



## Zusammenfassung

Die heutige industrielle Landwirtschaft birgt vielfältige Probleme, wie die Degradierung der Böden, den Verlust von Biodiversität, Nitrate im Grundwasser, sowie die hohe Abhängigkeit von fossilen Energieträgern. Einen möglichen Lösungsansatz bietet das Konzept der regenerativen Landwirtschaft, welches weltweit zunehmend Beachtung findet. Ziel der regenerativen Landwirtschaft ist es, Agrarökosysteme und insbesondere die Böden kontinuierlich zu verbessern, indem durch bestimmte landwirtschaftliche Methoden und ganzheitliches Management unter anderem gestörte Nährstoff-, Wasser- und Kohlenstoff- Kreisläufe wieder geschlossen werden. Die Verwendung von Pflanzenkohle als Bodenhilfsstoff könnte ein mögliches Werkzeug der regenerativen Landwirtschaft sein, da Forschungen gezeigt haben, dass Pflanzenkohle durch ihre spezifischen Eigenschaften in der Lage ist, die physikalischen und chemischen Eigenschaften des Bodens langfristig zu beeinflussen und dadurch zum Bodenaufbau beizutragen. Es handelt sich jedoch um eine vergleichsweise neue Methode, die in Deutschland bislang wenig praktiziert wird und es gibt einige Kritik an der Produktion und Verwendung von Pflanzenkohle.

Das Ziel der Arbeit ist es daher herauszufinden, ob und auf welche Weise die Verwendung von Pflanzenkohle im Ackerbau ein Bestandteil einer regenerativen Landwirtschaft in Deutschland sein kann. Hierfür wurden auf Grundlage der vorhandenen Literatur einige Thesen aufgestellt. Für die empirische Erhebung von Praxiswissen wurden leitfadengestützte ExpertInneninterviews mit je einem Vertreter der Anbauweisen biologisch-dynamisch, organisch-biologisch und der Permakultur geführt. Die Ergebnisse wurden ergänzt durch ein Interview mit einer Expertin aus dem Bereich der Pflanzenkohleproduktion, um technische Details zu konkretisieren. Im Ergebnis wird unter anderem deutlich, dass der Pflanzenkohleeinsatz für jede Fläche gründlich überlegt werden muss. Allgemein sollte Pflanzenkohle nur in kleinen, dezentralen landwirtschaftlichen Systemen eingesetzt werden und Teil einer Abfall-Management-Strategie sein. Es müssen sowohl das Ziel der Anwendung, als auch die Eigenschaften der eingesetzten Kohle bekannt sein und ein Einsatz sollte nur in einem System erfolgen, welches bereits regenerativ bewirtschaftet wird.

## Abstract

Modern industrial agriculture poses many problems, such as the degradation of soils, the loss of biodiversity, nitrates in the groundwater, as well as being highly dependent on the use of fossil fuels. A possible solution is the concept of regenerative agriculture, which has been gaining increasing attention lately. The goal of regenerative agriculture is to continuously improve agrarian ecosystems, especially soils, through the implementation of specific agricultural methods and holistic management. This is supposed to lead to, among other things, closed nutrient-, water-, and carbon-cycles. The use of biochar as a soil supplement could be a possible tool of regenerative agriculture, as studies have shown that biochar can influence the physical and chemical properties of the soil and thus help build soil long-term. The method is comparatively new and has so far been practiced very little in Germany. Furthermore, there has been some criticism about the production and use of biochar.

Therefore, the goal of this thesis is to find out whether the use of biochar in crop farming can be a component of a regenerative agriculture in Germany and, if so, how. For this purpose, some theses based on the existing literature were put forward. In order to collect data based on practical knowledge, guided expert interviews were conducted, in which one representative of each of the farming techniques biodynamic, organic-biologic, and permaculture, were questioned. The results were complemented by an interview with an expert on biochar production, in order to concretise technical details. The results show, among other things, that the use of biochar must be thoroughly thought through for each agricultural area. In general, biochar should only be used in small and decentralized agricultural systems and should be part of a waste management strategy. Both the goal of the application, as well as the properties of the biochar used, must be known beforehand. Furthermore, an application should only take place within a system which is already being farmed regeneratively.

## Inhaltsverzeichnis

<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>VII</b>
<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>VIII</b>
<b>1 Einleitung und Problemstellung.....</b>	<b>1</b>
<b>2 Regenerative Landwirtschaft .....</b>	<b>5</b>
2.1 Einführung und Definitionen .....	5
2.2 Die Grenzen der regenerativen Landwirtschaft .....	15
2.3 Ursprünge/Geschichte .....	18
2.4 Methoden und Praktiken Regenerativer Landwirtschaft.....	19
2.4.1 Nichtwendende Bodenbearbeitung .....	20
2.4.2 Agroforst-Systeme.....	22
2.4.3 Polykulturen .....	23
2.4.4 Mehrjährige Systeme .....	23
2.4.5 Integration von Nutztieren.....	24
2.4.6 Wassermanagement .....	25
2.4.7 Kompostierung und Mulch.....	27
2.5 Internationale Praxis .....	28
2.6 Regenerative Landwirtschaft in Deutschland .....	32
<b>3 Beispiele für regenerative Landwirtschaft in Deutschland - drei Bewirtschaftungsweisen .....</b>	<b>35</b>
3.1 Organisch-biologische Landwirtschaft .....	35
3.1.1 Kurzer geschichtlicher Hintergrund.....	35
3.1.2 Der Nährstofffluss in der organisch-biologischen Landwirtschaft .....	36
3.2 Biologisch-dynamische Landwirtschaft .....	38
3.2.1 Kurzer geschichtlicher Hintergrund.....	38
3.2.2 Der Nährstofffluss in der biologisch-dynamischen Landwirtschaft .....	39
3.3 Permakultur.....	40

3.3.1	Kurzer geschichtlicher Hintergrund.....	40
1.1.1	Der Nährstofffluss in der Permakultur .....	41
<b>4</b>	<b>Pflanzkohle .....</b>	<b>43</b>
4.1	Begriffe .....	44
4.2	Kurze Geschichte der Pflanzkohleverwendung.....	47
4.2.1	Ursprünge und modernes wissenschaftliches Interesse.....	48
4.2.2	Terra Preta.....	49
4.3	Eigenschaften und Wirkung der Pflanzkohle auf Boden und Pflanzen .....	52
4.3.1	Physikalische Eigenschaften .....	52
4.3.2	Chemische Eigenschaften.....	54
4.3.3	Wirkung auf Bodenmikroorganismen .....	54
4.3.4	Direkter und indirekter Nährstoffwert.....	56
4.3.5	Schutz vor Krankheiten.....	58
4.3.6	Bioremediation des Bodens .....	58
4.3.7	Kohlenstoffsequestrierung.....	59
4.4	Herstellung .....	61
4.4.1	Der Pyrolyseprozess und das Biomassepotenzial .....	61
4.4.2	Beispiele für Produktionsanlagen.....	63
4.4.3	Herstellungskosten.....	65
4.5	Vorbereitung auf die Ausbringung .....	65
4.6	Anwendung im Ackerbau .....	67
4.6.1	Weniger ist mehr.....	67
4.6.2	Wurzelapplikation .....	68
4.6.3	Verschiedene Methoden ohne intensive Bodenbearbeitung .....	69
4.6.4	Der Kaskadeneffekt .....	73
4.7	Hürden bei der Produktion und Verwendung.....	74

4.7.1	Rechtliche und politische Hürden .....	74
4.7.2	Technische und wirtschaftliche Hürden .....	76
4.8	Die Debatte um Pflanzenkohle .....	77
4.8.1	Argumente für den Einsatz in der Landwirtschaft.....	77
4.8.2	Kritik am Einsatz in der Landwirtschaft .....	79
4.8.3	Fazit .....	81
<b>5</b>	<b>Zur Methodik der Arbeit.....</b>	<b>82</b>
5.1	Literaturanalyse.....	82
5.2	Leitfadengestützte ExpertInneninterviews .....	83
5.2.1	Zum Begriff des/der ExpertIn .....	83
5.2.2	Zur Methode.....	85
5.2.3	Zur Auswahl der ExpertInnen .....	87
5.2.4	Die ExpertInnen .....	88
5.2.5	Interviewauswertung durch qualitative Inhaltsanalyse .....	90
<b>6</b>	<b>Thesen zu Produktion und Verwendung von Pflanzenkohle in der regenerativen Landwirtschaft.....</b>	<b>92</b>
6.1	Ausgangsthesen.....	92
6.2	Risiken und Hürden .....	93
6.3	Positive Wirkung/Nutzen allgemein.....	94
6.4	Produktion.....	95
6.5	Wirtschaftlichkeit der Produktion .....	97
6.6	Aufbereitung der Pflanzenkohle .....	97
6.7	Verwendung/Ausbringung .....	98
<b>7</b>	<b>Ergebnisse der Interviews .....</b>	<b>100</b>
7.1	Organisch-biologische Landwirtschaft: Hof Koch.....	101
7.2	Biologisch-dynamische Landwirtschaft: Bauckhof Amelinghausen .....	104

7.3	Permakultur: Kreislauf-Gärten .....	106
7.4	Pflanzkohleproduktion: Fachverband Pflanzkohle.....	110
<b>8</b>	<b>Diskussion .....</b>	<b>115</b>
8.1	(Wie) soll Pflanzkohle innerhalb der regenerativen Landwirtschaft produziert und eingesetzt werden? .....	115
8.1.1	Zu den Ausgangsthesen.....	115
8.1.2	Zur Definition und den Praktiken regenerativer Landwirtschaft .....	116
8.1.3	Erfahrung mit Pflanzkohle .....	117
8.1.4	Vorteile, allgemeine Kritik und potenzielle Risiken der Verwendung von Pflanzkohle .....	117
8.1.5	Mineralische Nährstoffe .....	118
8.1.6	Produktion und Aufbereitung der Pflanzkohle .....	119
8.1.7	Nutzung und Ausbringung der Pflanzkohle.....	121
8.2	Politische und sonstige Rahmenbedingungen .....	123
8.3	Weiterer Forschungsbedarf .....	125
<b>9</b>	<b>Fazit .....</b>	<b>125</b>
9.1	Zur Forschungsfrage .....	125
9.2	Methodenreflexion .....	129
<b>10</b>	<b>Ausblick.....</b>	<b>130</b>
	<b>Anlagen .....</b>	<b>132</b>
	<b>Eidesstattliche Erklärung .....</b>	<b>136</b>
	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>138</b>

**Abkürzungsverzeichnis**

Abb.	Abbildung
Ebd./ebd.	Ebenda
Et al./et al.	Und Andere
Hrsg.	HerausgeberIn
o. A.	ohne Autor
o. J.	ohne Jahr
S./s.	siehe
Vgl./vgl.	Vergleiche

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Direktsaat-Acker (Rodale Institute 2014a).....	21
Abbildung 2: Ein vom Rodale Institute entwickeltes Gerät zur pfluglosen Bodenbearbeitung (Rodale Institute 2014a).....	21
Abbildung 3: Silvopasture (Chedzoy 2013).....	22
Abbildung 4: Alley-cropping mit Weizen und Pappeln (Greene 2016).....	22
Abbildung 5: Polykultur von Gemüsepflanze (Navalkar 2016).....	23
Abbildung 6: Milpa-Anbau - die Maispflanzen dienen den Kürbissen und Bohnen als Stütze (Schmidt 2013b).....	23
Abbildung 7: Die Farm von Mark Shepard mit hauptsächlich mehrjährigen Kulturen (Horvath 2018)	24
Abbildung 8: Beispiel eines Beweidungsplans nach dem Holistic Planned Grazing Prinzip (Cesario 2017).....	25
Abbildung 9: Das Bestimmen des Keypoints, um ein Keyline-Bewässerungssystem installieren zu können (Rural Agri-Innovation Network (RAIN) 2017).....	26
Abbildung 10: Keyline Pflug (Kent 2013).....	27
Abbildung 11: Die Herstellung von Kompost-Tee (o. A. 2013).....	28
Abbildung 12: Kartoffelpflanzen mit Mulch aus Gras, Wicken und Perserklee (Intelman 2016) .....	28
Abbildung 13: Ridgedale Permaculture Farm in Schweden (Ridgedale Permaculture 2017b).....	31
Abbildung 14: Motivation für die Anwendung von Biokohle (Lehmann/Joseph 2010a).....	46
Abbildung 15: Terra Preta und der für die Amazonasregion sonst typische Oxisol (Glaser et al. 2001: 38).....	51
Abbildung 16: Prozesskette eines Pyrolyse-Verfahrens (Haubold-Rosar et al. 2016: 15) .....	61
Abbildung 17: Kohlenstoffgehalte und -ausbeuten und Feststoffausbeuten von aus Holz thermochemisch produzierten Pflanzenkohlen in Abhängigkeit typischer Prozessbedingungen (Haubold-Rosar et al. 2016: 14) .....	62
Abbildung 18: Wurzelapplikation von Pflanzenkohle beim Zwiebelanbau (Schmidt 2016) .....	69
Abbildung 19: Ausbringung von mit Pflanzenkohle versetztem Kompost mit dem Miststreuer (CarboCert 2017).....	70
Abbildung 20: Versuch zur Einbringung von Pflanzenkohlepellets mittels Direktsaattechnologie (Graves et al. 2013) .....	72
Abbildung 21: Im Programm MAXQDA12 erstelltes Codesystem mit Häufigkeit der Aussagen der InterviewpartnerInnen zu den jeweiligen Codes .....	91

*„We must learn to deal with environmental problems at the systemic level; if we heal the trunk and the branches, the benefits for the leaves will follow naturally.“*

(Robert 1991)

## 1 Einleitung und Problemstellung

In vielen Regionen der Welt wird Landwirtschaft auf eine Weise betrieben, dass sie den Klimawandel aktiv bekämpft und gleichzeitig menschliche Bedürfnisse nach ausgewogener, bedarfsgerechter Nahrung erfüllt werden (vgl. Toensmeier/Herren 2016: 1). In diesen Regionen ist Bodenverbesserung häufig ein weitaus wichtigeres Thema als bei uns in den westlichen Kulturen, da Ernährungssicherheit und Bodenfruchtbarkeit unmittelbar zusammenhängen (Lehmann/Joseph 2010b: 5). In den westlichen Kulturen sind diese Praktiken häufig verloren gegangen und es gibt wenig koordinierte Unterstützung für LandwirtInnen, sie erneut zu übernehmen. (Vgl. Toensmeier/Herren 2016: 1) In Deutschland sichern staatliche Transferzahlungen seit etwa 40 Jahren vielen LandwirtInnen ihr Einkommen (vgl. Ott/Döring 2008: 237). Größere Betriebe profitieren am meisten von diesen Zahlungen, da sich die Subventionen aufgrund der Fläche und eines effizienteren Maschineneinsatzes in Relation zur Betriebsgröße erhöhen. Die Intensivierung der Produktion ist oft der einzige Weg, um den Betrieb dauerhaft zu erhalten. ‚Wachsen oder weichen‘ ist seit langem das Motto der Agrarpolitik in Deutschland. (Vgl. ebd.: 237f.) Um den Ertrag zu erhöhen werden meist größere Flächen in Monokultur angebaut. Dies sind keine Voraussetzungen, die zu einer nachhaltigen, oder gar regenerativen Wirtschaftsweise führen.

In den letzten 25 Jahren wurden laut der Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen (FAO), maßgeblich durch die intensive landwirtschaftliche Nutzung, auf etwa einem Viertel der weltweiten Landoberfläche Böden geschädigt (vgl. Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung 2016b). Laut einer von der Europäischen Kommission in Auftrag gegebenen Studie gehen in der EU jährlich 2,46 Tonnen pro Hektar an Boden infolge von Erosion durch Wasser verloren. Bodenerosion durch Wasser macht in Europa den größten Anteil am Bodenverlust aus, verglichen mit anderen Erosionsprozessen. Jährlich gehen so ca. 970 Megatonnen Boden verloren. (Vgl. Panagos et al. 2015: 438)

Infolge dieser Erkenntnisse wurde 2015 zum internationalen Jahr des Bodens erklärt (vgl. Umweltbundesamt 2015). Das Umweltbundesamt schreibt dazu in einer Erklärung:

*„Der Schutz und Erhalt fruchtbarer Böden und die Wiedergewinnung degradierter Böden sind unerlässliche Voraussetzung für den Erhalt der Bodenfunktionen weltweit, für die Sicherung der*

*Nahrungsversorgung, die Bekämpfung des Klimawandels und die Armutsbekämpfung. Der Boden ist eine vernachlässigte Ressource von geostrategischer Bedeutung, zu deren Schutz ein globaler, wissenschaftlicher, politischer und rechtlicher Ansatz benötigt wird.“ (Ebd.)*

Auch in den 2015 vereinbarten globalen Nachhaltigkeitszielen ist als ein konkretes Unterziel zum Thema Boden die Wiederherstellung degradierter Böden formuliert. Das Ziel ist sogar, bis 2030 eine weltweite Landdegradierungsneutralität zu erreichen. Dies bedeutet, dass nicht mehr Boden degradiert als gleichzeitig wiederaufgebaut wird. (Vgl. Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung 2016a)

Die aktuelle Landwirtschaft, vor allem die konventionelle, schafft vielfältige Probleme. In den etwa 10.000 Jahren, seit denen der Mensch Landwirtschaft betreibt, gab es immer wieder Zusammenbrüche großer Zivilisationen, bei denen die Bodenerosion fast immer eine entscheidende Rolle gespielt hat (vgl. Symposium aufbauende Landwirtschaft 2017; Benco et al. 2006: 80). Bodenerosion, Wasserbedarf und Biodiversität sind laut Grunwald und Kopfmüller heute die größten Probleme der Landwirtschaft, die sich voraussichtlich verschärfen werden „[...] *wenn nach Maßgabe traditioneller Landwirtschaft die Produktion durch Intensivierung erhöht werden soll.*“ (Grunwald/Kopfmüller 2012: 158) Seit Beginn der Industrialisierung der Landwirtschaft hinzugekommen sind vor allem Probleme wie Nitrate im Grundwasser, Verlust der Biodiversität, Verlust genetischer Vielfalt bei den Kulturpflanzen, sowie eine hohe Abhängigkeit von fossilen Rohstoffen (vgl. Symposium aufbauende Landwirtschaft 2017). Laut dem vom AgrarBündnis e.V.<sup>1</sup> herausgegebenen ‚Kritischen Agrarbericht‘ von 2016 wird in der konventionellen Landwirtschaft jegliche organische Substanz durch die Mineraldüngung fast vollständig mineralisiert, der Boden mit Nitrat angereichert und durch den massiven Maschineneinsatz die CO<sub>2</sub> Produktion gesteigert. Der Einsatz von Bioziden, sowie die intensive Bodenbearbeitung führen dazu, dass Bodenmikroorganismen zerstört werden, welche maßgeblich zur Fruchtbarkeit des Bodens beitragen (s. Kapitel 2). (Vgl. Beste 2016: 74ff.) Wenn Böden intensiv bewirtschaftet werden, wird die organische Substanz darin schneller abgebaut, sodass Nährstoffe und Kohlenstoff weniger gut gespeichert werden können. Die Kohlenstoffgehalte der ackerbaulich genutzten Böden gehen daher weltweit stark zurück. Laut dem Kritischen Agrarbericht wird die organische Substanz bei einer Ackerbewirtschaftung, „[...] *die zu verstärkter Spezialisierung, zu Monokultur und intensiver mineralischer Düngung tendiert, häufig nicht in ausreichendem Maße*

---

<sup>1</sup> Es handelt sich um einen Zusammenschluss von zur Zeit 25 Verbänden der bäuerlichen und ökologischen Landwirtschaft, des Umwelt- und Naturschutzes, des Tierschutzes, der Entwicklungszusammenarbeit sowie der Kirchen (vgl. AgrarBündnis e.V. 2016).

