertrag.

Bei den ausgewählten Qualitätskriterien wurden nur im Ölgehalt signifikante Unterschiede gemessen. Die HTC-Varianten wiesen den geringsten Öl- und auch Zuckergehalt auf. Nur die

Parzellen, welche mit HTC-Kompost Gemisch gedüngt wurden, erreichten Werte über dem Mittelwert. Die übrigen Biokohlevarianten lagen unter dem Durchschnitt.

Aus den einjährigen Ergebnissen ist ersichtlich, dass im Ausbringungsjahr aufgrund des geringeren Stickstoffangebotes aus der durchwurzelten Krume ein negativer Ertragseinfluss der Biokohle möglich ist.

Für eine Beurteilung von Biokohle als Dünger sind mehrjährige Versuche erforderlich, denn nur diese können die "Mittel- und Langzeitwirkung von Biokohle" auf Pflanzenwachstum, Ertragsverhalten und Qualität des Erntegutes sowie die Auswirkungen auf den Boden objektiv beurteilen.

7. Literaturverzeichnis

ABEL, S., S. TRINKS, M. FACKLAM und G. WESSOLEK (2011): Einfluss von Biokohle auf Kennwerte der Wasserbindung im Boden. Tagungsbeitrag zu: Jahrestagung der DBG – Symposium II, IV und VI. Berlin: Technische Universität Berlin, Institut für Ökologie.

AGES (2014): Österreichische Beschreibende Sortenliste. Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit, 24-29.

AGES - Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit: Neue Sojabohnensorten http://www.ages.at/ages/landwirtschaftliche-sachgebiete/sorte/aktuelle-veroeffentlichungen/neue-sojabohnensorten/ (Zugriff: 21.05.2014)

BOKU - Universität für Bodenkultur. Wien: Projekt MUBIL – Monitoring der Umstellung auf biologischen Landbau. Projektbericht Klima- und Witterungsverhältnisse 2003-2014, 1-10.

BUBACK, M. und H.P. VÖGELE (1993): FT-NIR Atlas. Weinheim: VCH Verlagsgesellschaft.

BUERSTMAYR, H. (2013): Sojabohnenzüchtung. Vorlesungsmanusskript SS 2013, Vorlesung Spezielle Pflanzenzüchtung.

BUTTMANN, M. (2011): Klimafreundliche Kohle durch Hydrothermale Karbonisierung von Biomasse. Weinheim: Chemie Ingenieur Technik, 2011, 83, Nr. 11, 1890.

DIEPENBROCK, W., G. FISCHBECK, K. HEYLAND und N. KNAUER (1999): Spezieller Pflanzenbau. 3. Auflage. Stuttgart: Eugen Ulmer, 242-250.

DIE SAAT: Sojabohne Sortiment 2014 | DIE SAAT - Sortenpass Silvia PZO http://www.diesaat.at/media.php?filename=download%3D%2F2014.01.28%2F1390910586
233966.pdf&rn=Sortenpass%20SILVIA%20PZO.pdf (Zugriff: 21.05.2014)

EBERHARDT, G., M. ODENING, H. LOTZE-KAMPEN, B. ERLACH, S. ROLINSKI, P. ROHTE und WIRTH B. (2011): Rentabilität der Hydrothermalen Karbonisierung unter besonderer Berücksichtigung von Transportkosten. Berichte über Landwirtschaft. Stuttgart: Kohlhammer, Band 89 (3), 400-424.

eBOD - BFW, Bundesamt und Forschungszentrum für Wald, Landschaft und Naturgefahren http://gis.lebensministerium.at/eBOD/frames/index.php?&gui_id=eBOD (Zugriff: 02.04.2014)

EUTENEUER, P. (2011): Süße Soja? Untersuchungen zum Zuckergehalt von Sojabohne (*Glycine max.* [L.] Merr.). Diplomarbeit, Universität für Bodenkultur Wien.

GAJIC A., H-J. KOCH und B. MÄRLÄNDER (2011): HTC-Biokohle als Bodenverbesserer – Erste Ergebnisse aus einem Feldversuch mit Zuckerrüben. Berlin: Sugar Industry 136, 55-63.

GEISLER, G. (1988): Pflanzenbau. Ein Lehrbuch – Biologische Grundlagen und Technik der Pflanzenproduktion, 2. Auflage. Hamburg: Verlag Paul Parey, 375-376.

HARTER, J., H. KRAUSE, S. SCHUETTLER, R. RUSER, M. FROMME, T. SCHOLTEN, A. KAPPLER and S. BEHRENS (2013): Linking N2O emissions from biochar-amended soil to the structure and function of the N-cycling microbial community. In ISME Journal, International Society for Microbial Ecology (2013), 1-11. ISSN: 1751-7362

KAMMANN, C., L. GRÜNHAGE, D. BUSCH, C. MÜLLER, G. DÖRGER, K. HANEWALD und T. SCHMID (2010): Biokohle: Ein Weg zur Dauerhaften C-Sequestrierung? Wiesbaden: Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie, 2-8.

KLOSS, S., F. ZEHETNER, A. DELLANTONIA, R. HAMID, F. OTTNER, V. LIEDTKE, M. SCHWANNINGER, M.H. GERZABEK und G. SOJA (2012): Characterization of slow pyrolysis biochars: Effects of feedstocks and pyrolysis temperature on biochar properties. Madison: Journal of Environmental Quality 41: 990–1000.

LEHMANN, J. and S. JOSEPH (2009): Biochar for Environmental Management: An Introduction. In LEHMANN, J. (Hrsg.): Biochar for environmental management science and technology. London [u.a.]: Earthscan, 2-6.

MAIRUNTEREGG N. (2012): Optimierung pflanzenbaulicher Faktoren für den Sojaanbau in Oberösterreich. Diplomarbeit, Universität für Bodenkultur Wien.

SANVONG, C. and P. NATHEWET (2013): A Comparative Study of Pelleted Broiler Litter Biochar Derived from Lab-Scale Pyrolysis Reactor with that Resulted from 200-Liter-Oil Drum Kiln to Ameliorate the Relations between Physicochemical Properties of Soil with Lower Organic

Matter Soil and Soybean Yield. Nakhon Nayok Province, Thailand: Department of Environmental Science.

SOHI, S., E. LOPEZ-CAPEL, E. KRULL and R. Bol (2009): Biochar, climate change and soil: A review to guide future research. CSIRO Land and Water Science Report 05/09. Clayton South: Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO), 2-9.

SOJA, G., S. ZECHMEISTER-BOLTENSTERN, B. KITZLER, M. LAUER, V. LIEDTKE, A. WATZINER, B. WIMMER und F. ZEHETNER (2012): Biokohle für landwirtschaftliche Böden. München: GAIA — Ökologischer Perspektiven für Wissenschaft und Gesellschaft, 2012, 21, Vol. 3, 236-238. ISSN 0940-5550.

SOJA, G., F. ZEHETNER, S. ZECHMEISTER-BOLTENSTERN, S. KLOSS, A. WATZINGER, B. WIMMER, B. KITZLER, M. KLINGLMÜLLER und S. GUNCZY (2014): Was kann Biokohle außer Kohlenstoff zu binden? Wirtschaftlichkeitsüberlegungen beim Einsatz von Biokohle in der Landwirtschaft. "Angewandte Forschung – gibt es neue Wege?": Tagungsbericht 2014. 69. ALVA-Tagung: LFZ Franzisco Josephinum, 2014, 21, 75-77.

Suppadit, T., N. Phumkokrak and P. Poungsuk (2012): The effect of using quail litter biochar on soybean (Glycine max. [L.] Merr.) production. Chillán: Chilean Journal of Agricultural Research, 2012, 72 (2), 244-250.

VERHEIJEN, F., S. JEFFERY, A.C. BASTOS, M. VAN DER VELDE and I. DIAFAS. (2010): Biochar application to soils: A critical scientific review of effects on soil properties, processes and functions. Luxemburg: European Commission, 31-64.