*ersetzt. Es kommt nicht genügend verrottendes Material in die Böden, welches das Bodenleben ernährt, die Durchwurzelung ist einseitig.“ (Beste 2016: 76)*

Der Weltagrarbericht von 2003 macht erstmalig international deutlich, dass die industrielle Landwirtschaft aus volkswirtschaftlicher, sozialer und ökologischer Sicht nicht überlegen ist (vgl. Zukunftsstiftung Landwirtschaft 2013: 22). Das neue Paradigma der Landwirtschaft des 21. Jahrhunderts soll demnach stattdessen sein, kleinbäuerliche, arbeitsintensivere und auf Diversität ausgerichtete Strukturen zu unterstützen, um zu einer „[...] sozial, wirtschaftlich und ökologisch nachhaltigen Lebensmittelversorgung durch hinlänglich widerstandsfähige Anbau- und Verteilungssysteme“ zu gelangen (ebd.).

Obwohl sich die Politik der Dringlichkeit eines Umdenkens bewusst ist, fehlt es vielerorts an Handlungsansätzen und konkreten methodischen Vorschlägen. Wie es anders gehen kann, zeigt jedoch eine wachsende Anzahl an LandwirtInnen und Individuen, die es sich zum Ziel gemacht haben, auf eine Weise zu wirtschaften, die nicht nur weniger schädlich ist, sondern auch den Boden wiederaufbaut, Kohlenstoff langfristig im Boden bindet und damit die organische Substanz im Boden und die Wasserhaltekapazität des Bodens erhöht. Und dies bei gleichbleibenden oder sogar erhöhten Erträgen. Zudem werden laut dem Rodale Institute, einer Forschungseinrichtung zu regenerativer Landwirtschaft in den USA, bäuerliche Gemeinschaften revitalisiert und die Biodiversität und Resilienz der Ökosysteme erhöht. (Vgl. Rodale Institute 2014b: 8) Für diese Art des Lebensmittelanbaus hat sich der Begriff der regenerativen Landwirtschaft durchgesetzt (s. Kapitel 2).

Laut Lehmann und Joseph bietet die Verwendung von Pflanzenkohle als Bodenhilfsstoff (s. Kapitel 3) gute Chancen, die schädigende ‚grüne Revolution‘ in nachhaltige, agrarökologische Praktiken zu überführen. (Vgl. Lehmann/Joseph 2010a: 5f.) Viele WissenschaftlerInnen legen Hoffnungen in diese Technologie, da Forschungen gezeigt haben, dass Pflanzenkohle durch ihre spezifischen Eigenschaften in der Lage ist, die physikalischen und chemischen Eigenschaften des Bodens, unter anderem die Struktur, Durchlässigkeit, Oberflächengröße, Porenstruktur, Dichte, sowie die Kationenaustauschkapazität langfristig zu beeinflussen (s. Kapitel 4.3). (Vgl. Downie et al. 2010: 13) Pflanzenkohle bietet demnach Möglichkeiten, Boden aufzubauen und könnte dadurch einen wertvollen Beitrag zur regenerativen Landwirtschaft leisten. Es handelt sich jedoch um eine vergleichsweise neue Methode, die in Deutschland bislang wenig praktiziert wird und es gibt einige Kritik an der Produktion und Verwendung von Pflanzenkohle (s. Kapitel 4.8.2). Es sollte daher vor einer großflächigen Verwendung zunächst gründlich analysiert und diskutiert werden, ob und wie sie hier in

Deutschland in das Konzept der regenerativen Landwirtschaft integriert werden kann, um es von Anfang an richtig zu machen.

Daraus ergibt sich für die vorliegende Arbeit folgende Forschungsfrage: Wie muss die Produktion und Verwendung von Pflanzenkohle umgesetzt werden, sodass sie einen Beitrag zu einer regenerativen Landwirtschaft in Deutschland leisten kann?

Auf Grundlage einer Literaturanalyse zu dem Konzept der regenerativen Landwirtschaft, sowie der Praktik der Verwendung von Pflanzenkohle als Bodenhilfsstoff im Ackerbau werden in der vorliegenden Arbeit Thesen zur Forschungsfrage aufgestellt (s. Kapitel 6). Um diese mit der Praxis zu verknüpfen und auf ihre Umsetzbarkeit zu überprüfen, sind Praxis- und Erfahrungswissen nötig. Da es im Rahmen dieser Arbeit nicht leistbar ist, für verschiedene Situationen Versuche durchzuführen, wird auf die Expertise verschiedener PraktikerInnen zurückgegriffen, welche in Form von leitfadengestützten ExpertInnen-Interviews erhoben wird. Die drei Anbauweisen biologisch-dynamisch, organisch-biologisch, sowie die Permakultur (als drei Beispiele verschiedener Anbauweisen) haben nach den bestehenden Definitionen regenerativer Landwirtschaft (s. Kapitel 2) den Anspruch, regenerativ zu sein (vgl. Toledo 2015; Lyle 1994; Singh 2017; Rathke et al. 2002: 500f). Daher werden sie in der vorliegenden Arbeit als Beispiele untersucht. Aus der Diskussion der Ergebnisse ergeben sich erste Aufschlüsse darüber, inwieweit und auf welche Art und Weise die Verwendung von Pflanzenkohle ein Bestandteil der regenerativen Landwirtschaft sein könnte, auch wenn weitere Forschung zu verschiedenen Aspekten nötig ist.

*„Regeneration has to do with rebirth of life itself,  
thus with hope for the future.“*

(Lyle 1994: 11)

## 2 Regenerative Landwirtschaft

Im folgenden Kapitel findet eine Einordnung des Begriffs ‚Regenerativität‘ durch die Benennung verschiedener Definitionen statt. Zudem wird erläutert, was den Begriff ‚regenerativ‘ von ‚nachhaltig‘ unterscheidet, ob Regenerativität ein wichtiges Ziel für die Landwirtschaft ist und was dies konkret für die Umsetzung bedeutet. Anschließend wird kurz auf die internationale Diskussion und Praxis eingegangen, sowie der aktuelle Stand in Deutschland erläutert, aus dem sich die Auswahl der drei Beispiele für Anbauweisen ergibt, welche in der vorliegenden Arbeit untersucht werden.

### 2.1 Einführung und Definitionen

Wie eine andere Art der Landwirtschaft aussehen kann, zeigt eine wachsende Anzahl an Individuen und LandwirtInnen, die es sich zum Ziel gemacht haben, auf eine Weise zu wirtschaften, die nicht nur weniger Schadstoffe in die Umwelt einträgt, sondern auch den Boden wieder aufbaut, Kohlenstoff langfristig im Boden bindet und damit beispielsweise den Humusgehalt und die Wasserhaltekapazität des Bodens erhöht, bei gleichbleibenden oder sogar erhöhten Erträgen. Zudem werden laut dem Rodale Institute, einer Forschungseinrichtung zu regenerativer Landwirtschaft in den USA, bäuerliche Gemeinschaften revitalisiert und die Biodiversität und Resilienz der Ökosysteme erhöht. (Vgl. Rodale Institute 2014b)

Der Begriff ‚regenerieren‘, von lateinisch ‚regenerare‘ (re = wieder und generare = (er)zeugen) (vgl. Duden 2017), im Englischen ‚regenerate‘, bedeutet laut Webster’s Dictionary, etwas zu formen oder neu zu kreieren, neu geboren, umgewandelt, oder in einem besseren oder höheren Zustand wiederhergestellt zu werden (vgl. Webster's Dictionary 2017). Etwas anders definiert das Cambridge English Dictionary den Begriff Regeneration als das Verbessern eines Ortes oder eines Systems, insbesondere dadurch, dass es aktiver oder erfolgreicher gemacht wird als es momentan ist (vgl. Cambridge English Dictionary 2017). Beide Definitionen passen jedoch zu den Definitionen der WissenschaftlerInnen und PraktikerInnen, die sich mit regenerativer Landwirtschaft auseinandersetzen, wie sich im Folgenden zeigen wird. Im deutschen Sprachgebrauch bedeutet der Begriff Regeneration laut Duden in der Biologie eine *„erneute Bildung, Entstehung, natürliche Wiederherstellung [...]“* (Duden 2017), also aus sich selbst heraus, ohne viel Zutun von Ressourcen. In

manchen Fällen handelt es sich bei regenerativer Landwirtschaft auch lediglich um das natürliche Wiederherstellen des vorigen Zustands eines degradierten Bodens, doch in vielen Fällen geht der Anspruch darüber hinaus, also den Boden und das gesamte Agrarökosystem kontinuierlich zu verbessern. Es ist wichtig, an dieser Stelle zum Stichwort ‚Agrarökosystem‘ anzumerken, dass es in der Diskussion um regenerative Landwirtschaft darum geht, wie wir als Menschen den Boden und die Ökosysteme dauerhaft für den Nahrungsmittelanbau nutzen können. Es geht also nicht um die Wiederherstellung eines ursprünglichen Zustandes der Ökosysteme. (Vgl. Cummins 2017)

Um die Spannbreite der Ansprüche abzubilden und da der Begriff ‚regenerative agriculture‘ bislang der gebräuchlichste Begriff in der Literatur ist und vor allem im englischsprachigen Raum Verwendung findet, wird sich hier auf die englische Bedeutung bezogen. Allgemein ist die wissenschaftliche Beschäftigung mit dem Begriff und seiner Bedeutung für die Praxis noch sehr am Anfang. Daher gibt es noch nicht viel gedruckte Literatur zum Thema und es muss maßgeblich auf Internetquellen zurückgegriffen werden.

Einer der ersten deutschsprachigen Autoren, die sich mit der Definition des Begriffes regenerative Landwirtschaft beschäftigen ist Hellmut von Koerber (2017) der für das FiBL (Forschungsinstitut für biologischen Landbau) zu dem Thema arbeitet. Seine Definition lautet:

*„Regenerative Landwirtschaft heißt, geschädigte Böden, Vegetation, natürliche und produktive, ländliche und urbane Ökosysteme, Wasserzyklen und Klima wiederherzustellen und kontinuierlich zu verbessern. Regenerative Landwirtschaft ersetzt teure Inputs durch intensivierete Lebensprozesse in vielfältigen, hochproduktiven Ökosystemen. Sie binden mit Sonnenenergie Luft, Wasser und Mineralien zu einem immer wieder nachwachsenden Überschuss an organischer Substanz. Diese zunehmenden Systeme brauchen nur einen minimalen externen Input (und einiges Knowhow), um diesen Überschuss anzuregen und in für uns nutzbare Nahrung, Futter, Rohstoffe, Wirkstoffe, Energie, Bodenaufbau und Biodiversität zu binden.“* (von Koerber 2017b: 1)<sup>2</sup>

Der deutsche Nachhaltigkeitsdiskurs gibt bereits einige Anhaltspunkte dafür, wie die Landwirtschaft aufgebaut sein müsste, um langfristige Erträge zu sichern. In diesem Diskurs gibt es zwei Ansätze, die schwache und die starke Nachhaltigkeit. Die schwache Nachhaltigkeit besagt lediglich, dass der

---

<sup>2</sup> Geschädigte Böden wiederherzustellen bedeutet, die Bodenfruchtbarkeit wiederherzustellen, die auf biologischen (Lebewesen im Boden), physikalischen (Bodengefüge) und chemischen (Nährstoffversorgung) Eigenschaften beruht. Wenn diese drei Aspekte im Gleichgewicht sind, kann von einem gesunden Boden gesprochen werden. (Vgl. Kolbe 2016: 168) Hierauf wird im Folgenden noch detaillierter eingegangen.

durchschnittliche Nutzen der Menschen in Zukunft mindestens dem heutigen Durchschnittsnutzen entsprechen und dauerhaft erhalten werden können muss (vgl. Ott/Döring 2008: 108). Zudem kann diesem Konzept zufolge Naturkapital (Mineralien, Pflanzen und Tiere der Biosphäre, die eine Ökosystemdienstleistung erbringen) durch andere Kapitalformen substituiert werden (vgl. Ott/Döring 2008: 110f.). Hier ist also überhaupt kein regenerativer Anspruch gegeben.

Laut Ott und Döring, die sich bezüglich der Landwirtschaft auf die Managementregeln des Rates von Sachverständigen für Umweltfragen beziehen, bedeutet starke Nachhaltigkeit dagegen, dass erneuerbare Ressourcen nur in dem Maße genutzt werden dürfen, in dem sie sich regenerieren können (vgl. Ott/Döring 2008: 170, zitiert nach SRU 2002: 67) und Naturkapital gilt als nicht substituierbar (vgl. ebd.: 179). Boden als natürliches Kapital wird zudem als zu komplex angesehen als dass man ihn einfach substituieren kann (vgl. Ott et al. 2011: 21). Der Ansatz geht also schon in Richtung Regenerativität. In der regenerativen Landwirtschaft geht es jedoch nicht nur um eine limitierte Nutzung der vorhandenen Ressourcen, sondern um eine aktive Verbesserung landwirtschaftlicher Systeme und im besten Fall zugleich um eine Ertragssteigerung (vgl. von Koerber 2017b: 2).

An anderer Stelle fordern Ott und Döring jedoch, Reproduktivität als einen wichtigen Bestandteil von Nachhaltigkeit zu verstehen: „*Natural productivity (productive and reproductive) is to be sustained on the earth's surface and consciously co-produced throughout all economic (re)production processes.*“ (Ott/Döring 2004, zitiert nach Brüll 2015: 18) Auch Anja Brüll, auf deren Arbeit zur nachhaltigen, sprich regenerativen Biomasseproduktion im Folgenden noch weiter eingegangen wird, fordert: „*renewability must be a part of sustain-ability*“ (Brüll 2015: 15f.). Sie fordert weiter, dass nur diejenigen Systeme als nachhaltig definiert werden sollen, die durch eigene Produktion ihre jeweiligen Produktions- Grundvoraussetzungen reproduzieren (vgl. ebd.: 18).

Doch viele VertreterInnen eines regenerativen Ansatzes für die Landwirtschaft sind der Ansicht, dass die meisten heute geläufigen Definitionen von Nachhaltigkeit in Bezug auf Ressourcennutzung und -verbrauch noch nicht ausreichend sind für eine wirklich dauerhafte Form der Landwirtschaft (vgl. Lyle 1994: 10; Grunwald/Kopfmüller 2012: 158; von Koerber 2017b: 3). Die grundsätzliche Definition „*[d]ie gesamte Gesellschaft ist nachhaltig, wenn sie nur so viel verbraucht wie nachwächst*“ (von Koerber 2017b: 3) ist nicht ausreichend, um beispielsweise die bereits degradierten Böden wiederherzustellen. „*Regeneration ist, wenn man mehr nachwachsen lässt als man verbraucht.*“ (von Koerber 2017b: 3) Zunehmende Systeme sind Quellen von Ressourcen, von denen immer etwas entnommen werden kann, ohne die eigentliche Ressourcen-Quelle zu schädigen (vgl. ebd.). Es können laut von Koerber auf der Hof-Ebene beispielsweise gestörte Stickstoff-, Wasser-, oder Kohlenstoff- Kreisläufe wieder

geschlossen werden, indem man weniger verbraucht und gleichzeitig mehr nachwachsen lässt (vgl. ebd.: 11).

Die Begriffe nachhaltig und regenerativ werden sogar oft synonym gebraucht, was von einigen Akteuren der regenerativen Landwirtschaft kritisiert wird (vgl. The Carbon Underground 2017). Demnach bedeutet Nachhaltigkeit lediglich, dass Methoden angewendet werden, die die Bodengesundheit erhalten.<sup>3</sup> Regenerativität bezieht sich dagegen auf die Notwendigkeit Bodengesundheit wiederherzustellen, Wasser und Kohlenstoffkreisläufe wieder zu schließen, neuen Mutterboden zu produzieren und Pflanzen so anzubauen, dass die Natur das System erhalten kann. (Vgl. ebd.) Methoden regenerativer Landwirtschaft werden auch als qualitativ unterschiedlich zu Methoden nachhaltiger Landwirtschaft gesehen, wenn diese lediglich dafür gedacht sind, keinen weiteren Schaden an Boden oder Biodiversität zu erzeugen, oder Schaden zu reduzieren, z.B. wenn Methoden propagiert werden, die weniger Wasser verbrauchen oder weniger Chemikalien benötigen. Stattdessen sollen sich die Ökosysteme wieder selbst regulieren können. Ansonsten würden wir unseren Nachfahren trotz ‚nachhaltiger Landwirtschaft‘ die bereits zerstörten Ökosysteme hinterlassen. (Vgl. Soloviev/Landua 2016: 6f.)

Eine weitere Abwägung findet zwischen den Begriffen *regenerativ* und *resilient* statt. Das Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL) hat sich aus folgendem Grund für die Verwendung des Begriffes *regenerativ* entschieden und bezieht sich auch auf die Verwendung im englischsprachigen Raum:

*„Regenerativ ist [...] dynamischer, es stecken Aktivitäten dahinter und es geht um die aktive Wiederherstellung eines Gleichgewichts. In den USA wird regenerativ zunehmend für den idealen Biolandbau verwendet, der den Konventionalisierungen eines reinen kommerziellen, nicht nachhaltigen Biolandbaus widersteht.“* (von Koerber 2017b: 14)

Durch Humusaufbau<sup>4</sup> wird die Kohlenstoffspeicherkapazität des Bodens erhöht. Das bedeutet unter anderem, dass Kohlenstoff der Atmosphäre entzogen wird und somit dem Klimawandel

---

<sup>3</sup> Jones (2002) definiert gesunden Boden folgendermaßen: Der Boden ist bedeckt mit Pflanzen und totem organischem Material, was für Temperatenausgleich und eine langsame Verdunstung sorgt und die Wasseraufnahme verbessert. Die Wände unter diesem ‚Dach‘ bilden bestimmte Sekrete und Polysaccharide, die von den Mikroorganismen produziert werden. Diese klebrigen Substanzen sorgen für den Zusammenhalt der Bodenpartikel in sogenannten Aggregaten. Wenn die Bodenpartikel einen guten Zusammenhalt haben, bilden die Poren zwischen den Aggregaten die ‚Räume‘ in dem Haus. Durch sie kann der Boden atmen und schnell Feuchtigkeit aufnehmen. Ein gesunder Oberboden sollte etwa zur Hälfte aus festen Materialien und zur Hälfte aus Porenraum bestehen. (Vgl. Jones 2002: 2)

<sup>4</sup> Humusaufbau: „Pflanzen speichern während der Photosynthese atmosphärischen Kohlenstoff. Im Boden werden Kohlenhydrat-Ausscheidungen der Wurzeln von Bodenorganismen zusammen mit Ernteresten wie Stroh

entgegengewirkt werden kann (vgl. GLS Bank 2015). Hierauf wird im Folgenden noch weiter eingegangen. Ökologische Landwirtschaft ist nach Meinung der Organisation ‚The Carbon Underground‘ jedoch für die Bekämpfung des Klimawandels nicht ausreichend. Denn um die Menge an Boden wiederherzustellen, die nötig wäre, um die Gefahr des Klimawandels abzuwenden, in der Zeit die uns laut den WissenschaftlerInnen noch dafür bleibt, müssten möglichst viele LandwirtInnen davon überzeugt werden, regenerativ zu arbeiten, auch wenn sie sich momentan nicht nach den Richtlinien des ökologischen Landbaus zertifizieren lassen wollen. Außerdem gibt es beim ökologischen Landbau per se keine Garantie für die Kohlenstoff- Sequestrierung. (Vgl. The Carbon Underground 2017) In der ökologischen Landwirtschaft werden oftmals die gleichen oder ähnlichen Bewirtschaftungspraktiken angewendet wie bei der konventionellen Landwirtschaft. Im Kritischen Agrarbericht von 2016 wird angemerkt, dass es dringenden Bedarf gibt, im Ökolandbau mehr Praktiken einzuführen, die auf lange Sicht zu möglichst geschlossenen Nährstoffkreisläufen führen, da aufgrund der Knappheit mehrerer mineralischer Nährstoffe ansonsten gravierende Nachteile in der Bodenfruchtbarkeit und Ertragsfähigkeit drohen. Als besonders betroffen werden Betriebe ohne bzw. mit geringer Tierhaltung angesehen. (Vgl. Kolbe 2016: 172) Auf den Kreislaufbegriff in der Landwirtschaft wird im folgenden Kapitel näher eingegangen.

Auch der Direktor des Rodale Institutes, Timothy J. LaSalle, meint: *„Wir werden das Problem des Klimawandels ohne den Boden und seine Kohlespeicherfähigkeit durch Humusaufbau nicht in den Griff bekommen. [...] Biologische Landwirtschaft alleine ist auch noch nicht die Lösung.“* (LaSalle 2015, zitiert nach GLS Bank 2015)

Im wissenschaftlichen Diskurs um Regenerativität gibt es im deutschsprachigen Raum noch wenige Ansätze. Ein Beispiel ist jedoch die bereits genannte Dissertation von Anja Brüll, in der der Begriff der Regenerativität im Zusammenhang mit nachhaltiger Biomasseproduktion ebenfalls als Erweiterung des Nachhaltigkeitsbegriffs verwendet wird (vgl. Brüll 2015: 43). Ihrer Definition zufolge werden als regenerativ die biologischen Dienstleistungen (Zersetzung, Mineralisierung durch Mikroorganismen) bezeichnet, die Leben und Gesundheit reproduzieren, förderliche Lebens- und Produktionsbedingungen schaffen und Lebensqualität der Menschen fördern. In ihrer Arbeit unterscheidet sie zwischen Produktionsdienstleistungen und regenerativen Dienstleistungen der Natur. Der Begriff der (Re)produktivität setzt sich bei ihr zusammen aus den Begriffen produktiv und regenerativ. (Vgl. ebd.: 105)

---

*weiterverarbeitet. Am Ende dieses Prozesses entsteht Dauerhumus, der den Kohlenstoff über Jahrtausende bewahrt.“* (Bund ökologische Lebensmittelwirtschaft 2004)

Aus den genannten Gründen der uneindeutigen und zumeist unzureichenden Definition des Nachhaltigkeitsbegriffs im Kontext der Landwirtschaft wird in der vorliegenden Arbeit der Begriff der regenerativen Landwirtschaft verwendet.

Die Bedeutung der Regenerativität wird deutlich bei der Betrachtung der Auswirkungen, die nicht nachhaltiges Bodenmanagement auf die Humusschicht des Bodens gehabt haben. Große Teile fruchtbaren Bodens, also der mineralischen Bestandteile und der organischen Substanz, sind bereits verloren, was immer mehr Menschen dazu bewegt, sich zu bemühen die Bodengesundheit (s. oben) wieder aufzubauen (vgl. Regeneration International 23.02.2017). Der Mitbegründer der Organisation The Carbon Underground, Tom Newmark, stellt die Problematik und seine Meinung bezüglich der Lösung folgendermaßen dar:

*“It’s impossible to feed the world without soil. The UN says we have sixty harvests left at the rate we’re going. [...] Regenerative agriculture actually creates new topsoil, reversing the last century’s trend of destroying it. But perhaps the most powerful reason for the movement toward regenerative agriculture is the impact it will have on the biggest threat facing humanity—climate change.”* (Regeneration International 23.02.2017)

Solche Aussagen greifen jedoch etwas zu kurz, da nicht genannt wird, wie oder welcher Teil des Bodens wiederaufgebaut werden soll, denn der mineralische Anteil lässt sich nicht so einfach wiederaufbauen wie der organische. Hierauf wird im folgenden Kapitel näher eingegangen. Nichtsdestotrotz ist es notwendig, auf landwirtschaftliche Praktiken umzustellen, die den Bodenaufbau im Rahmen des Möglichen unterstützen. Der Klimawandel ist ein häufig genanntes Argument dafür. Der Präsident des Dachverbands der biologischen Landbaubewegungen (IFOAM) ist der Meinung: *“Reducing emissions alone cannot solve climate change. We must draw down hundreds of billions of tons to succeed, and restoring our soil is the only known path to do this.”* (Regeneration International 23.02.2017) Auch hier wird wieder nicht auf die wiederherstellbaren Bodenanteile eingegangen, jedoch ist bekannt, dass die Landwirtschaft in Deutschland die zweitgrößte Ursache für Treibhausgasemissionen darstellt. 2016 waren das etwa 66.8 Mio. Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalente (vgl. Umweltbundesamt 2017). Weltweit wird der Anteil der Landwirtschaft am Ausstoß von Treibhausgasen auf 11-15 Prozent geschätzt (vgl. Toensmeier/Herren 2016: 12). Zugleich wird sie von den Folgen des Klimawandels stark bedroht. Die größten Verursacher der landwirtschaftlichen Klimagasemissionen sind die Produktion an sich, z.B. der Reisanbau, die Stickstoffdüngung und die Massentierhaltung, aber auch die Herstellung synthetischer Dünger und Pflanzenschutzmittel, sowie die veränderte Landnutzung (vgl. Grunwald/Kopfmüller 2012: 155; Toensmeier/Herren 2016: 12). Regenerative Landwirtschaft kann, nach Meinung der ExpertInnen, durch Landbau- und optimierte Beweidungspraktiken, die die organische Bodensubstanz

wiederaufbauen<sup>5</sup> und die Vielfalt des Bodenlebens wiederherstellen, gleichzeitig Kohlenstoff aus der Luft sicher im Boden speichern und den Wasserkreislauf verbessern (vgl. Regenerative Agriculture Initiative/The Carbon Underground 2017; Toensmeier/Herren 2016: 20ff.).

Die Aktualität des Themas zeigt ein Treffen im Februar 2017 von VertreterInnen aus über 100 Ländern aus allen Bereichen der Lebensmittelproduktion und -vermarktung, aus der Bodenkunde, von Universitäten und landwirtschaftlichen Bündnissen, bei dem eine gemeinsame Definition für regenerative Landwirtschaft entwickelt wurde (vgl. The Carbon Underground 2017; Regenerative Agriculture Initiative/The Carbon Underground 2017). Einige Ausschnitte aus dieser Tagung wurden bereits aufgezeigt, beispielsweise bei der Abgrenzung der Begriffe nachhaltig und regenerativ voneinander, sowie bei der Kritik am ‚einfachen‘ ökologischen Landbau. Im Folgenden ein Abschnitt aus der allgemeinen Definition:

*„‘Regenerative Agriculture‘ describes farming and grazing practices that, among other benefits, reverse climate change by rebuilding soil organic matter and restoring degraded soil biodiversity – resulting in both carbon drawdown and improving the water cycle. Specifically, Regenerative Agriculture is a holistic land management practice that leverages the power of photosynthesis in plants to close the carbon cycle, and build soil health, crop resilience and nutrient density.“* (Regenerative Agriculture Initiative/The Carbon Underground 2017)

Der Prozess der Definitionsfindung war kollaborativ. Viele der Unterschreibenden waren in den Prozess involviert, um sicherzustellen, dass verschiedene Blickwinkel berücksichtigt wurden. Die Definition wird als ‚lebendig‘ angesehen, da der Prozess des Verstehens der Bodenbiologie und dessen Zusammenhang mit dem Klima, der Ernährungssicherheit, den Wasserkreisläufen, dem Ertrag etc. als Prozess angesehen wird und sich die Definition analog dazu entwickeln können muss. (Vgl. The Carbon Underground 2017) Die Definition wurde aus zwei Gründen entwickelt: Erstens, da regenerative Landwirtschaft ein recht neuer Begriff ist, der noch spezifiziert werden musste und zweitens, um den Begriff davor zu bewahren verwässert zu werden, so wie dies etwa mit dem Begriff der Nachhaltigkeit geschehen ist. Das Ziel war eine regelmäßig nach dem aktuellen Wissensstand aktualisierte Standard-Definition zu entwickeln, die von ProduzentInnen, VerarbeiterInnen, VerkäuferInnen und

---

<sup>5</sup> Der Aufbau organischer Substanz im Boden funktioniert wie folgt: Während der Photosynthese speichern Pflanzen atmosphärischen Kohlenstoff. Die Bodenorganismen verarbeiten die Kohlenhydrat-Ausscheidungen der Pflanzenwurzeln, dabei entstehen Stoffwechselprodukte und Mineralstoffe werden aufgeschlossen. Diese stehen der Pflanze nun wieder als Nährstoffe zur Verfügung. Daher ist eine möglichst große Wurzeloberfläche (z.B. durch einen Dauerbewuchs) notwendig. Jedoch genügt dabei nicht eine einzige Pflanzenart, da jede Pflanze eine eigene Zusammensetzung der Wurzelausscheidungen hat, wodurch die Zusammensetzung der sie umgebenden Bodenbiologie gesteuert wird. Daher werden Pflanzengemeinschaften benötigt. (Vgl. Bund ökologische Lebensmittelwirtschaft 2004; Wenz 2017)

WissenschaftlerInnen gleichermaßen getragen wird. (Vgl. Regenerative Agriculture Initiative/The Carbon Underground 2017) Cummins meint, der Erfolg der Definitionsfindung war das Zusammenbringen vieler kleinbäuerlicher LandwirtInnen, ViehzüchterInnen und HirtInnen, die über die Definiton in Zukunft mit allen VerbraucherInnen mit einem Sinn für Umwelt- und Gerechtigkeitsthemen in Verbindung stehen werden, um den Status quo umzukehren und mehr Kooperation, Solidarität und Regenerativität zu propagieren (vgl. Cummins 2017).

Konkret regeneriert werden sollen „*die Gesundheit, Vitalität und evolutionäre Kapazität ganzer lebender Systeme.*“<sup>6</sup> (Soloviev/Landua 2016: 5) Damit sind in diesem Fall ökonomische Systeme, also Natur-Kultur-Hybride gemeint, Systeme, die bereits vom Menschen verändert wurden (durch Klimawandel, veränderten Oberflächenabfluss, mobilisierte Nährstoffe etc.) und auch weiterhin dem Menschen dienen sollen (vgl. Brüll 2015: 17). Ein solches regeneratives System muss hierfür, wie beispielsweise auch Anja Brüll feststellt, seinen kontinuierlichen Austausch sicherstellen, indem durch eigene funktionale Prozesse die Energie und Stoffe zu seiner Operation hergestellt werden (vgl. Lyle 1994: 10; Brüll 2015: 18).

Eine eigne Definition der „*aufbauenden Landwirtschaft*“<sup>7</sup> (Symposium aufbauende Landwirtschaft 2017), wurde auch verfasst, um ein Symposium verschiedener TheoretikerInnen und PraktikerInnen der regenerativen Landwirtschaft, welches auf Schloss Tempelhof, einer Gemeinschaft in Baden-Württemberg Anfang 2017 stattfand, einzuleiten. Diese ist demnach

*„[...] die Kunst, Nahrungsmittel zu produzieren und dabei gleichzeitig die natürlichen Ressourcen wieder aufzubauen, die Böden zu verbessern und zu beleben, Wasser zurückzuhalten, Tieren Lebensraum zu bieten und vieles mehr. Aufbauende Landwirtschaft heißt, dass wir uns an der aufbauenden Kraft der Natur orientieren und in Partnerschaft mit ihr Landbaupraktiken entwickeln, um zukünftigen Generationen Lebensgrundlagen in aller Vielfalt und Fülle zu schaffen, die ihnen eine freie Entfaltung ermöglicht.“* (Symposium aufbauende Landwirtschaft 2017)

Laut von Koerber umfasst Landwirtschaft in allen Definitionen auch den Gartenbau, die Waldnutzung, die Aquakultur und die Fischerei (vgl. von Koerber 2017b: 1). In der vorliegenden Arbeit liegt der Schwerpunkt auf der Regeneration von Böden durch Maßnahmen, die im Ackerbau eingesetzt werden

---

<sup>6</sup> Übersetzung der Autorin. Original: „*The health, vitality, and evolutionary capability of whole living systems.*“ (Soloviev/Landua 2016: 5)

<sup>7</sup> Der Begriff wird oftmals synonym zu regenerativer Landwirtschaft gebraucht, obwohl hier der Aufbau stärker betont wird als der Wiederaufbau (vgl. von Koerber 2017: 1).

können, jedoch sind, wie bereits gezeigt wurde, die Auswirkungen auf den Wasserkreislauf oder sogar das menschliche Zusammenleben, um nur zwei Beispiele zu nennen, untrennbar damit verbunden.

Regenerative Landwirtschaft benötigt keinen teuren, technisierten Ressourceneinsatz, da lediglich Lebensprozesse intensiviert werden, die in hochproduktiven, vielfältigen Ökosystemen sowieso stattfinden (vgl. von Koerber 2017b: 1). „*Regenerativ wird Landwirtschaft vom Ressourcenverbraucher zur dauerhaften Ressourcenquelle*“ (ebd.), durch die Umwandlung von Sonnenenergie und geologischen Ressourcen. Hierfür wird ein geringes Maß an externem Input benötigt und einiges an Wissen und Arbeit (vgl. ebd.).

Ein weiterer Begriff (zusätzlich zur regenerativen, resilienten, oder aufbauenden Landwirtschaft) wurde von Mark Shepard eingeführt, nämlich der Begriff „*restoration agriculture*“ (Shepard 2013). Restoration agriculture- Systeme werden von ihm definiert als natürliche, mehrjährige landwirtschaftliche Ökosysteme, die die Natur in Form und Funktion imitieren und gleichzeitig in der Lage sind, sowohl die Hauptnahrungsmittelversorgung sicherzustellen, als auch die Qualität der Umwelt zu erhöhen. Dies gilt sowohl für die Größenordnung eines eigenen Gartens als auch die eines großen landwirtschaftlichen Betriebs. (Vgl. Shepard 2013: xxi) Er verwendet den Begriff also als Kontrast zur vielfach praktizierten einjährigen Landwirtschaft (insbesondere zur Produktion der Grundnahrungsmittel in Form von Getreide und Mais) mit intensiver Bodenbearbeitung.

Die Methoden von Mark Shepard sind jedoch recht speziell, da durch sie eine Abkehr von der einjährigen Landwirtschaft stattfinden soll, auf der der Großteil unserer momentanen Lebensmittelproduktion beruht. Die meist genannten Prinzipien der regenerativen Landwirtschaft sind nicht ganz so radikal, auch um die Umsetzbarkeit realistischer und niedrigschwelliger zu machen, auch wenn sie als Bestandteil einer Reihe von Praktiken die vermehrte Verwendung mehrjähriger Pflanzen durchaus beinhalten können (s. Kapitel 2.4). Von Koerber hat mit einigen PraktikerInnen Interviews geführt, darunter mit dem Landwirt Gabe Brown, der in North Dakota, USA, einen Hof nach eigens definierten Prinzipien regenerativer Landwirtschaft betreibt<sup>8</sup>. Diese werden im Folgenden exemplarisch genannt. Auf die konkreten Praktiken wird in den folgenden Kapiteln näher eingegangen.

1. so wenig mechanische Störung des Bodens wie möglich verursachen.
2. eine ständige Bodenbedeckung gewährleisten.
3. möglichst große Vielfalt befördern.
4. so lange wie möglich lebende Wurzeln erhalten.

---

<sup>8</sup> [www.brownsranch.us](http://www.brownsranch.us)

5. Tiere sind ein wichtiger Bestandteil eines gesunden Ökosystems. (Vgl. von Koerber 2017b: 11f.)

Diese Prinzipien mit ihren Begründungen und ihrer Umsetzung in den jeweiligen Praktiken werden in Kapitel 2.4 näher erläutert.

Allgemein geht es darum, so viel Sonnenenergie wie möglich in Leben umzusetzen und für den eigenen Ertrag zu nutzen (vgl. ebd.: 4).

Regenerative Landwirtschaft besteht aber nicht nur aus einzelnen Praktiken, bzw. Regeneration kann nicht durch das Anwenden einer bestimmten Methode (z.B. No-Till<sup>9</sup>) erreicht werden. Dies geschieht erst durch das Zusammenspiel verschiedener, an die jeweiligen Umstände angepasster, die Bodenlebewesen fördernder Praktiken (vgl. ebd.: 5).

Aus diesem Grund kann die Pflanzenkohle auch nur als ein Baustein einer regenerativen Landwirtschaft angesehen werden, der in einen komplexen agrarökologischen Zusammenhang eingebettet ist. Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist es herauszufinden, wie dies geschehen könnte.

Zusammenfassend wird der Begriff der regenerativen Landwirtschaft in der vorliegenden Arbeit folgendermaßen verwendet: Es sollen sowohl natürliche als auch menschlich genutzte Ökosysteme in einen besseren als den derzeit vorherrschenden Zustand (re)produziert werden. Dies muss nicht der ursprüngliche Zustand des jeweiligen Systems sein, sondern das System soll schließlich in der Lage sein, seine eigenen Produktionsbedingungen unter den jeweiligen Umständen selbstständig zu regenerieren. Dies bezieht sich vor allem auf Böden, Vegetation, Wasserzyklen und Klima, unter anderem durch den Aufbau organischer Substanz im Boden und die Förderung des Bodenlebens und die Nutzung des Potenzials der Photosynthese, wodurch Kohlenstoff der Atmosphäre entzogen und langfristig im Boden gespeichert wird. Es handelt sich um eine ganzheitliche Management-Strategie für landwirtschaftliche Flächen, d. h. alle natürlichen und menschlich beeinflussten Faktoren werden berücksichtigt. Die Ziele sind neben der (Wieder)herstellung, bzw. wenn möglich der Verbesserung der Bodengesundheit die Resilienz der angebauten Kulturen, die Produktion nährstoffreicher Lebensmittel sowie die Förderung der Lebensqualität der Menschen.

Gleichzeitig muss darauf hingewiesen werden, dass sich in keiner zitierten Definition ein Hinweis darauf findet, dass sich lediglich die organischen Bestandteile eines Systems innerhalb eines lokalen Kreislaufes vermehren lassen, die mineralischen jedoch nach und nach verloren gehen und nicht so einfach wiederhergestellt oder gar vermehrt werden können, da sie lediglich geologischen und nicht atmosphärischen Ursprungs sind. Diese Problematik wird nun im folgenden Kapitel näher betrachtet.

---

<sup>9</sup> Pfluglose Bodenbearbeitung, s. Kapitel 2.4

## 2.2 Die Grenzen der regenerativen Landwirtschaft

Eine Problematik der Landwirtschaft allgemein ist die Herstellung eines tatsächlichen Nährstoffkreislaufes. Durch bestimmte Methoden der regenerativen Landwirtschaft, bei denen Ressourcen in einem betriebseigenen Kreislauf gehalten werden (z.B. Mulchen, Direktsaat, mehrjährige Kulturen, Kompostierung etc. (s. Kapitel 2.4)), lässt sich der Anteil organischer Substanz im Boden erhöhen und damit die Fruchtbarkeit und die Kohlenstoffspeicherkapazität des Bodens fördern. Worauf jedoch auch in der regenerativen Landwirtschaft nur wenig Augenmerk gelegt wird, ist die Rolle der anorganischen Bodenbestandteile, also der Mineralien. Die australische Bodenbiologin Christine Jones beschreibt gesunden Oberboden als eine Zusammensetzung von Mineralien, Luft, Wasser und lebenden Bestandteilen wie Pflanzenwurzeln, Mikroorganismen, Insekten und Würmern, sowie der toten organischen Bestandteile, die diese produzieren (vgl. Jones 2002: 3). Organische Bestandteile wie Kohlenstoff und Stickstoff werden von den Pflanzen während des Photosynthese-Prozesses über die Luft aufgenommen (vgl. ebd.: 1f.; van Straaten 2006: 2). Daher können sie, bei gleichzeitiger Anwendung von Praktiken regenerativer Landwirtschaft, tatsächlich vermehrt und Boden somit aufgebaut werden. Was jedoch nach der Ausbeutung eines Bodens durch Ernte ohne Rückführung der Nährstoffe irreversibel verloren ist, sind seine mineralischen Bestandteile (vgl. van Straaten 2006: 731). Mineralische Makronährstoffe (kommen in Grammmengen im Organismus vor), die für das Pflanzenwachstum wichtig sind, sind vor Allem Phosphor, Kalium, Kalzium, Magnesium und Schwefel (vgl. Cremer 1973: 41; van Straten 2004: 4f.). Mikronährstoffe, die in sehr viel geringeren Mengen benötigt werden, sind vor Allem Eisen, Mangan, Zink, Kupfer, Nickel, Kobalt, Selen und Bor (vgl. Martínez-Ballesta et al. 2011: 124; Cremer 1973: 41).