WANDL, G. (2004): Züchtung auf hohen Proteingehalt bei Sojabohne. Diplomarbeit, Universität für Bodenkultur Wien.

WEBER, J. (2013): Einfluss unterschiedlicher Bodenbearbeitungssysteme und der Vorfrucht auf Pflanzenwachstum, Ertrag und Qualität bei Winterweizen (Triticum aestivum L.) sowie auf ausgewählte bodenphysikalische Kennzahlen. Diplomarbeit, Universität für Bodenkultur Wien.

WEISS, E.A. (2000): Oilseed crops. Oxford: Blackwell Science., 165-203.

ZAMG – Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik http://www.zamg.ac.at/fix/klima/oe71-
00/klima2000/klimadaten oesterreich 1971 frame1.htm (Letzter Zugriff: 10.04.2014)

8. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.: Miscanthus Biokohle - Mikroskopaufnahme (Katja Wiedner, 2013) (Quelle: "(c)
http://www.landw.uni-halle.de/prof/bodenbiogeochemie/forschung/biochar/")10
Abbildung 2.: HTC Biokohle und deren Ausgangsmaterial Stroh (Quelle: "(c)
http://vbt.ebi.kit.edu/index.pl/projekte/Green Coal/green coal.html ")
Abbildung 3: Pflanzliche Biokohle und deren Ausgangsmaterialien (Quelle: "(c)
http://www.ait.ac.at/research-services/soil-remediation-and-isotope-applications/biochar/
" Gerhard Soja, Austrian Institute of Technology, 2014)
Abbildung 4: Verfahrensfließbild der Hydrothermalen Carbonisierung für die im Versuch
eingesetzte HTC-Biokohle (Quelle: "(c) Fa. GreenC, 2013")
Abbildung 5: Niederösterreichkarte mit Lage des Versuchsstandort (Quelle: "(c) Land
Niederösterreich, NÖ Atlas")19
Abbildung 6: Klimadaten 2012, Versuchswirtschaft Groß Enzersdorf im Vergleich zum
langjährigen Mittel40
Abbildung 7: Versuchsanordnung des Soja – Biokohle Feldversuchs 2012, Versuchswirtschaft
Groß Enzersdorf40
Abbildung 8: Ausbringung der Biokohle auf den Versuchsparzellen, uneingearbeitet.
8.5.201225
Abbildung 9: Steigrohr-Windsichter27
Abbildung 10: Ausrüstung zur Entnahme der Bodenproben29
Abbildung 11: N _{min} -Gehalt bei unterschiedlichen Bodenbehandlungsmaßnahmen31
Abbildung 12: Fraßschäden an Jungpflanzen am 8.6.201233

Abbildung 13: Beginnende Verunkrautung am 8.6.201234
Abbildung 14: Wuchshöhe der Grünpflanzen bei unterschiedlichen Bodenbehandlungsmaßnahmen am 6.7.201235
Abbildung 15: Wuchshöhe der erntereifen Pflanzen bei unterschiedlichen
Bodenbehandlungsmaßnahmen, September 2012
Abbildung 16: Durchschnittliche Blütenzahl/Pflanze bei unterschiedlichen Bodenbehandlungsmaßnahmen am 5.7.2012
Abbildung 17: Frisch-/Trockenmasse in g/Pflanze bei unterschiedlichen
Bodenbehandlungsmaßnahmen am 06. 07. 2012 (Zwischenernte)
Abbildung 18: Oberirdische Biomasse in g/m² bei unterschiedlichen
Bodenbehandlungsmaßnahmen39
Abbildung 19: Pflanzenzahl pro m² bei unterschiedlichen Bodenbehandlungsmaßnahmen41
Abbildung 20: Hülsenanzahl bei unterschiedlichen Bodenbehandlungsmaßnahmen42
Abbildung 21: Kornzahl/Pflanze bei unterschiedlichen Bodenbehandlungsmaßnahmen43
Abbildung 22: Tausendkorngewicht bei unterschiedlichen Bodenbehandlungsmaßnahmen 44
Abbildung 23: Soja-Kornertrag in kg/ha bei unterschiedlichen
Bodenbehandlungsmaßnahmen, Erntetermin46
Abbildung 24: Ölgehalt in g/kg Korn-TM bei unterschiedlichen
Bodenbehandlungsmaßnahmen48
Abbildung 25: Proteingehalt in g/kg Korn-TM bei unterschiedlichen
Bodenbehandlungsmaßnahmen
Abbildung 26: Zuckergehalt in g/100g Korn-TM bei unterschiedlichen
Rodenbehandlungsmaßnahmen 50