Um 1840 fasste Justus von Liebig als erster klar zusammen, was er über die Bedeutung der anorganischen Bestandteile aller Lebewesen als Nährstoffe herausfand. Experimente und Untersuchungen zu Natur und Herkunft dieser Bestandteile hatten jedoch schon vorher stattgefunden. (Vgl. Cremer 1973: 23). Liebig wies nach, dass in den verschiedenen Pflanzenteilen unabhängig von ihrem Standort stets ungefähr die gleichen Elemente enthalten sind. Er folgerte daraus, dass diese Mineralstoffe, die auch in der Asche der Pflanzen zu finden war, für die Pflanzenernährung eine Rolle spielen, so wie Lebensmittel dies für den Menschen tun. Die Fruchtbarkeit eines Bodens sei demnach von der Menge der in ihm enthaltenen Nährstoffe abhängig. Daraus entwickelte Liebig seine Düngetheorie, die er der landwirtschaftlich praktizierten ‚Raubwirtschaft‘ entgegengesetzte, wie er sie nannte. (Vgl. ebd.: 39) Seine Kritik lautete:

*„In seinen Feldfrüchten verkauft der Landwirt sein Feld; er verkauft in ihnen gewisse Bestandteile der Atmosphäre, welche seinem Boden von selbst zufließen, und gewisse Bestandteile des Bodens, welche sein Eigentum sind und die dazu gedient haben, aus den atmosphärischen Bestandteilen den Pflanzenleib zu bilden, von dem sie selbst Bestandteile ausmachen; indem er diese Feldfrüchte veräußert, raubt er dem Felde die Bedingungen ihrer Wiedererzeugungen; eine solche Wirtschaft trägt mit Recht den Namen einer Raubwirtschaft.“ (Liebig 1851, zitiert nach Cremer 1973: 39)*

Um dem entgegenzuwirken genüge es laut Liebig nicht, mit Stallmist den Boden zu düngen, sondern es müsse auf Grundlage einer Analyse der fehlenden Nährstoffe eine ‚künstliche Düngung‘ erfolgen (vgl. Cremer 1973: 39f.).

Mineralstoffmängel im Boden werden für diverse Krankheiten verantwortlich gemacht, da eine ausgewogene Verfügbarkeit der verschiedenen Elemente Voraussetzung für die Gesundheit von Pflanzen, Menschen und Tieren ist (vgl. von Koerber 2017a: 9). Daher erfolgte unter anderem auf Grundlage von Liebigs Schriften nach und nach die Entwicklung der synthetischen Düngemittel, mit deren Hilfe die Rückführung mineralischer Nährstoffe in der konventionellen Landwirtschaft begann (vgl. van Straaten 2006: 738). Hierfür wurde und wird beispielsweise begrenzt vorhandenes Phosphatgestein und andere Gesteine unter Einsatz toxischer Chemikalien in Minen abgebaut und über weite Strecken transportiert (vgl. Morse et al. 1998: 78). Hans-Peter Rusch, einer der Mitbegründer der organisch-biologischen Landwirtschaft (s. Kapitel 3.1) hat in den 1950er Jahren den Einsatz von Steinmehlen und Stadtkomposten empfohlen, eine Praxis, die heute noch im biologischen Landbau Anwendung findet (vgl. von Koerber 2017a: 9).

Diese Gesteinsmehle bestehen beispielsweise aus Basalt, Diabas, Lava, Quarz oder Zeolith (vgl. Dünger und Erde 2015). Die Herstellung dieser Gesteinsmehle ist jedoch durch das Zerkleinern und Mahlen sehr energieintensiv. Zudem müssen diese ebenfalls in Steinbrüchen abgebaut und große Mengen des Produktes müssen anschließend über weite Strecken transportiert werden. (Vgl. van Straaten 2006: 738) Dies ist nicht im Sinne einer regenerativen Landwirtschaft, die zum Ziel hat, mithilfe der auf der Fläche vorhandenen Ressourcen, Boden aufzubauen.

Vor der Entwicklung der synthetischen Düngemittel wurden Flächen nach einer Kultivierungsperiode für eine gewisse Zeit brach liegen gelassen, damit die physikalische Zersetzung und chemische Verwitterung von Nährstoffen aus Mineralien unter natürlichen Bedingungen stattfinden konnte (van Straaten 2004: 5). Nach Meinung von van Straaten ist also die einzige Möglichkeit für die Landwirtschaft (also auch die regenerative Landwirtschaft) das Brachliegenlassen, wenn nichts von außen importiert werden soll (van Straaten 2004: 5).

Christine Jones befasst sich als eine von wenigen mit der Thematik der Mineralienverfügbarkeit- und Aufnahme durch die Pflanzen in der regenerativen Landwirtschaft. Ihrer Meinung nach ist der Prozess der (Ober)bodenbildung keiner von endlos langen Zeiträumen.

*„The rates of soil formation provided in the scientific literature usually refer to the weathering of parent material and the differentiation of soil profiles. These are extremely slow processes, sometimes taking thousands of years. Topsoil formation is a separate process to rock weathering and can occur quite rapidly under appropriate conditions. In fact, soil building occurs naturally in most terrestrial habitats unless reversed by inappropriate human activities, or prevented by lack of disturbance.“* (Jones 2002: 2)

Jones unterscheidet aufbauende und abbauende Prozesse im Boden, die ihrer Meinung nach oft verwechselt werden. Bei der Zersetzung von organischer Substanz werden Mikroorganismen benötigt, die die Energie, die in der Zellulose, Lignin, Stärke, den Ölen usw. der Pflanze enthalten ist, freisetzen. Dabei wird auch CO<sub>2</sub> freigesetzt. Dies ist also ein abbauender Prozess. Der Prozess der Humusbildung dagegen ist ein aufbauender Prozess, bei der Zucker der Ausgangsstoff und nicht das Endprodukt ist. Die Mikroorganismen verwenden Zucker, um komplexe, stabile Kohlenstoffverbindungen herzustellen, unter anderem Humus. (Vgl. Jones 2015: 2) Nach Jones spielen Mykorrhiza-Pilze, die in Symbiose mit dem Feinwurzelsystem von Pflanzen leben, eine besondere Rolle bezüglich der Mineralienverfügbarkeit eines Bodens. Bestimmte Enzyme lösen beispielweise Phosphor, Stickstoff, Schwefel, Kalzium, Magnesium, oder Eisen aus ihrer festen chemischen Verbindung im Boden. Die Mykorrhiza-Pilze transportieren den Nährstoff daraufhin zur Pflanzenwurzel. (Vgl. ebd.: 2f.) *„Mycorrhizal fungi are both the highway and the Internet of the soil.“* (Ebd.) (S. auch Kapitel 4.3.3) Jones ist auch der Meinung, dass die Mineralien im Boden nicht so begrenzt sind wie wir denken, da sie nicht in einer pflanzenverfügbaren Form vorliegen. 97% der Mineralien werden ihr zufolge erst durch Mikroorganismen verfügbar gemacht, weshalb die wichtigste Aufgabe der regenerativen Landwirtschaft die Förderung dieser Mikroorganismen sei. Auf die konkreten Praktiken und die Chancen der Pflanzenkohleverwendung in diesem Bereich wird im Folgenden weiter eingegangen.

Die einzige Möglichkeit, um zumindest einem betriebsinternen Kreislauf näher zu kommen, sehen viele VertreterInnen der regenerativen Landwirtschaft in der Verwendung von Komposttoiletten, also in der Rückführung kompostierter menschlicher Fäkalien, die Mineralien enthalten, und/oder in der Verwendung von Klärschlamm, in dem ebenfalls Mineralien enthalten sind, der jedoch Probleme wie Schwermetall- oder Medikamentenbelastung mit sich bringen kann. (Vgl. Croy 2017; Dzeyk 2017; Skiba 2017)

Zwei Permakultur-Experten, die viele Projekte mit begleitet und unterstützt haben meinen, oft sei es lediglich in den ersten Jahren unumgänglich, dem Boden bestimmte Mineralien zuzuführen, wenn dieser bereits stark degradiert ist. Durch die anschließende Einführung eines bodenschonenden Systems mit Methoden der regenerativen Landwirtschaft (s. Kapitel 2.4) sei kein Mineralienmangel mehr beobachtbar, solange man dem Boden nicht wieder maximale Ernten entziehen würde. (Vgl. Gampe 2017; Dzeyk 2017)

Zusammenfassend lässt sich jedoch sagen, dass auch dies keine direkten Antworten auf das Problem der begrenzten Verfügbarkeit der Bodenmineralien und der Irreversibilität der bereits entstanden Schäden an Böden sind, die die regenerative Landwirtschaft ihrem Anspruch nach zu beheben versucht. Daher kann nur individuell anhand der jeweiligen Fläche versucht werden, Stoffkreisläufe regional so weit wie möglich zu schließen. Organische und anorganische Nährstoffe sollten durch geeignete Maßnahmen soweit wie möglich in einen solchen Kreislauf gebracht werden, jedoch kann nur die organische Substanz durch den Luftkohlenstoff tatsächlich erhöht werden, nicht aber die mineralischen Anteile.

### **2.3 Ursprünge/Geschichte**

Wie bereits erwähnt ist der Ansatz, die Bodenregeneration in die landwirtschaftliche Praxis einzubeziehen nicht neu. In der bäuerlichen Landwirtschaft vor der Industrialisierung wurde dieser Aspekt immer berücksichtigt, da man über viele Generationen auf die Flächen angewiesen war. Mit der Industrialisierung und der Einführung von Bioziden und synthetischen Düngemitteln veränderte sich dies weltweit stark. (Vgl. Mazoyer/Roudart 2006: 392) Antje Brink schrieb in einem Tagungsband zur bäuerlichen Landwirtschaft von 1988, dass diese Jahrhunderte lang kaum Schaden angerichtet habe. Sie habe auch starke Naturveränderungen und auch an einigen Orten Belastungen verursacht, jedoch insgesamt nicht zur Verarmung, sondern im Gegenteil zur Bereicherung der Landwirtschaft beigetragen und habe die natürlichen Ressourcen nicht übermäßig gefährdet (vgl. Brink 1988: 96). Die regenerative Landwirtschaft ist demnach keine neue Erfindung. Vielmehr sind in dem Konzept Praktiken vereint, die vor der Industrialisierung der Landwirtschaft gang und gäbe waren. Insofern kann die regenerative Landwirtschaft als eine Synthese traditioneller kleinbäuerlicher Praktiken mit neuen wissenschaftlichen Erkenntnisse angesehen werden. (Vgl. Cummins 2017) Auf eine gesamte Darstellung der Entwicklung der (ökologischen) Landwirtschaft, auf der die Idee der regenerativen Landwirtschaft aufbaut, wird hier bewusst verzichtet, da es den Rahmen der Arbeit sprengen würde. Es sei an dieser Stelle jedoch kurz angemerkt, dass der ökologische Landbau, der etwa seit Beginn des

20. Jahrhunderts in die Praxis Einzug fand, auf lebensreformerischen Gedanken aufbaute, dessen zentrale Themen das Landleben und die traditionelle kleinbäuerliche Lebensweise waren (vgl. Rathke et al. 2002: 490).

Laut Ronnie Cummins, dem Direktor der Organic Consumers Association (OCA) in den USA, verkörpert auch die regenerative Landwirtschaft die bewährten traditionellen und indigenen Verfahren der ökologischen Landwirtschaft, der Tierhaltung und des Naturschutzes (vgl. Cummins 2017).

In den Agrarwissenschaften, die ebenfalls zu Beginn des 20. Jahrhunderts als eigenständige Forschungsrichtung aufkamen, fand die Bedeutung anderer Bodenfruchtbarkeits- Aspekte außer des Mineral- und Stickstoffgehaltes wenig Berücksichtigung. Die Reformbewegung erkannte dagegen die Bedeutung der Humuswirtschaft<sup>10</sup>, die laut Dunst den entscheidenden Faktor für die Bodenfruchtbarkeit darstellt (vgl. Dunst 2011: 19) und der pflanzlichen und tierischen Bestandteile eines Bodens, sowie dessen Krümelstruktur (vgl. Rathke et al. 2002: 494f.). Dies ist ebenfalls ein wichtiges Argument für die neu entstehende Bewegung der regenerativen Landwirtschaft, für die diese Erkenntnisse die Grundlage bilden.

Erstmals im Kontext der Landnutzung verwendet wurde der Begriff regenerativ von Robert Rodale<sup>11</sup>, als er in den 1940er Jahren versuchte, die in seinem eigenen ökologischen Land- und Gartenbau beobachtete kontinuierliche Wiederherstellung des komplexen Bodenlebens, welches für ihn einen wichtigen Faktor der Regenerationsfähigkeit darstellte, in Abwesenheit von landwirtschaftlichen Chemikalien zu beschreiben (vgl. Lyle 1994: 10). Er nannte diese Form der Landwirtschaft „*regenerative ökologische Landwirtschaft*“ (Rodale Institute 2018). Das Rodale Institute besteht bereits seit 1942. Heute wird dort praktische Forschung zu verschiedenen Aspekten regenerativer Landwirtschaft betrieben. (Vgl. ebd.) (s. Kapitel 2.5).

## 2.4 Methoden und Praktiken Regenerativer Landwirtschaft

Weltweit gibt es eine weit größere Diversität an Praktiken, die zur regenerativen Landwirtschaft gezählt werden können als hier vorgestellt werden. Um den Rahmen der Arbeit nicht zu sprengen werden hier nur einige beispielhafte Methoden und Praktiken vorgestellt, die in Deutschland

---

<sup>10</sup> Durch eine veränderte Bewirtschaftung kann der Humusgehalt der Böden (wieder)aufgebaut werden. Der aufgebaute Humus bleibt so lange auf dem erhöhten Niveau stabil, wie die neue Wirtschaftsweise beibehalten wird. Das Ideal sind in unserem Klimagebiet rund 6-8% Humusanteil. (Vgl. Dunst 2011: 80)

<sup>11</sup> vom genannten Rodale Institute, Anm. d. Autorin.

angewendet werden können oder bereits teilweise im ökologischen aber auch konventionellen Anbau angewendet werden. Die ausgewählten Praktiken stammen zumeist aus dem Buch *“The Carbon Farming Solution: A global toolkit of perennial crops and regenerative agriculture practices for climate change mitigation and food security”* (Toensmeier/Herren 2016), das eine sehr gute Übersicht über weltweite Praktiken gibt. Diese Praktiken werden auch an anderen Stellen als Praktiken regenerativer Landwirtschaft genannt (vgl. z.B. Elliott 2016; von Koerber 2017b: 5).

Nach Bedarf wurden weitere Primär- und Sekundärquellen zur Spezifizierung einzelner Praktiken und Methoden herangezogen. Viele der Beispiele wurden auch Anfang 2017 in Deutschland beim bereits genannten ‚Symposium aufbauende Landwirtschaft‘ (s. Kapitel 2.1) thematisiert (vgl. Symposium aufbauende Landwirtschaft 2017).

Alle genannten Praktiken und Methoden sollten als Bausteine einer regenerativen Landwirtschaft angesehen werden. Sie können kombiniert und integriert werden, um Systeme auf kreative Weise zu optimieren. Beispielsweise kann eine Reihenmischkultur aus essbaren Gehölzen in ein einjähriges Kulturpflanzen-System mit Fruchtfolge und pflugloser Bodenbearbeitung integriert werden. (Vgl. Toensmeier/Herren 2016: 79)

#### **2.4.1 Nichtwendende Bodenbearbeitung**

Die intensive Bodenbearbeitung ist laut Dunst eine Hauptursache für den Abbau von Humus in den Böden. Durch den Pflug wird zu viel Sauerstoff eingebracht, der zu Oxidation und dadurch Humusabbau führt. Dies war lange Zeit auch erwünscht, da durch den Abbau der Humusschicht auch die darin enthaltenen Nährstoffe freigesetzt wurden, was zu höheren Erträgen führte. (Vgl. Dunst 2011: 94) Jedoch sind die Böden nun vielerorts an Humus verarmt, weshalb eine oft genannte und vieldiskutierte Praktik der regenerativen Landwirtschaft die minimale, bzw. komplett pfluglose (no-till) Bodenbearbeitung ist (vgl. Regenerative Agriculture Initiative/The Carbon Underground 2017; Toensmeier/Herren 2016: 69). Diese wird inzwischen auch immer mehr von konventionellen LandwirtInnen angewendet. Mehr als 124 Millionen Hektar Fläche werden weltweit bereits so bewirtschaftet (vgl. Toensmeier/Herren 2016: 69), jedoch teilweise mit erheblichem Herbizideinsatz. Daher liegt laut Dunst die Herausforderung in der Weiterentwicklung der Methode, sodass vollständig auf Herbizide verzichtet werden kann. Hierfür gäbe es jedoch bereits vielversprechende Beispiele. (Vgl. Dunst 2011: 95) Bei der nichtwendenden Bodenbearbeitung handelt es sich um ein System, bei dem das Einziehen von Schlitzen für das Saatgut die einzige Bodenbewegung darstellt. Es kann direkt in den lebenden Bestand eingesät werden, damit der Boden ständig bedeckt und durchwurzelt bleibt (s. Abb. 1). Auf diese Weise kann eine höhere Kohlenstoffanreicherung im Boden geschaffen werden, sowie eine erhöhte mikrobielle Biomasse. (Vgl. Mauk 2012: 20)

Ob gepflügt werden sollte und auf welche Weise sollte laut dem Demeter-Landwirt Friedrich Wenz den jeweiligen Umständen entsprechend geprüft werden, da jede Bodenschicht ihren eigenen Lebensraum mit genau definierten Faktoren hat: Porenvolumen, Temperatur, Zusammensetzung der Bodenluft, Wassersättigung etc. Die Pflanzen stellen sich darauf ein und bilden dementsprechend ihre Wurzeln aus (vgl. Wenz 2017). Ziel der Bodenbearbeitung muss es daher sein,

*„[...] diese Verhältnisse so gut wie möglich aufrecht zu erhalten. Das geht nur, wenn man die Schichten möglichst da belässt, wo sie sich etabliert haben. Ein tiefes Wenden (,mitteltiefe Pflugfurche‘) bringt zwar einen kurzfristig sauberen Acker, aber es zwingt die Bodenbiologie auch, sich wieder neu organisieren zu müssen. In dieser Zeit kann kein Bodenaufbau geschehen, da wir, aus der Sicht des Bodens gesehen, den ‚RESET‘ Knopf drücken, d.h. alles wieder auf Null stellen.“ (Wenz 2017)*

Wenn also das Wenden doch notwendig ist, sollte lediglich innerhalb der oberen Bodenschichten gewendet werden. Der Unterboden kann durch eine teilweise oder ganzflächige Tiefenlockerung erfolgen (s. Kapitel 2.4.6) (vgl. Wenz 2017).



**Abbildung 1: Direktsaat-Acker (Rodale Institute 2014a)**



**Abbildung 2: Ein vom Rodale Institute entwickeltes Gerät zur pfluglosen Bodenbearbeitung (Rodale Institute 2014a)**

Für die komplett pfluglose Bodenbearbeitung wurden spezielle Geräte entwickelt, die die Gründüngung abknicken und quetschen und somit abtöten (s. Abb. 2), damit sie als Mulch zur Beikrautregulierung liegen bleibt. Jedoch muss auch hier zumeist noch für die Pflanzung der Gründüngung vorerst gepflügt werden, die Methode ist also nicht ganz pfluglos. Mit einem speziellen Tiefenpflug, der die Samen direkt in die Erde 'bohrt' kann jedoch auch komplett ohne Bodenwendung gearbeitet werden. (Vgl. Graves 2013: 215f.) Näheres zu dieser Methode findet sich in Kapitel 4.6.3.