9. Tabellenverzeichnis:

Tabelle 1: Varianzanalyse bezüglich der Auswirkung der unterschiedlichen
Bodenbehandlungsmaßnahmen auf die Wuchshöhe der Sojapflanzen am 6.7.201234
Tabelle 2: Varianzanalyse bezüglich der Auswirkung der unterschiedlichen
Bodenbehandlungsmaßnahmen auf die Wuchshöhe der Sojapflanzen bei der Ernte35
Tabelle3: Pearsonsche Korrelationskoeffizienten der Wuchshöhe der Sojapflanzen im reifen
Zustand bei unterschiedlichen Bodenbehandlungsmaßnahmen36
Tabelle 4: Varianzanalyse bezüglich der Auswirkung der unterschiedlichen
Bodenbehandlungsmaßnahmen auf die oberirdische Biomasse im reifen Zustand39
Tabelle 5: Pearsonsche Korrelationskoeffizienten der oberirdischen Biomasse im reifen
Zustand bei unterschiedlichen Bodenbehandlungsmaßnahmen39
Tabelle 6: Varianzanalyse bezüglich der Auswirkung der unterschiedlichen
Bodenbehandlungsmaßnahmen auf die Anzahl der Sojapflanzen im reifen Zustand40
Tabelle 7: Pearsonsche Korrelationskoeffizienten der Anzahl der Sojapflanzen im reifen
Zustand bei unterschiedlichen Bodenbehandlungsmaßnahmen40
Tabelle 8: Varianzanalyse bezüglich der Auswirkung der unterschiedlichen
Bodenbehandlungsmaßnahmen auf die Kornzahl pro Sojapflanze im reifen Zustand42
Tabelle 9: Pearsonsche Korrelationskoeffizienten der Kornzahl pro Sojapflanze im reifen
Zustand bei unterschiedlichen Bodenbehandlungsmaßnahmen
Tabelle 11: Varianzanalyse bezüglich der Auswirkung der unterschiedlichen
Bodenbehandlungsmaßnahmen auf den Kornertrag im reifen Zustand45
Tabelle 11: Pearsonsche Korrelationskoeffizienten des Kornertrags im reifen Zustand bei
unterschiedlichen Bodenbehandlungsmaßnahmen45
Tabelle 12: Varianzanalyse bezüglich der Auswirkung der unterschiedlichen
Bodenbehandlungsmaßnahmen auf den Ölgehalt der Sojabohnen47
Tabelle13: Pearsonsche Korrelationskoeffizienten des Ölgehalts der Sojabohnen bei
unterschiedlichen Bodenbehandlungsmaßnahmen

Tabelle 14: Varianzanalyse bezüglich der Auswirkung der unterschiedlichen	
Bodenbehandlungsmaßnahmen auf den Proteingehalt der Sojabohnen4	48
Tabelle15: Pearsonsche Korrelationskoeffizienten des Proteingehalts der Sojabohnen bei	
unterschiedlichen Bodenbehandlungsmaßnahmen	49
Tabelle 16: Varianzanalyse bezüglich der Auswirkung der unterschiedlichen	
Bodenbehandlungsmaßnahmen auf den Zuckergehalt der Sojabohnen	50
Tabelle17: Pearsonsche Korrelationskoeffizienten des Zuckergehalts der Sojabohnen bei	
unterschiedlichen Bodenbehandlungsmaßnahmen	50