### 2.4.2 Agroforst-Systeme

In Agroforst-Systemen werden Bäume und Gehölze in Kulturen oder Grasland integriert. In Deutschland findet sich dies in Form von Streuobstwiesen und den typischen ‚Knicks‘, jedoch zunehmend auch in anderen Formen, beispielsweise Waldgärten, Waldweiden, oder Werthölzern in Äckern (vgl. von Koerber 2017b: 5).

Einige verschiedene Agroforstsysteme werden hier kurz vorgestellt:

Bei der Reihemischkultur, dem sogenannten **'Strip-Intercropping'** werden Bäume und einjährige Kulturpflanzen in alternierenden Reihen gepflanzt. Die Bäume liefern dabei meist Bau- oder Energieholz oder Lebensmittel. Dies ist eine am weitesten verbreitete Form der Agroforstwirtschaft mit einjährigen Kulturpflanzen, z.B. Getreide. Mit der richtigen Kombination an Pflanzenarten kann der Ertrag insgesamt höher sein als bei einer Monokultur, da die Bäume Windschutz und organische Substanz liefern und auch selbst einen Ertrag erbringen. (Vgl. Toensmeier/Herren 2016: 72ff.)



Abbildung 3: Silvopasture (Chedzoy 2013)



Abbildung 4: Alley-cropping mit Weizen und Pappeln (Greene 2016)

Ein anderes Agroforstsystem ist das **Alley-Cropping**. Dort werden alternierende Reihen einjährige und mehrjährige Pflanzen gepflanzt. Oftmals handelt es sich bei den mehrjährigen Pflanzen um stickstofffixierende Gehölze (s. Abb. 4), die regelmäßig kultiert und als Energieträger verwendet werden. Im Gegensatz zum Strip-Intercropping erfüllen die mehrjährigen Pflanzen hier primär den Zweck der Unterstützung der einjährigen Pflanzen, beim Strip-Intercropping werden beide Pflanzenarten gleichwertig betrachtet. (Vgl. Toensmeier/Herren 2016: 77f.)

Das sogenannte **‚Silvopasture‘** ist ein Agroforstsystem, bei dem Beweidung mit Bäumen kombiniert wird (s. Abb. 3). Teilweise werden dafür bereits existierende Wälder oder Savannen beweidet, teilweise werden extra Baumpflanzungen angelegt oder das natürliche Wachstum holziger Vegetation zugelassen und befördert. (Vgl. ebd.: 92)

### 2.4.3 Polykulturen

Mischkulturen oder Polykulturen sind kultivierte Systeme, in denen zwei oder mehr Kulturpflanzen gleichzeitig angebaut werden (s. Abb. 5). Dies dient dazu, den gegenseitigen Nutzen der Pflanzen zu maximieren, Konkurrenz zu minimieren und die Menge der Management- und Erntearbeit zu minimieren. Ein Beispiel dafür ist die Kultur von Mais, Bohnen und Kürbissen auf einer Fläche, der sogenannte Milpa-Anbau der Azteken (s. Abb. 6). Die Bohnen binden den Stickstoff, den der Mais und die Kürbisgewächse benötigen. (Vgl. Toensmeier/Herren 2016: 67)



Abbildung 5: Polykultur von Gemüsepflanzen (Navalkar 2016)



Abbildung 6: Milpa-Anbau - die Maispflanzen dienen den Kürbissen und Bohnen als Stütze (Schmidt 2013b)

### 2.4.4 Mehrjährige Systeme

Häufig im Zusammenhang mit regenerativer Landwirtschaft erwähnt wird die Verwendung mehrjähriger Pflanzenarten. Vollständig mehrjährige, integrierte Systeme speichern typischerweise mehr Kohlenstoff als einjährige Systeme (vgl. Toensmeier/Herren 2016: 99).

Einigen wissenschaftlichen Erkenntnissen zufolge kann der Kohlenstoffgehalt des Oberbodens bei der Umstellung auf mehrjährige Kulturen innerhalb von drei bis fünf Jahren verdoppelt werden. Diese Systeme profitieren laut Mauk außerdem von den Vorteilen der pfluglosen Bodenbearbeitung. (Vgl. Mauk 2012: 21)

Die Entwicklung mehrjähriger Systeme, welche auch den Bedarf an Grundnahrungsmitteln decken können, wird von Mark Shepard in seinem '**Restoration Agriculture**'- Ansatz propagiert (vgl. Shepard 2013) (s. Abb. 7). Seine Begründung für den Einsatz mehrjähriger Pflanzen fasst er wie folgt zusammen:

*"[...] perennial woody plants leaf out sooner in the spring, stay greener in the fall, capture more total sunlight per acre, only need to be planted once, reduce or eliminate soil erosion, reduce seasonal flooding, sequester carbon, provide habitat for pest-eating organisms and other wildlife, and can be*

*arranged into systems that closely mimic native, natural systems that have existed for millions of years while increasing the site fertility and species abundance.” (Ebd.: 153)*



**Abbildung 7: Die Farm von Mark Shepard mit hauptsächlich mehrjährigen Kulturen (Horvath 2018)**

Einige Pflanzen, die er nennt, sind typisch für Nordamerika, jedoch sind diese Arten auch in unseren Breiten weit verbreitet: Eichen, Kastanien, Birken, Äpfel, Haselnüsse, Steinobst wie Kirschen, Pflaumen, Pfirsiche, Beeren (Himbeeren, Brombeeren, Johannisbeeren), Weintrauben und Pilze (vgl. ebd.: 73). Als stärkereiche Grundnahrungsmittel werden Nüsse und vor allem Edelkastanien (*Castanea Sativa*) empfohlen. Kastanien galten bereits bis ins 19. Jahrhundert vor Allem in den Bergregionen Südeuropas als Grundnahrungsmittel. (Vgl. ebd.: 168f.)

#### **2.4.5 Integration von Nutztieren**

Eine Praktik, die strenggenommen nicht in den Bereich des Ackerbaus fällt ist das optimierte Weidemanagement (vgl. Toensmeier/Herren 2016: 91; The Carbon Underground 2017), zum Beispiel im Sinne des von Allan Savory vom Savory Institute entwickelte '**Holistic Planned Grazing**'- Ansatzes. Hierbei handelt es sich um einen Tier- und Landmanagement- Ansatz, bei dem die Natur imitiert wird, um einen Nutzen sowohl für den Tierbestand als auch für die Biodiversität zu erbringen. Die wichtigste Erkenntnis hierbei ist, dass Überweidung eine Auswirkung von Zeit und nicht von der Anzahl an Tieren ist. (Vgl. Regenerative Agriculture UK 2017) Darum geht es beim Holistic Planned Grazing unter anderem darum, wieviel Futter die einzelnen Weideparzellen bieten und wieviel Zeit eine bestimmte Anzahl Tiere in diesen Zellen verbringt (vgl. Butterfield et al. 2006: 57). Die Ziele der geplanten

Beweidung sind den Tierbesatz zu optimieren, die Überweidung von Pflanzen zu vermeiden, den biologischen Abbau toter organischer Substanz und den Mineralzyklus zu beschleunigen, einen errechneten Profit tatsächlich zu erreichen und menschliche Arbeit zu reduzieren (vgl. ebd.).

Vereinfacht dargestellt funktioniert Holistic Planned Grazing folgendermaßen: Das Weideland wird nach einem bestimmten Muster in einzelne Parzellen aufgeteilt und die Tiere rotieren nach einem individuell festgelegten Zeitplan in diesen Parzellen (vgl. Butterfield et al. 2006: 84) (s. Abb. 8). Diese schnelle Bewegung der Nutztiere über das Weideland mit anschließender Erholungszeit dient der Anregung des Pflanzenwachstums, der Düngung des Bodens, dem Niedertrampeln der toten organischen Materie und somit der Verbesserung der biologischen Diversität über und unter der Erde (vgl. Jones 2002: 2).

PADDOCKS		MAY																															JUNE																															JULY																														
Size	Number / Name																																																																																													
4	1	31 days rest																															clipped																															45 days rest																														
1	2	26 days rest																															clipped																															53 Days rest																														
2	3	27 days rest																															clipped																															55 Days rest																														
2	4	22 days rest																															clipped																															59 Days rest																														
4	5	22 days rest																															clipped																															59 Days rest																														
5	6	32 days rest																															mob																															45 Days rest																														
5	7	36 days rest																															mob graze																															42 Days rest																														
4	8	41 days rest																															mob graze																															43 Days rest																														
5	9	42 days rest																															mob graze																															38 Days rest																														
7	10	34 days rest																															clipped																															48 Days rest																														
5	11	clipped																															75 Days rest																															clipped																														
6	12	clipped																															75 Days rest																															32 Days rest																														
4	13	34 days rest																															clipped																															21 Days rest																														
4	14	25 days rest																															9 bulls																															clipped																														
6	15	51 Days rest																															clipped																															38 Days rest																														
5	16	clipped																															53 Days rest																															clipped																														
12	17	Summer Fallow for Bird Habitat and Drought Protection																																																																																												
3	18	16 bulls																															41 Days rest																															116 Days F																														
3	19	41 Days rest																															clipped																															43 Days rest																														
5	20	34 Days Rest																															clipped																															clipped																														

Abbildung 8: Beispiel eines Beweidungsplans nach dem Holistic Planned Grazing Prinzip (Cesario 2017)

Unter bestimmten Umständen kann die richtige Beweidung durch Nutztiere ebenfalls ein wichtiges Werkzeug für die Kohlenstoffsequestrierung im Boden sein. Einige wissenschaftliche Studien legen nahe, dass besonders in sandigen Böden und feuchtem Klima der Bodenkohlenstoffgehalt erhöht werden kann. Umgekehrt, kann aber die Beweidung auf lehmigen Böden zu Kohlenstoffverlusten führen. Die Kohlenstoffsequestrierung in Weideland ist jedoch ein komplexer Vorgang, der noch nicht vollständig verstanden wird. Aus diesem Grund suchen WissenschaftlerInnen nach globalen Mustern, um Weidemanagement- Praktiken weiter optimieren zu können. (Vgl. Toensmeier/Herren 2016: 93)

### 2.4.6 Wassermanagement

verschiedene Methoden der Regenwassergewinnung werden bereits seit Jahrtausenden in verschiedenen Kulturen praktiziert. Diese beinhalten größere Erdarbeiten, wie Steinmauern entlang

von Höhenlinien oder Regenrückhaltebecken, das Mulchen, oder Wassertanks, mit denen Regenwasser von Dächern aufgefangen werden kann. (Vgl. Toensmeier/Herren 2016: 109f.)

Eine Prominente Methode unter anderem des Wassermanagements ist das **Keyline Design**. Sie wurde in den 1950er Jahren vom Australier P. A. Yeomans entwickelt, um die Wasserressourcen eines Grundstücks durch eine Analyse der Landform zu maximieren. Es handelt sich um eine Kombination aus Bodenverbesserung, Regenwassergewinnung und Landschaftsplanung. Ein wichtiges Ziel ist das Lenken von Wasser aus Wasserrinnen zu trockeneren Bergrücken durch Tiefenlockerungen (subsoiling) und Vegetationsreihen, die einem bestimmten Muster abseits der Höhenlinien folgen, sogenannten Keylines (s. Abb. 9). (Vgl. Toensmeier/Herren 2016: 110f.)

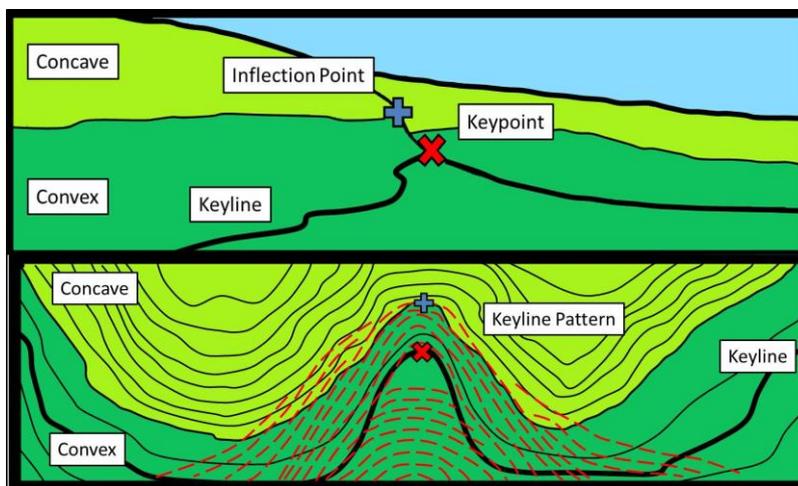


Abbildung 9: Das Bestimmen des Keypoints, um ein Keyline-Bewässerungssystem installieren zu können (Rural Agri-Innovation Network (RAIN) 2017)

Beim Pflügen mit dem Keyline- Pflug (s. Abb. 10) werden die tieferen Bodenschichten belüftet und können Wasser besser aufnehmen und speichern ohne die oberen Bodenschichten zu zerstören. Dabei findet gewissermaßen eine Umwandlung von Unterboden in Oberboden durch die verbesserten Bedingungen für mikrobielle Aktivität statt (vgl. Kullik 2016: 43).



Abbildung 10: Keyline Pflug (Kent 2013)

Yeomans selbst hat mit dieser Methode angeblich auf seinem Grundstück in New South Wales, Australien innerhalb von drei Jahren 10 cm tiefen feinkrümeligen humushaltigen Boden aus unbedecktem, verwittertem roten Schiefer ‚produziert‘ (vgl. Jones 2002: 2f.).

Keyline Design ist besonders geeignet für sehr große Grundstücke mit mehreren Hundert Hektar und einem vielseitigen Höhenprofil (vgl. Toensmeier/Herren 2016: 110f.).

#### 2.4.7 Kompostierung und Mulch

Die Themen Kompostierung und Mulch sind wohl für fast alle LandwirtInnen, die regenerative Landwirtschaft betreiben, bedeutend (vgl. Symposium aufbauende Landwirtschaft 2017; von Koerber 2017b: 5; The Carbon Underground 2017). Kompost wird von der Internationalen Vereinigung der ökologischen Landbaubewegung (IFOAM) folgendermaßen definiert:

*„Decayed organic material used as a fertility amendment in agricultural production, produced by a combination of actions over time by microbes, invertebrates, temperature, and other elemental factors (e.g., moisture content, aeration). Composted material shows practically no substantive indication as to the original substrate(s) from which it was made.“* (IFOAM 2014: 28)

Der Einsatz von Kompost ist meist nur ein Teil einer größeren Strategie. Wenn die organische Substanz im Kompost zersetzt wird, wird CO<sub>2</sub> frei, jedoch kann der Einsatz von Kompost auch zu einem besseren Pflanzenwachstum und somit zu einer erhöhten Photosyntheseleistung führen. Zudem werden die Bodenmikroorganismen durch den Kompost unterstützt und können somit die Bodenstruktur effektiver verbessern. Auf großen Betrieben ist die Herstellung großer Mengen Kompost oft nicht

wirtschaftlich, jedoch können sogenannte Komposttees hergestellt werden. (Vgl. Jones 2015: 8f.) Komposttees sind gebraute, wässrige Kompostauszüge (vgl. Ingham 2005: 1). Es gibt viele verschiedene Rezepte für Komposttees. Sie dienen vor allem dazu, die im Kompost enthaltenen Mikroorganismen und Nährstoffe aus dem Kompost zu lösen. Diese können so effektiver auf einer großen Fläche verteilt werden. (Vgl. ebd.: 3) Die einfachste Art der Herstellung eines Kompostextraktes ist folgende: „By running water at significant pressure through compost, the organisms and soluble nutrients can be extracted from the solids, depending on the extraction force applied.“ (Ebd.) (S. Abb. 11)



Abbildung 11: Die Herstellung von Kompost-Tee (o. A. 2013)



Abbildung 12: Kartoffelpflanzen mit Mulch aus Gras, Wicken und Perserklee (Intelman 2016)

Mulchen bezeichnet die Bedeckung des Bodens mit Stroh oder anderen Arten abgestorbener Vegetation (s. Abb. 12). Dadurch wird der Boden vor Sonne, Wind und starken Regenfällen geschützt und somit Wasser gespeichert und die Mikroorganismen im Boden geschützt. (Vgl. Toledo 2015: 25; Seifert 1971: 72) Andere Praktiken, wie der Einsatz mehrjähriger Kulturen, Gründüngung oder Direktsaat erfüllen einen ähnlichen Zweck, da sie den Boden möglichst ganzjährig bedeckt halten.

## 2.5 Internationale Praxis

An vielen Orten der Welt wird aus verschiedenen Gründen auch heute noch auf Bodenregeneration und Resilienz in landwirtschaftlichen Systemen geachtet. Auch werden alte Systeme wiederentdeckt oder neue Systeme entwickelt. Im Folgenden werden einige ausgewählte Beispiele aus der internationalen Forschung und Praxis genannt, die die regenerative Landwirtschaft vorantreiben.

Im internationalen Nachhaltigkeitsdiskurs werden trotz uneinheitlicher oder unzureichender Definitionen von Nachhaltigkeit in Bezug auf Landwirtschaft (s. Kapitel 2.1) bereits Ansätze diskutiert,

die eine Veränderung der landwirtschaftlichen Praxis anstreben. Ein seit kurzem international diskutierter Ansatz ist die ‚Low input- intensification‘, die eine nachhaltige Flächennutzung bei gleichzeitiger erhöhter Lebensmittelproduktion zum Ziel hat. Der Fokus liegt auf Kleinbauern und Kleinbäuerinnen in Entwicklungsländern. Landwirtschaftliche Produktionssysteme und ihre Managementpraktiken und Technologien werden unter Stichpunkten diskutiert, die auch in der regenerativen Landwirtschaft diskutiert werden, beispielsweise „*Conservation Agriculture, System of Rice Intensification, Organic Farming, Agroforestry systems and Rainwater Harvesting.*“ (Grunwald/Kopfmüller 2012: 159) Diese Systeme brauchen nicht unbedingt mehr Inputs von außen (Dünger, Maschineneinsatz etc.), sondern die Nutzung der Inputs soll optimiert werden. Zudem sollen diese Systeme an die lokalen Gegebenheiten angepasst werden, ein wichtiges Kriterium regenerativer Landwirtschaft. (Vgl. ebd.)

Die Initiative 4 pour 1000 aus Frankreich hat einen 4% Humusaufbau pro Jahr zum Ziel, um durch eine massive CO<sub>2</sub>- Bindung im Boden den aktuellen Anstieg in der Atmosphäre aufzuhalten (vgl. von Koerber 2017b: 8; 4 pour 1000 2017). Die Initiative möchte auf freiwilliger Basis alle relevanten Akteure unter den Rahmenbedingungen der Lima-Paris Action Agenda (LPAA)<sup>12</sup> zusammenbringen, beispielsweise lokale und regionale, sowie nationale Regierungen, Betriebe, NGOs und Forschungsinstitutionen. Sie möchte demonstrieren, dass Landwirtschaft, insbesondere landwirtschaftliche Böden, eine zentrale Rolle bei der Bekämpfung des Klimawandels und im Bereich der Nahrungsmittelsicherheit spielen. (Vgl. 4 pour 1000 2017)

Das Rodale Institute in den USA, das bislang maßgeblich zu der Entwicklung regenerativer landwirtschaftlicher Praktiken beigetragen hat und weiterhin beiträgt, hat 1981 ein „*Farming Systems Trial*“ (Rodale Institute 2015) begonnen, in dem die Dynamiken einer Umstellung von konventioneller zu ökologischer Landwirtschaft untersucht werden sollten. Ein übergeordnetes Ziel der Studie war es zu demonstrieren, dass ökologische Landwirtschaft in der Lage ist, dieselbe Menge an Erträgen zu erzielen wie die konventionelle. Dabei wurden drei verschiedene landwirtschaftliche Systeme untersucht: ein Mist-basiertes ökologisches System, ein Gründüngungs-basiertes ökologisches System und ein konventionelles System mit synthetischen Inputs. Diese Systeme wurden mit für die Region (Nordosten und mittlerer Westen der USA) typischen Pflanzen (Mais und Soja) bepflanzt. 2008 wurde

---

<sup>12</sup> Die LPAA ist eine Initiative der Regierungen Frankreichs und Perus, des Büros des UN-Generalsekretärs und des UNFCCC, die 2015 vor der COP21 in Paris gegründet wurde, um neben den bei der COP beschlossenen rechtlichen Klimaschutzmaßnahmen konkrete praktische Maßnahmen zu entwickeln. Dadurch sollen staatliche und nichtstaatliche Organisationen, sowie die Zivilbevölkerung zu mehr Klimaschutz bewegt werden (vgl. UNFCCC 2015: 9).

jedes System in zwei Sub-Systeme unterteilt, um die Standard-Pflugbearbeitung mit der immer gleichen Kulturpflanze mit der pfluglosen Bodenbearbeitung mit Fruchtfolge vergleichen zu können. (Vgl. ebd.)

In den 35 Jahren, seit denen die Studie existiert, wurde anhand wissenschaftlich gesammelter Daten gezeigt, dass ökologische Landwirtschaft mit den genannten Praktiken die konventionellen Systeme in Bezug auf Bodenbildung, -erhalt und -regeneration übertrifft. Auch der Ertrag war in beiden Systemen gleich. (Vgl. ebd.) Das Rodale Institute betreibt heute weiterhin praktische Forschung zu verschiedenen Aspekten regenerativer Landwirtschaft. Außerdem wird dort in Kooperation mit LandwirtInnen, Nichtregierungsorganisationen, WissenschaftlerInnen und Marken an einem Zertifizierungsprogramm für regenerative Landwirtschaft gearbeitet, um einen neuen hohen Standard für die Landwirtschaft zu setzen. Dieser Standard beinhaltet Richtlinien für die Bodengesundheit und das Tierwohl, sowie faire Bedingungen für LandwirtInnen und MitarbeiterInnen und umfasst alle Verarbeitungsschritte. Die Ziele des Programms sind unter anderem eine Erhöhung des Bodenkohlenstoffgehaltes, ein gesteigertes Tierwohl, ökonomische Stabilität, sowie die Schaffung resilientere Ökosysteme und menschlicher Gemeinschaften. Das Zertifizierungsprogramm baut auf US-Ökolandbaustandards und ähnlichen internationalen Standards auf. (Vgl. Rodale Institute 2018)

Ebenfalls in den USA ansässig ist Terra Genesis International, eine Beratungsfirma für regeneratives Design. Sie haben sieben allgemeine Prinzipien für regenerative Landwirtschaft aufgestellt:

- „1. Work with wholes, not parts*
- 2. Design for non-linear, multi-capital reciprocity*
- 3. Make holistic decisions aimed at specific systems change*
- 4. Express the unique irreplaceable essence of each person, farm and place*
- 5. Continually evolve agro-ecological processes and cultures*
- 6. Connect the farm to its larger agroecosystem and bioregion*
- 7. Agriculture shifts the world“ (Adams 2016)*

Auch in China wird ausgeklügelte regenerative Landwirtschaft (noch) in weiten Teilen praktiziert. In Indonesien gibt es Beispiele für komplexe Polykulturen, welche Seite an Seite mit Reis- Monokulturen, die nach den industriellen Methoden kultiviert werden, stehen. (Vgl. Lyle 1994: 11)

Ein prominentes Beispiel für den Aufschwung der regenerativen Landwirtschaft ist Ridgedale Permaculture, ein Hof in Värmland, Schweden, der von dem Engländer Richard Perkins und der Schwedin Yohanna Anselem geführt wird. Bei dem Hof handelt es sich um einen der ersten landwirtschaftlichen Betriebe in Europa, die sich der Praxis und der Bildung im Bereich der regenerativen Landwirtschaft verschrieben haben. (Vgl. Ridgedale Permaculture 2017a) Der Betrieb umfasst knapp 11 Hektar Land (s. Abb. 13). Es werden unter anderem Gemüseabokisten vertrieben, Masthähnchen gezüchtet und in der eigenen Schlachtereie geschlachtet, Eier produziert (im Freiland mit mobilen Hühnerställen), Obstbäume in Polykulturen bewirtschaftet, sowie Bildung durch Praktika und Kurse betrieben. (Vgl. Perkins 2016: 12ff.)



**Abbildung 13: Ridgedale Permaculture Farm in Schweden (Ridgedale Permaculture 2017b)**

Ihre Verantwortung und ihre Ziele definieren die HofbetreiberInnen wie folgt:

*„Ridgedale permaculture’s foremost responsibility is regenerating landscapes, ecosystem processes and soils through resilient, replicable, scalable and profitable symbiotic farm enterprises. Our secondary function is to educate, facilitate, inform and empower people into action through regenerative design, enterprise and holistic decision-making that fosters and stimulates local community, economy and resilience.“ (Ridgedale Permaculture 2017b)*

International ist demnach als wichtiges Prinzip der regenerativen Landwirtschaft zusätzlich zu den ökologischen Aspekten das Prinzip der multiplen Einkommensquellen zu finden. Durch die Herstellung

verschiedener Produkte oder das Anbieten von Dienstleistungen zusätzlich zu den landwirtschaftlichen Produkten soll eine wirtschaftliche Resilienz des Betriebs erzielt werden.

## 2.6 Regenerative Landwirtschaft in Deutschland

Im Vergleich zu anderen Ländern sind agrarökologische Konzepte (wie z.B. Permakultur oder regenerative Landwirtschaft) in Deutschland noch wenig erforscht. Sie finden noch wenig Beachtung in Diskussionen und Veröffentlichungen zum Thema zukunftsfähige Landwirtschaft, erst recht nicht in Ausschreibungen für Forschungsprojekte. Aus diesem Grund sind sie noch selten Gegenstand qualitativer Forschung, werden aber zunehmend wichtiger und erhalten zunehmend Aufmerksamkeit. Hellmut von Koerber meint, im deutschsprachigen Raum seien fast nur der klassische Ökolandbau und einzelne Praktiken bekannt, nicht aber die Agrarökologie oder die regenerative Landwirtschaft (vgl. von Koerber 2017b: 6).

In Deutschland ist noch kein Betrieb der Größe von Ridgedale Permaculture (s. Kapitel 2.5) zu finden, der sich so gezielt der wirtschaftlichen Produktion von regionalen Lebensmitteln<sup>13</sup> nach Kriterien der regenerativen Landwirtschaft verschrieben hat.

Die Agrarökologie ist als Konzept in Deutschland verbreiteter als die regenerative Landwirtschaft. Diese kann folgendermaßen definiert werden:

*Agrarökologische Systeme sind Systeme „fortgesetzte[r] indigene[r] Kompetenz ortsgebundener Innovation“ und sind verantwortlich für das Zusammenbringen von Wissenschaft, Praxiswissen und Technologie, „[...] aus dem sich im Laufe der Zeit zertifizierte Systeme agrarökologischer Landwirtschaft, wie der biologische Landbau (...), die Permakultur und andere Varianten entwickelt haben. Diese Systeme sind wissensintensiv, benutzen weniger oder keine externen synthetischen Inputs und zielen darauf ab, durch nachhaltiges Management agrarökologischer Kreisläufe in einem Betrieb oder unter benachbarten Betrieben gesunde Böden und Feldfrüchte zu produzieren.“ (Zukunftsstiftung Landwirtschaft 2013: 28)*

Die Agrarökologie ist ein ganzheitlicher Ansatz, der auf „Vielfalt und Fülle in der Produktion von Nahrung, Wirkstoffen, Rohstoffen und Energie“ setzt (von Koerber 2017b: 2). In der Agrarökologie werden selbsterhaltende und selbstorganisierende Agrarökosysteme mit eigenen Stoff- und

---

<sup>13</sup> Der Betrieb hat sich selbst die Regel auferlegt, alle Inputs und Outputs an Nährstoffen, Ressourcen und Waren auf einen Radius von 50km zu beschränken (vgl. Ridgedale Permaculture 2017b).

Energieflüssen gestaltet. Dabei werden ihre Interaktionen mit der Umwelt und der Gesellschaft miteinbezogen. (Vgl. ebd.)

Das Konzept der Agrarökologie ist demnach das bekannteste Konzept, das von den Prinzipien her der regenerativen Landwirtschaft am ähnlichsten ist.

Im Januar 2017 fand erstmalig das ‚Symposium aufbauende Landwirtschaft‘ in der Gemeinschaft Schloss Tempelhof statt, bei dem LandwirtInnen, GärtnerInnen und BeraterInnen aus Deutschland und Österreich in Vorträgen und Diskussionen verschiedene Aspekte einer aufbauenden Landwirtschaft darstellten. Es sollte ein offener Begegnungsraum für ökologische, aber auch konventionelle LandwirtInnen und GärtnerInnen geschaffen werden, um Praktiken und Erfahrungen diskutieren zu können. Die Themen des Symposiums reichten von Mischkulturen, über Agroforstsysteme, pfluglose Bodenbearbeitung, Mulch und Rottesteuerung, bis hin zu Bedeutung und Management von Bodenmikroorganismen, holistischem Weidemanagement, Keyline Design und solidarischer Landwirtschaft (s. Kapitel 2.4). (Vgl. Gemeinschaft Tempelhof 2017) Ein zweites Symposium hat bereits im Januar 2018, ebenfalls auf Schloss Tempelhof, stattgefunden (vgl. Symposium aufbauende Landwirtschaft 2018).

In Deutschland gibt es aber nicht nur vereinzelte Menschen, die eine andere Form der Landwirtschaft diskutieren und praktizieren, sondern auch bereits einige institutionalisierte Ansätze, die, über die Ziele der EG-Öko-Landwirtschaft hinausgehend, den expliziten Anspruch haben, regenerativ zu sein (vgl. Rathke et al. 2002: 456ff.). In dieser Arbeit werden drei Hauptansätze exemplarisch analysiert: die organisch-biologische Landwirtschaft, die in Deutschland im Anbauverband Bioland organisiert ist (vgl. Steiner 2009: 38), die biologisch-dynamische Landwirtschaft, die weltweit im Anbauverband Demeter organisiert ist (vgl. ebd.: 41) und die Permakultur. Es sollte hier noch angemerkt werden, dass diese Anbauweisen am ehesten einen regenerativen Anspruch verfolgen und daher für eine potentielle Umsetzungsstrategie von mehr regenerativen landwirtschaftlichen Methoden interessant sind, nicht aber, dass sie zwangsweise schon Methoden anwenden, die als regenerative landwirtschaftliche Methoden definiert werden (In der Demeter-Landwirtschaft wird beispielsweise traditionell der Boden recht intensiv bearbeitet (vgl. Demeter e.V. 2017a: 64), obwohl in den meisten Quellen zur regenerativen landwirtschaftlichen Praxis wenig bis gar keine Bearbeitung empfohlen wird). Im Folgenden wird die Auswahl dieser Beispiele kurz begründet. Auf die genauen theoretischen Grundlagen und Praktiken dieser drei Ansätze wird in Kapitel 3 näher eingegangen.

In einer vom Institut für angewandte Ökologie (ideaa) in Auftrag gegebenen Arbeit mit dem Titel: *„Regeneration von Böden und Ökosystemen: Ein Weg zur Begrenzung des Klimawandels. Grundlagen*

für die erforderliche Klima- und Agrarpolitik“ (Toledo 2015) werden einige Beispiele für regenerative Systeme genannt, die zeigen, dass in relativ kurzer Zeit Bodenverbesserungen erreicht werden können. Dies sind unter anderem die biodynamische Landwirtschaft (Demeter) und die Permakultur:

*„Diese Systeme können zusammen mit anderen vergleichbaren Techniken generisch auch als Regenerative Systeme bezeichnet werden, weil sie einen Schwerpunkt darauf legen, möglichst optimale Bedingungen zu (re)generieren (die über die Instandsetzung hinaus gehen), angefangen vom Boden, auf dessen ‚Revitalisierung‘ ein besonderes Augenmerk gelegt wird.“ (Toledo 2015: 37)*

Diese beiden Anbauweisen werden als die bekanntesten und am meisten verbreitetsten genannt. Die biologisch-dynamische Landwirtschaft wird als die einzige Bewirtschaftungsweise genannt, die einige einzigartige Präparate verwendet, die zum Ziel haben, das Bodenleben zu fördern. Die Permakultur wird genannt als eine Bewirtschaftungsweise, die Design und Vielfalt betont, dabei gleichzeitig einen hohen Ertrag erzielt und zu einer Verbesserung von Ökosystemen, vor allem auch des Bodens, führt. (Vgl. Toledo 2015: 26f.)

Soloviev und Landua sprechen von zwei Ebenen der regenerativen Landwirtschaft. In der ersten Ebene geht es vor allem darum, Böden zu regenerieren. Praktiker der zweiten Ebene verfolgen dagegen einen Design-Ansatz (s. Kapitel 3.3). Sie verwenden Design-Prinzipien und Werkzeuge des Carbon Farming und der Permakultur. (Vgl. Soloviev/Landua 2016: 6ff.)

Ein anderer Autor benennt zwei Menschen als treibende Akteure der regenerativen Landwirtschaft: Rudolph Steiner, den Begründer der Anthroposophie, aus der die biologisch-dynamische Landwirtschaft entstand und J. I. Rodale, den Begründer des Rodale Institute, welches die Erforschung und Anwendung der regenerativen Landwirtschaft vorantreibt (vgl. Lyle 1994: 11). Die Permakultur wird ebenfalls als ein Konzept mit spezifischen Praktiken innerhalb der regenerativen Landwirtschaft angesehen (vgl. Singh 2017).

Die organisch-biologische Anbaumethode ist das dritte Beispiel für die Implementierung eines regenerativen Anspruchs in Deutschland. Hier steht ebenfalls die Bodenfruchtbarkeit im Zentrum und soll durch gute Fruchtfolge und organische Düngung erhalten und gefördert werden (vgl. Steiner 2009: 38). Hier werden einige Praktiken angewendet, die auch als Praktiken regenerativer Landwirtschaft genannt werden, beispielsweise der Verzicht auf tief wendende Pflüge (s. Kapitel 2.4.1), die Gründüngung und das Mulchen, die Humuswirtschaft und Fruchtfolge zur Düngung, der vorbeugende Pflanzenschutz durch standortgemäße Sortenwahl und Düngung, sowie die Integration von Feldrainen, Hecken usw. für Nützlinge (vgl. Rathke et al. 2002: 500f.). Bioland ist derzeit der größte ökologische Anbauverband in Deutschland (vgl. Rathke et al. 2002: 453).

Dies sind in Deutschland die offensichtlichsten Beispiele für Anbauweisen, die einen regenerativen Ansatz verfolgen, der über einzelne Praktiken hinausgeht. Daher werden sie in der vorliegenden Arbeit als Beispiele herangezogen. Insbesondere die Verbände Bioland und Demeter sind wichtige Akteure was die Verwendung von Pflanzenkohle als Bodenhilfsstoff in Deutschland betrifft. Durch die Institutionalisierung der Anbauweisen in den Verbänden mit festen Betriebsmittellisten sind sie wichtige Akteure der Landwirtschaftspolitik und daher für die Beantwortung der zugrundeliegenden Forschungsfrage relevant.

### **3 Beispiele für regenerative Landwirtschaft in Deutschland - drei Bewirtschaftungsweisen**

Wie bereits dargelegt, haben in Deutschland die Anbauverbände Demeter und Bioland, sowie die Permakultur, die hier als Beispiele drei verschiedener Anbauweisen dienen, nach den bestehenden Definitionen regenerativer Landwirtschaft, bereits einen gewissen Anspruch, regenerativ zu sein (s. Kapitel 2.6). Im Folgenden wird kurz die Entstehungsgeschichte der jeweiligen Anbauweisen beschrieben, sowie die Prinzipien, die hinter den jeweiligen Vorstellungen zur Nährstoffversorgung in der Landwirtschaft stehen. Hierbei wird aufgrund des thematischen Schwerpunktes vorrangig auf Aspekte des Ackerbaus eingegangen, auch wenn dies natürlich mit der Nutztierhaltung oftmals stark zusammenhängt.

#### **3.1 Organisch-biologische Landwirtschaft**

##### **3.1.1 Kurzer geschichtlicher Hintergrund**

Die organisch-biologische Landwirtschaft entstand ab 1951 aus der Anfang des 20. Jahrhunderts gegründeten christlichen Bauernheimatbewegung in der Schweiz. Die Landwirtschaft war gerade dabei, sich von kleinbäuerlichen Strukturen hin zu einer intensivierten Wirtschaftsweise zu entwickeln, die abhängig von Industrieprodukten war. Die EntwicklerInnen der organisch-biologischen Anbauweise waren der Schweizer Agrarpolitiker Dr. Hans Müller, seine Frau Maria Müller und der Deutsche Peter Rusch. Sie wollten möglichst geschlossene Betriebsreisläufe schaffen, um den LandwirtInnen ihre Unabhängigkeit zu sichern. (Vgl. Rathke et al. 2002: 455)

Der organisch-biologische Landbau war neben dem biologisch-dynamischen und dem sogenannten Natürlichen Landbau der dritte Eckpfeiler der biologischen Landwirtschaft. Vor dem zweiten Weltkrieg

fand das Konzept nur in der Schweiz Beachtung, ab ca. 1950 auch zunehmend in Deutschland. Der Grund für die Skepsis an dem Konzept war für viele christlich geprägte LandwirtInnen, dass sie die Grundlagen der schon bestehenden anthroposophischen biologisch-dynamischen Wirtschaftsweise nicht akzeptierten, auch wenn beide Wirtschaftsweisen an die Landreform-Bewegung und damit auch an den Natürlichen Landbau anknüpften. (Vgl. ebd.: 500) Im Unterschied zum Natürlichen Landbau wollte die organisch-biologische Landwirtschaft aber nicht die bäuerliche Wirtschaftsweise wiederherstellen, sondern „[...] *unter Berücksichtigung betriebswirtschaftlicher Notwendigkeiten die Bodenfruchtbarkeit, die Tiergesundheit und eine hohe Nahrungsmittelqualität, insbesondere unter dem Gesichtspunkt der Gesundheit [...] gewährleisten.*“ (Ebd.)

1971 wurde in Deutschland der Verein ‚bio-gemüse e.V.‘ gegründet, nach 10 Jahren hatte er bereits 200 Mitglieder (vgl. ebd.: 455). Die ersten Bioland-Richtlinien gab es in den 1970ern, sie wurden seitdem ständig weiterentwickelt und vom Verband kontinuierlich überprüft. Als die EU-Öko-Verordnung erarbeitet wurde, wurde auf die privatrechtlichen Standards der Ökoverbände zurückgegriffen. (Vgl. ebd.: 456) Ende der 70er entstand der Name ‚Bioland‘ und ab 1981 wurden die Produkte des Vereins unter dem eingetragenen Bioland-Warenzeichen verkauft. 1987 wurde dann der ‚Bioland-Verband für organisch-biologischen Landbau‘ gegründet. (Vgl. ebd.: 455) Der Bioland-Verband umfasste im Jahr 2017 6.861 Erzeugerbetriebe mit 343.489 Hektar bewirtschaftetem Land. Das ist ein Wachstum von über 12% im Vergleich zum Vorjahr. (Vgl. Bioland e.V. 2017) Die meisten Betriebe liegen heute in Deutschland und einige in Südtirol. Bioland-Betriebe müssen ihren Betrieb komplett umstellen, eine teilweise konventionelle Erzeugung ist nicht erlaubt (vgl. Rathke et al. 2002: 454).

Das Ziel des Bioland e.V. ist es „[...] *das Bioland-Qualitätsstreben auf der Grundlage der von Dr. Hans Müller und Dr. Hans-Peter Rusch entwickelten organisch-biologischen Landbaumethode in der Bundesrepublik Deutschland und in Südtirol umzusetzen und zu fördern.*“ (Bioland e.V. 2013: 5)

### **3.1.2 Der Nährstofffluss in der organisch-biologischen Landwirtschaft**

Die Basis des organisch-biologischen Landbaus ist, bezogen auf die meisten Nährstoffe, eine Kreislaufwirtschaft. Synthetische Pestizide, sowie leichtlösliche Stickstoffdünger sind verboten. (Vgl. Rathke et al. 2002: 453) Im Bioland-Anbau wird durch verschiedene Maßnahmen ein besonderes Augenmerk auf Bodenmikroorganismen gelegt, sowie die Humus- und Wurzelmasse erhöht, wodurch die Böden fruchtbarer sind und mehr CO<sub>2</sub> speichern als konventionell bewirtschaftete Böden (vgl. Bioland e. V. 2014: 4).

Das Prinzip der Kreislaufwirtschaft wird durch verschiedene Maßnahmen umgesetzt. Beispielsweise werden Nährstoffe durch den Einsatz von Mist, Gülle, Kompost, Pflanzenresten und Jauche, die auf dem Hof produziert werden, in den Boden zurückgeführt und durch Zwischenfruchtanbau werden unter anderem Erosionen und Nährstoffauswaschungen verhindert. Die Anzahl der Nutztiere richtet sich nach der Größe der bewirtschafteten Felder und Weiden, um einen Nährstoffüberschuss zu vermeiden und die Tiere mit selbst angebautem Futter ernähren zu können. (Vgl. ebd.: 2)

Die Bodenfruchtbarkeit wird gefördert, indem Ernterückstände und Grünschnitt als Mulch oder Kompost dem Boden zurückgegeben werden (vgl. ebd.: 4). Hierdurch soll die natürliche Streuschicht nachgeahmt werden. Hans-Peter Rusch schreibt dazu: *„Wo immer es angeht, muss eine leichte, natürliche Bedeckung des Bodens angestrebt werden nach dem Vorbild der Natur, bei der man fruchtbaren Boden niemals ohne Bedeckung antrifft“*. (Rusch 1991: 217) Diese Maßnahme sieht er als wichtigen Schutz für das die Fruchtbarkeit fördernde Bodenleben an (vgl. ebd.). Zudem werden stickstofffixierende Pflanzen (Leguminosen) angebaut, die den Stickstoff aus der Luft in den Boden eintragen. (Vgl. Bioland e. V. 2014: 4) Mithilfe einer bodenmikrobiologischen Analyse wird die Bodenfruchtbarkeit regelmäßig überprüft (vgl. Steiner 2009: 38).

Durch eine Erhöhung der Biodiversität soll die Resilienz des Hof-Systems gefördert werden. Dies wird durch Maßnahmen wie das Anlegen und die Pflege von Hecken und Feldgehölzen, Streuobstwiesen, Blühstreifen und -flächen, sowie Feldsäumen umgesetzt. Eine späte erste Mahd sorgt für artenreiches Grünland, Steinhäufen aus gesammelten Feldsteinen schaffen Lebensraum für zahlreiche Arten, die Integration von Bienenhaltung und der Erhalt von Ackerwildkräutern helfen bei der Bestäubung und Vermehrung der Pflanzen. Zudem werden alte Nutzpflanzen gefördert, beispielsweise Emmer, Einkorn und Dinkel. (Vgl. Bioland e. V. 2014: 10)

Im Gegensatz zum biologisch-dynamischen Landbau wird beim organisch-biologischen Anbau der Boden möglichst nicht umgepflügt, sondern lediglich tief gelockert und flach gewendet, um die Bodenschichten nicht zu mischen und die Bodenlebewesen an ihren jeweiligen Wirkplätzen zu belassen. (Vgl. Massholder 2009)

## 3.2 Biologisch-dynamische Landwirtschaft

### 3.2.1 Kurzer geschichtlicher Hintergrund

In der biologisch-dynamischen Landwirtschaft werden zusätzlich zum ökologischen Denken, das die Grundlage aller ökologischen Anbauverbände bildet, Erkenntnisse aus der Anthroposophie angewendet, welche eigene Erklärungsansätze zu Naturzusammenhängen, Wachstum und kosmischen Entwicklungskräften bietet (vgl. Steiner 2009: 41).

Die Anfänge der biologisch-dynamischen Landwirtschaft liegen im Jahr 1924, als Rudolf Steiner im schlesischen Koberwitz acht Vorträge zu den „*Geisteswissenschaftliche[n] Grundlagen zum Gedeihen der Landwirtschaft*“ hält (Demeter e.V. 2017b). Seitdem existiert der Begriff der ‚biologisch-dynamischen Wirtschaftsweise‘. Diese unterschied sich wie bereits erwähnt von der Landreform-Bewegung nur „[...] *im anthroposophischen Weltbild der Beeinflussung des Menschen und der Natur durch Äther- und Astralkräfte.*“ (Rathke et al. 2002: 499) (S. nächstes Kapitel) Ein sogenannter ‚Landwirtschaftlicher Versuchsring der anthroposophischen Gesellschaft‘ setzte die Angaben Steiners gleich in der Praxis um, woraufhin drei Jahre später die ‚Verwertungsgenossenschaft für Produkte der Biologisch-Dynamischen Wirtschaftsmethode‘ gegründet wurde (vgl. Demeter e.V. 2017b; Koepf et al. 1980: 20). Im Jahr 1928 entstand das Demeter Warenzeichen in Bad Saarow/Mark Brandenburg und erste Qualitätskriterien für den Demeter-Anbau und Demeter-Produkte wurden formuliert (vgl. Demeter e.V. 2017b). Demeter ist die griechische Göttin der Fruchtbarkeit, weshalb sie als Markenzeichen gelten sollte (vgl. Brügge 1984: 148). Ein paar Jahre später kam die biologisch-dynamische Wirtschaftsweise zunehmend bei LandwirtInnen im europäischen Ausland an (vgl. Demeter e.V. 2017b). 1941 wurde der Demeter-Wirtschaftsbund von den NationalsozialistInnen verboten (vgl. Brügge 1984: 199f.). Daher wurde dieser in seiner jetzigen Form erst 1954 gegründet. Im Jahr 1994 veröffentlichte Demeter als erster ökologischer Anbauverband Richtlinien für den Anbau und die Verarbeitung von Lebensmitteln. 1997 wurde Demeter International e.V. als weltweite unabhängige Organisation gegründet, in der alle Kontinente vertreten waren. Erst im Jahr 2007 wurde der Verein Demeter e. V. zum Dachverband der biologisch-dynamischen Bewegung in Deutschland. Heute betreiben etwa 1.500 LandwirtInnen mit mehr als 77.800 Hektar Fläche biologisch-dynamischen Landbau. (Vgl. Demeter e.V. 2017b)

### 3.2.2 Der Nährstofffluss in der biologisch-dynamischen Landwirtschaft

Rudolf Steiners Ziel war, ähnlich wie bei der organisch-biologischen Landwirtschaft, die Schaffung eines geschlossenen Systems frei von chemischen Spritz- und Düngemitteln, sowie der Einseitigkeit von Monokulturen. Dünge- und Futtermittel sollen möglichst im System selbst erzeugt werden. (Vgl. Brügge 1984: 131) Der landwirtschaftliche Betrieb wird als ein ganzheitlicher Organismus betrachtet (vgl. Koepf et al. 1980: 147).

Nach dem anthroposophischen Weltbild wird davon ausgegangen, dass es eine „[...] *geistige Vernetzungen zwischen Mineralischem, Pflanzlichem, Tierischem, Menschlichem, Kosmischem*“ gibt (Brügge 1984: 131). Daher wird nach Mondzyklen Kompost veredelt, sowie Saatgut und homöopathische Mittel für die Erde ausgebracht (vgl. Brügge 1984: 130). In Deutschland stellen 20 sogenannte Präparate den Schlüssel zur Bodenenergetik dar. Mit ihrer Hilfe sollen die Wirkkräfte bestimmter Planeten eingefangen werden. (Vgl. ebd.: 133) Für ihre Herstellung werden Kuhhörner mit Mist oder Hornkiesel für eine bestimmte Zeit vergraben, der Inhalt anschließend mit Wasser stark verdünnt, über Stunden rhythmisch gerührt und schließlich auf die Flächen gesprüht (vgl. ebd.: 144f.). Auch auf bestimmte Pflanzen wird bei der biologisch-dynamischen Landwirtschaft Wert gelegt: Baldrian, Löwenzahn, Eichenrinde, Brennnessel, Kamille und Schafgarbe sollen zu bestimmten Mineralien eine Affinität haben (Schafgarbe beispielsweise zu Kalium und Schwefel) und daher den Kompost mit diesen Mineralien anreichern (vgl. ebd.: 132). Diese Wirkungen sind naturwissenschaftlich nicht belegt, jedoch sind sie laut Seifert erkennbar in Form von Erträgen und Qualitäten (vgl. Seifert 1971: 145). Dies ist sowohl die Kritik als auch das Selbstverständnis der biologisch-dynamischen wirtschaftenden LandwirtInnen (vgl. Brügge 1984: 134).

Der Boden ist nach Ansicht der biologisch-dynamischen Wirtschaftenden kein Nährstoff-Pool, der einfach wieder aufgefüllt werden kann, wenn er erschöpft ist. Nach ihrer Auffassung sind ‚geistige‘ Kräfte am Werk, von dessen Dynamik es abhängt, was mit den Nährstoffen biologisch geschieht, wieviel und welche benötigt werden. (Vgl. ebd.: 130) Für Rudolf Steiner waren Bodenmikroorganismen lediglich ein nützliches Nebenprodukt der durch geistige Wirkung erzielten Harmonie im Ökosystem (vgl. ebd.: 131).

Wie bei Bioland ist auch beim Demeter-Anbau nur eine Gesamtumstellung des Betriebs möglich. Für landwirtschaftliche Betriebe ist jedoch, im Gegensatz zu Bioland, die Tierhaltung vorgeschrieben, da ihr eine große Bedeutung für die Nährstoffkreisläufe zugeschrieben wird (vgl. Koepf et al. 1980: 124). Es müssen mindestens 0,2 sogenannte raufutterfressenden Großvieheinheiten (also Rinder, Schafe,

Ziegen und Pferde) pro Hektar gehalten werden, jedoch wird auch hier der Tierbestand an die Größe der Flächen angepasst. (Vgl. Umweltinstitut München e.V. 2014: 1) Wie auch bei den anderen Anbauverbänden sind konventionelle Gülle, Jauche und Geflügelmist als Dünger verboten (vgl. Umweltinstitut München e.V. 2014: 3). Laut den Richtlinien des European Biochar Certificate für den biologischen Landbau ist daher auch die Verwendung von Pflanzenkohle aus konventionellen Ausgangsstoffen unzulässig (vgl. Biochar Science Network 2010: 18f.) (s. Kapitel 4.7.1 und 8.2).

### 3.3 Permakultur

#### 3.3.1 Kurzer geschichtlicher Hintergrund

Das Wort Permakultur setzt sich aus den englischen Begriffen ‚permanent‘ und ‚agriculture‘ zusammen. Es handelt sich um ein umfassendes, meist kleinräumiges Design produktiver Ökosysteme, das zunehmend auch im Ackerbau Beachtung findet (vgl. von Koerber 2017b: 5).

1978 veröffentlichten die Australier Bill Mollison und David Holmgren das Buch 'Permakultur' und prägten somit den Begriff. Bill Mollison war Ökologe und Waldarbeiter und hat viel Zeit seines Lebens im australischen Busch verbracht. Er war inspiriert von den Wäldern und wie sie funktionierten und wollte selbst so etwas schaffen. In den 1960er und 70er Jahren bemerkte Mollison, dass sich die Gesellschaft immer weiter von ökologischer Nachhaltigkeit entfernte und wurde in der Protestbewegung und der Politik aktiv. Nach einer Weile kam er zu der Erkenntnis, dass wirkliche Veränderung nur durch das Handeln der Menschen selbst entsteht und nicht durch Politik von oben. (Vgl. Whitefield 2016: 12) Laut Whitefield "[...] hörte er auf zu protestieren, ging nach Hause und gärtnerte" (Ebd.). So entstand die Permakultur. Bill Mollison und sein Kollege David Holmgren wollten mit dem Begriff ein integriertes, sich entwickelndes System von mehrjährigen, oder sich selbst erhaltenden Pflanzen- und Tierarten beschreiben, die für den Menschen nützlich sind (vgl. Holmgren 2002: xix). Mit der Zeit wurde diese Definition von ihnen etwas erweitert und spezifiziert. Ihre letzte Definition lautete: Permaculture is "[...] *consciously designed landscapes which mimic the patterns and relationships found in nature, while yielding an abundance of food, fibre and energy for provision of local needs.*" (Holmgren 2002: xix)

Ihr Konzept war inspiriert von der damals in Europa schon etablierten ökologischen Landwirtschaft, die sich in Australien noch nicht durchgesetzt hatte und den Gegenpol bildete zur energie- und ressourcenintensiven industriellen Agrarwirtschaft (vgl. Biologie-Schule.de 2017). 1981 erhielt Bill Mollison für die Entwicklung der Planungsmethode den alternativen Nobelpreis (vgl. Permakultur

Austria o.J.). 1978 gründete er außerdem das Institut für Permakultur, das sich seither der Forschung, sowie der Entwicklung und Umsetzung solcher Kulturkonzepte, widmet (vgl. Biologie-Schule.de 2017).

Viele Ideen und Methoden der Permakultur sind nicht neu, zum Teil handelt es sich um traditionelle Praktiken, zum Teil um moderne Technik und Wissenschaft. In vielen Teilen der Erde sind die Gärten der Menschen beispielsweise schon immer nah am Vorbild eines natürlichen Waldes orientiert gewesen. Die Permakultur hat von diesen traditionellen Systemen viel übernommen und mit moderneren Techniken ergänzt. Der biologische Gartenbau und die Solarenergie-Technik sind Beispiele hierfür. Diese traditionellen und modernen Systeme sind in der Permakultur kombiniert und auf Ökosysteme (natürliche Gemeinschaften von Pflanzen, Tieren und Menschen) bezogen. (Vgl. Whitefield 2016: 9) Das Neue am Konzept der Permakultur ist das Element des Entwerfens von Landschaften, laut Whitefield "*Komponenten zum maximalen Nutzen zu kombinieren*" (Whitefield 2016: 11f.), sowie das Bereitstellen eines Grundgerüsts, das eine schlüssige Vereinigung von vielen verschiedenen Ideen darstellt (vgl. Whitefield 2016: 11f.).

Declan und Margrit Kennedy brachten 1981 die Permakultur nach Europa, nachdem sie sie durch David Holmgren und Bill Mollison ein Jahr zuvor in Australien kennengelernt hatten. Die vier blieben nach ihrer Begegnung noch lange in engem Kontakt und entwickelten Lösungsansätze für Australien und Europa weiter. In den frühen 1990er Jahren begann Declan Kennedy seine Begeisterung für das Konzept der Permakultur nach Ost- und Westeuropa zu tragen. (Vgl. Kennedy 2016: 84) Heute ist das Gestaltungssystem der Permakultur in "[...] *Tausenden unabhängigen Permakultur-Vereinigungen in unzähligen Sprachen über die ganze Welt verteilt.*" (Ebd.: 86) Eine genaue Zahl an Projekten und landwirtschaftlichen Betrieben zu nennen, die nach den Prinzipien der Permakultur handeln, ist unmöglich, da es keine Dachorganisationen oder allgemeingültige Richtlinien gibt.

### **1.1.1 Der Nährstofffluss in der Permakultur**

Es ist nicht leicht, den Nährstofffluss der Permakultur zu beschreiben, da es keine vorgefertigten Richtlinien gibt, an die sich alle Permakultur-PraktikerInnen zu halten haben. Es gibt einige von den Pionieren der Permakultur formulierte allgemeine Prinzipien (s. z.B. Holmgren 2002), die genauen Umsetzungsstrategien sind zum Teil jedoch sehr unterschiedlich. Es gibt keine Maßstäbe, an denen gemessen werden könnte, ob es sich um Permakultur handelt oder nicht (vgl. Moesenbichler 2012: 11). Aus diesem Grund wird hier versucht, einen Überblick über die wichtigsten, großflächig anerkannten Prinzipien und Praktiken zu geben. Da auch die Beschreibung aller Prinzipien den Umfang des Kapitels sprengen würde, können hier nur einige Beispiele genannt werden.

Der Verein Permakultur Austria ist ein Verein zur Förderung der Permakultur. Nach ihrer Definition ist die Permakultur „[...] ein Planungsansatz für menschliche Lebensräume, der biologische Kreisläufe, systemisches Verständnis und ethische Verantwortung ins Zentrum des Gestaltens stellt.“ (Permakultur Austria o.J.) Die Gestaltungsprinzipien der Permakultur verbinden daher die Bedürfnisse der Menschen mit dem Gleichgewicht der Natur. Die Permakultur liegt im Wissenschaftsbereich der Systemökologie, aber aufgrund der Verbindung von Mensch und Natur haben auch andere wissenschaftliche Disziplinen zum Konzept beigetragen, beispielsweise die Landschaftsgeographie und Ethnobiologie (vgl. Holmgren 2002: xxv). Die drei Pfeiler der Ethik der Permakultur sind: Sorge um die Erde, Sorge für den Menschen und faires Teilen (vgl. Whitefield 2016: 12). Der erste Pfeiler basiert auf der Erkenntnis, dass wir Menschen ein Teil des lebenden Organismus Erde sind und unser Überleben somit von der Erde abhängt. Der zweite Pfeiler bedeutet, dass die Planung resilienter Landwirtschaftssysteme nicht auf Kosten menschlichen Wohlergehens gehen darf und dass es teilweise wichtiger sein kann, Lösungen für menschliche Probleme zu finden, als für technische. Der dritte Pfeiler hängt mit der Erkenntnis zusammen, dass die Erde begrenzt ist und nicht unendlich viele Ressourcen besitzt. Anstatt mehr zu konsumieren, müssen also die Ressourcen weltweit unter den Menschen und anderen Arten gerecht verteilt werden. (Vgl. ebd.: 12ff.)

Das Prinzip des möglichst geschlossenen Nährstoffkreislaufs ist ebenso die Grundlage der Permakultur wie der anderen ökologischen Landwirtschaftsweisen (vgl. Permakultur Austria o.J.; Whitefield 2016: 64f.). Der große Unterschied ist, dass Permakultur eine Entwurfsmethode ist und der ökologische Landbau eine Anbaumethode. Die Permakultur bedient sich dabei zwar oft besonderer Praktiken und Methoden, oft überschneiden sie sich aber auch mit denen der ökologischen Landwirtschaft. Daher ergänzen sich die Konzepte gegenseitig und sind beide wichtige Teile eines Gesamtsystems. Ökologischer Landbau basiert meist auf einer Fruchtfolge, in der Permakultur werden häufig viele verschiedene Pflanzen gleichzeitig gepflanzt. Dadurch können laut Whitefield mehr nützliche Verbindungen zwischen den verschiedenen Pflanzen hergestellt werden. (Vgl. Whitefield 2016: 64) In der Permakultur wird weitestgehend auf Bodenbearbeitung verzichtet und ein Schwerpunkt auf mehrjährige Pflanzen gelegt. Das ist ein weiterer Unterschied zur ökologischen Landwirtschaft. Der größte Unterschied ist jedoch, wie bereits genannt, dass Permakultur nicht nur auf landwirtschaftliche Systeme, sondern auch auf soziale und wirtschaftliche Bereiche anwendbar ist. (Vgl. ebd.: 64f.) In der Permakultur wird stets versucht, auch auf kleinen Flächen eine größtmögliche Produktivität zu erzielen. *„Dies wird vor allem dadurch gewährleistet, dass Menschen, Tiere und Pflanzen nicht in Konkurrenz zueinander, sondern in direkter Wechselwirkung stehen.“* (Biologie-Schule.de 2017)

David Holmgren hat in dem Standardwerk 'Permaculture' die zwölf Permakultur Prinzipien aufgestellt, die eine Art Richtschnur für erfolgreiches Permakultur-Design darstellen (vgl. Holmgren 2002). Ein solches Prinzip ist beispielsweise, keine Abfälle zu produzieren. Dies geschieht, indem Systeme gestaltet werden, die alle Outputs sinnvoll nutzen. Ein Beispiel dafür ist der Regenwurm, der 'Abfälle' in Humus verwandelt, also aus einem Output des Systems wieder ein Input für ein anderes Teil des Systems herstellt. (Vgl. Holmgren 2002: 111) Ein weiteres Prinzip ist es, kleine und langsame, anstatt große und schnelle Lösungen anzuwenden. Systeme sollten so gestaltet werden, dass sie auf der kleinstmöglichen Ebene, die für die Funktion des Systems am praktischsten und energieeffizientesten ist, diese Funktionen erfüllen können. (Vgl. Holmgren 2002: 181) Weitere Gestaltungsprinzipien, die für die Schließung eines sich weitestgehend selbst regulierenden Kreislaufs wichtig sind, sind eine Anpassung an Standortbedingungen und die Nutzung des dort vorhandenen Naturpotenzials, die Bildung von möglichst geschlossenen Energie-, Luft-, Wasser-, und Stoffkreisläufen, sowie die Schaffung einer Vielfalt funktionaler regionaler Beziehungen (gesellschaftliche und natürliche) und deren Vernetzung (vgl. Permakultur Austria o.J.). Zudem soll jeder Teilbereich eines Systems durch mehrere Funktionen abgedeckt werden. Jede Pflanze, jedes Tier und jedes andere Element soll mehrere Funktionen erfüllen. Dies ist das Gegenteil der Monokultur, da viele Erträge auf einer Fläche erwirtschaftet werden. Dies soll das System resilienter machen. (Vgl. Whitefield 2016: 18) Agroforstsysteme und Silvopasture (s. Kapitel 2.4) sind Beispiele für das Anwenden dieser Permakultur Prinzipien in der Landwirtschaft, da die einzelnen Elemente mehrere Funktionen erfüllen (Ertrag, Beschattung, Humusaufbau, Diversifikation, CO<sub>2</sub>-Bindung etc.) (vgl. Moesenbichler 2012: 10f.).

Eine konsequente Permakultur Landwirtschaft müsste laut Moesenbichler, um dem ganzheitlichen Anspruch gerecht zu werden, alle Aspekte des Lebensweges eines Produktes bedenken. Vom Euter der Kuh, über die Verpackung der Milch und die Entlohnung der MitarbeiterInnen, bis hin zur Rückführung der tierischen Exkremete in den Boden (vgl. ebd.: 10). Ein weiterer Aspekt ist die Zonierung, mithilfe derer die Elemente auf einem landwirtschaftlichen Betrieb nach Zonen so geplant werden, dass die häufig besuchten Elemente näher am Wohnhaus liegen. Dies kann große Mengen menschlicher und fossiler Ressourcen sparen, was ein allgemeines Ziel der Permakultur ist (vgl. Whitefield 2016: 40f.).

## **4 Pflanzenkohle**

Im Folgenden Kapitel wird zunächst der Begriff der Pflanzenkohle definiert, um diese von anderen Kohleerzeugnissen, welche nicht für die Landwirtschaft geeignet sind, abzugrenzen. Anschließend werden die Auswirkungen, die Pflanzenkohle bei landwirtschaftlichem Einsatz auf Boden und Pflanzen

hat, zusammenfassend dargestellt. Zudem wird kurz auf die Entstehungsgeschichte des wissenschaftlichen Interesses an Pflanzenkohle als Bodenhilfsstoff, sowie auf die im Amazonasgebiet entdeckte Terra Preta (Schwarzerde) eingegangen. Anschließend werden einige technische Möglichkeiten der heutigen Pflanzenkohleproduktion beispielhaft dargestellt und die Möglichkeiten der Nährstoffaufladung, sowie verschiedene Ausbringungsmethoden erläutert. Die landwirtschaftliche Verwendung in Deutschland unterliegt noch zahlreichen Hürden, die im weiteren Verlauf thematisiert werden. Abschließend wird dargestellt, welche Argumente für und gegen eine Pflanzenkohleverwendung zurzeit in Wissenschaft und Gesellschaft diskutiert werden.

#### 4.1 Begriffe

Es gibt verschiedene Begriffe für sogenannte ‚Biomassekarbonisate‘, die oftmals gleiche oder ähnliche Produkte beschreiben. Ein häufig verwendeter Überbegriff ist der der ‚Biokohle‘.

Biokohle ist das Produkt einer thermischen Behandlung von Biomasse, beispielsweise Holz, Mist oder Pflanzen, unter Anwesenheit von sehr wenig bis gar keinem Sauerstoff. Technisch ausgedrückt bedeutet dies, dass Biokohle durch eine thermale Dekomposition von organischem Material hergestellt wird (vgl. Lehmann/Joseph 2010a: 1), mit begrenzter Sauerstoffversorgung (unter 2%) und bei relativ niedrigen Temperaturen (zwischen ca. 350°C und 1000 °C)<sup>14</sup> (vgl. Schmidt et al. 2012: 6). Der Begriff Biokohle differenziert sich vom regulären Begriff Holzkohle in seiner Verwendung, nämlich dadurch, dass er nur für Kohlen verwendet wird, die für den Einsatz im Boden gedacht sind, oder die als Kohlenstoff- oder Wasserspeicher, oder als Filter eingesetzt werden. Zudem sind die Ausgangsstoffe nicht nur auf Holzkohle oder fossile Materialien beschränkt, sondern können alle möglichen Stoffe pflanzlichen Ursprungs sein. (Vgl. Lehmann/Joseph 2010a: 1) Der Begriff ist jedoch auf Produkte aus unbelasteten organischen Ausgangsstoffen beschränkt (vgl. Möller/Höper 2014: 6). Viele der Eigenschaften nach der thermischen Behandlung sind ähnlich wie die der fossilen Kohle, unterschiedlich stark je nach Pyrolyse-Verfahren und Prozessparametern. Der Entstehungsprozess ist jedoch grundlegend anders (vor allem schneller) als die natürliche Inkohlung, daher gibt es wesentliche Unterschiede zur fossilen Kohle. (Vgl. Quicker/Weber 2016: 3)

Es gibt eine breite Bandbreite von Reaktionszeiten, die von wenigen Sekunden (Flash-Pyrolyse) bis hin zum langsamen Verschwelen reicht. Die Stabilität der Biokohle im Boden ist umso größer (die

---

<sup>14</sup> Es gibt verschiedene Temperaturangaben in verschiedenen Definitionen. An einer Stelle ist von Temperaturen unter 700°C die Rede (vgl. Lehmann/Joseph 2010a: 1), an anderer Stelle von Temperaturen zwischen 400 und 1100°C (vgl. Möller/Höper 2014: 6).

Verweilzeit kann bis 2000 Jahre betragen), je höher die Reaktionszeit und die Temperatur ist, denn umso vollständiger ist die Verkohlung und umso höher der Kohlenstoffgehalt. (Vgl. Möller/Höper 2014: 6) Meist wird Biokohle erst ab einem Kohlenstoffgehalt von mindestens 60% als solche bezeichnet (vgl. Agrokarbo 2016).

Der meistverwendete englische Begriff ist ‚Biochar‘. Die Association of Plant Food Control Officials (AAPFCO) in den USA hat in einem mehrere Jahre andauernden Prozess eine allgemein anerkannte Definition für Biochar vorgelegt:

*Biochar is a solid material obtained from thermochemical conversion of biomass in an oxygen-limited environment (pyrolysis) containing at least 60% carbon. Feedstocks may be composed of crop residue, wood or other forest waste, and animal manures. Materials transported in salt water, painted, or treated with preservatives are not permitted. When listing biochar in an ingredient statement, the feedstock shall be designated by prefixing the term biochar with the feedstock from which it was produced; i.e. poultry litter biochar, green waste biochar, papermill biochar, etc. When more than one feedstock is involved, all feedstocks greater than 10% of the total volume are to be listed by decreasing volume.*  
(Agrokarbo 2016)

Wie aus dieser Definition hervorgeht, kann verschiedenste Biomasse zu Biokohle karbonisiert werden. Weitere Beispiele sind „[...] der Inhalt der Biotonne, Grünabfälle aus Garten- und Landschaftspflege, Holzabfälle, selbst Klärschlamm und Weintrester.“ (Bioenergie-Region Mittelhessen o.J.) Biokohle findet Verwendung in zahlreichen Bereichen. So kann sie beispielsweise im Abfallmanagement zum Binden von Schadstoffen und überschüssigen Nährstoffen verwendet werden, in der Energieproduktion, zur Bekämpfung des Klimawandels<sup>15</sup>, oder als Hilfsstoff im Boden (vgl. Lehmann/Joseph 2010a: 5) (s. Abb. 14). Die Betrachtungen in dieser Arbeit beschränken sich größtenteils auf die Anwendung im Boden, obwohl sich bei einer ganzheitlichen Betrachtung einige Nutzungsmöglichkeiten und damit auch wirtschaftliche und ökologische Vorteile kombinieren lassen.

---

<sup>15</sup> Auf die Bedeutung, die Pflanzenkohle durch ihre Eigenschaft zum Binden von Kohlenstoff für die Bekämpfung des Klimawandels haben kann, wird im Folgenden noch weiter eingegangen.



**Abbildung 14: Motivation für die Anwendung von Biokohle (Lehmann/Joseph 2010a: 5)**

Als Pflanzenkohle wird meist pyrolytisch hergestellte Kohle bezeichnet, die in der Landwirtschaft oder Tierhaltung eingesetzt werden kann (vgl. Schmidt et al. 2012: 6) Sie ist also für eine stoffliche Nutzung vorgesehen. Der Begriff wird seit 2011 zunehmend im deutschsprachigen Raum verwendet (vgl. Haubold-Rosar et al. 2016: 6) und „[...] ist im landwirtschaftlichen Bereich etabliert und wird in einschlägigen gesetzlichen Regelwerken explizit für Biomassekarbonisate verwendet.“ (Quicker/Weber 2016: 4) Früher wurden die Begriffe Biokohle und Pflanzenkohle synonym verwendet, inzwischen soll der Begriff Pflanzenkohle die Anwendung in der Landwirtschaft definieren und so von anderen Nutzungsformen, beispielsweise einer energetischen, abgrenzen (vgl. ebd.: 3).

Ebenfalls soll der Eindruck vermieden werden, dass Biokohle ein bio-zertifiziertes Produkt ist (vgl. Haubold-Rosar et al. 2016: 6). Schmidt et al. haben im Rahmen des European Biochar Certificate Richtlinien für die Produktion von Pflanzenkohle erstellt (vgl. Schmidt et al. 2012, zitiert nach Haubold-Rosar et al. 2016: 6). Das Ziel ist es, einen Standard für Pflanzenkohle mit dem Einsatzgebiet Landwirtschaft zu schaffen (vgl. Quicker/Weber 2016: 3).

In diesen Richtlinien wird Pflanzenkohle folgendermaßen definiert: Pflanzenkohle wird aus organischen Stoffen pyrolytisch bei Temperaturen zwischen 350°C und 1000°C hergestellt, mit einem Sauerstoffgehalt von unter 2%. Die produzierte Kohle soll nachhaltig in der Landwirtschaft eingesetzt werden können. Somit sind andere Herstellungsverfahren wie die Torrefizierung, Hydrothermale Karbonisierung und Verkokung<sup>16</sup> von der Pflanzenkohleproduktion ausgeschlossen. Zudem dürfen als

<sup>16</sup> Als Torrefizierung wird die Pyrolyse holzartiger Biomassen bei relativ niedrigen Temperaturen und kurzen Verweilzeiten bezeichnet. Das Ziel dabei ist die Verbesserung der Brenneigenschaften im Vergleich zum Ausgangsmaterial. Das Produkt wird also zur Energieerzeugung eingesetzt. (Vgl. ebd.: 11) Die Herstellung von

Ausgangsmaterialien nur organische Reststoffe verwendet werden (diese sind auf einer Positivliste aufgeführt) und schließen beispielsweise Klärschlämme aus. Der Kohlenstoffgehalt muss mindestens 50%, das molare Verhältnis von Sauerstoff zu Kohlenstoff (O/C) muss kleiner als 0,4 sein und das molare Verhältnis von Wasserstoff zu Kohlenstoff (H/C) muss kleiner als 0,6 sein. Dieses letzte Kriterium schließt die Produktion durch Hydrothermale Karbonisierung faktisch aus. (Vgl. Schmidt et al. 2012, zitiert nach Haubold-Rosar et al. 2016: 6)

Andere Begriffe, die verwendet werden, beziehen sich auf Produkte bestimmter Verfahren und haben daher wenig mit deren Eigenschaften zu tun. Bei einer Erzeugung durch Pyrolyse, also durch „[...] *Erhitzen und Austreiben flüchtiger Bestandteile unter Ausschluss von Sauerstoff*“ (Quicker/Weber 2016: 3), wird häufig von Pyrolysekohle gesprochen. Das Produkt einer Hydrothermalen Karbonisierung, also „[...] *einer Umwandlung in wässriger Phase und unter erhöhtem Druck*“ (Quicker/Weber 2016: 3) wird oft als HTC-Kohle bezeichnet (vgl. ebd.). Aus den eben genannten Gründen wird auf diese Kohle, sowie auf den Herstellungsprozess jedoch nicht näher eingegangen.

Aufgrund der landwirtschaftlichen Thematik der vorliegenden Arbeit wird hier der Begriff der Pflanzenkohle verwendet und es wird auch nur der Herstellungsprozess der Karbonisierung näher betrachtet.

Zusammenfassend kann Pflanzenkohle als ein stark kohlenstoffhaltiges Material definiert werden, welches aus allen möglichen Stoffen pflanzlichen Ursprungs pyrolytisch hergestellt wird und welches in der Tierhaltung oder Landwirtschaft primär zum Zweck der Schaffung von Kohlenstoffsinken eingesetzt werden kann.

## 4.2 Kurze Geschichte der Pflanzenkohleverwendung

Um sinnvolle Praktiken für eine moderne Pflanzenkohleverwendung entwickeln zu können, muss zunächst angeschaut werden, wie sie bereits in der Vergangenheit angewendet wurde und was sich daraus lernen lässt. Das prominenteste Beispiel hierfür ist die Terra Preta, welche in Kapitel 4.2.2 näher thematisiert wird.

---

Kohle durch Hydrothermale Karbonisierung wird weiter unten beschrieben. Bei der Verkokung wird feste Biomasse in sauerstoffarmer Atmosphäre in ein gasförmiges Produkt umgewandelt. Als Nebenprodukt entsteht dabei sogenanntes Vergaserkoks (vgl. Quicker/Weber 2016: 3).

#### 4.2.1 Ursprünge und modernes wissenschaftliches Interesse

Pflanzenkohle ist eine der ältesten Bodenhilfsstoffe in der Geschichte der Landwirtschaft. Ihre Produktion und landwirtschaftliche Verwendung reicht mehrere tausend Jahre zurück. Die ältesten Funde befinden sich im Amazonasgebiet. Mit der Entwicklung der modernen Agrochemie geriet der Wert der Pflanzenkohle jedoch bis in die Mitte des 19. Jahrhunderts in Vergessenheit. (Vgl. Wilson 2014; garaTerra 2017). Im Jahr 1846 wird die Pflanzenkohle und ihre Herstellung und Bedeutung in der Landwirtschaft erstmalig in der Fachzeitschrift ‚Dinglers Polytechnisches Journal‘ erwähnt. Dort wird die Verkohlung von Sägespänen in einem Erdmeiler beschrieben. Die entstandene Kohle wurde anschließend mit Urin oder Ähnlichem vermischt und erfolgreich in der Landwirtschaft eingesetzt. (Vgl. Anonymous 1846: 416) Das allgemeine wissenschaftliche Interesse nimmt jedoch erst seit Ende der 1990er Jahre wieder zu. Besonders interessiert waren die ersten ForscherInnen an der Bedeutung von Pflanzenkohle für den Humusaufbau und die Kohlenstoffsequestrierung. 2010 wurden die ersten industriellen Produktions- Anlagen in Betrieb genommen, was zur Folge hatte, dass Pflanzenkohle wieder vermehrt in der Landwirtschaft eingesetzt wurde. (Vgl. garaTerra 2017) In Japan wurde die Pflanzenkohle schon 1984 als Bodenverbesserungsmittel zugelassen, später wurde die Schweiz das erste europäische Land, das Pflanzenkohle offiziell für die landwirtschaftliche Anwendung autorisiert hat. In der Schweiz bestehen strenge Qualitäts- und Nachhaltigkeitsvorschriften. Aus diesem Grund konnte sich die Pflanzenkohle-Technologie so gut entwickeln und soll nun sogar eine Schlüsseltechnologie zur Schließung der Stoffkreisläufe werden. Diese Qualitäts- und Nachhaltigkeitsvorschriften fehlen zurzeit noch in den EU-Ländern, sowie in den USA und anderen Ländern, die bereits mehr und mehr Pflanzenkohle in der Landwirtschaft verwenden. (Vgl. Schmidt 2013) Einen ersten Ansatz bietet das European Biochar Certificate, auf das im Folgenden noch weiter eingegangen wird.

In Deutschland ist die Verwendung demnach noch immer stark eingeschränkt. Es bestehen noch verschiedene Hürden, auf die in Kapitel 4.7 näher eingegangen wird.

Wie bereits erwähnt, ist der Boden ein massiver Kohlenstoffspeicher. Er enthält dreimal so viel Kohlenstoff wie die Atmosphäre und fünfmal so viel wie die Wälder. Etwa 60% des Kohlenstoffs sind in Form von organischer Substanz im Boden gebunden. Der Hauptbestandteil dieser organischen Substanz ist der Humus, eine stabile Form organischen Kohlenstoffs, der bis zu tausenden von Jahren bestehen kann. (Vgl. Bates 2010: xi) Die Erkenntnis, dass die Erhöhung des Bodenkohlenstoffgehalts eine sehr wichtige Adaptionsstrategie gegen den Klimawandel ist (vgl. ebd.: 26), hat aufgrund

verschiedener Eigenschaften der Pflanzenkohle (s. Kapitel 4.3) dazu geführt, dass mehr Aufmerksamkeit auf die Möglichkeiten des Einsatzes in der Landwirtschaft gelegt wurde.

Im Jahr 2015 rief das Ithaka- Institut zum World Char Day auf. An diesem Tag sollte weltweit Pflanzenkohle hergestellt werden. Mehr als 200 Menschen aus vielen Ländern, Milieus und Altersgruppen pyrolysierten verschiedenste Biomassen mit verschiedenen Herstellungstechniken. Insgesamt wurden 38.000kg Pflanzenkohle hergestellt. (Vgl. Pieplow/Schmidt 2017)

#### **4.2.2 Terra Preta**

Pflanzenkohle ist ein zentraler Bestandteil der berühmten Schwarzerde, die im Amazonasgebiet entdeckt wurde, der sogenannten ‚Terra Preta do Indio‘ (vgl. Vogel et al. 2011). Die Aufrechterhaltung der hohen Mengen organischer Substanz und großen Mengen pflanzenverfügbarer Nährstoffe von Terra Preta über Jahrhunderte bis Jahrtausende sind auf Pflanzenkohle zurückzuführen (s. Kapitel 4.3), welche in der Terra Preta in großen Mengen gefunden wurde. Wahrscheinlich wurde diese Kohle über einen langen Zeitraum aus den Feuerstellen hinzugefügt. In den Terra Preta Böden wurde bis zu 70% mehr Kohle gefunden als in den umliegenden Böden. (Vgl. Glaser et al. 2010: 12) Da Pflanzenkohle in reiner Form meist kaum Nährstoffe enthält, sind einige ForscherInnen der Meinung, dass sie vor der Einbringung in den Boden mit Nährstoffen und Mikroorganismen ‚aktiviert‘ werden muss (s. Kapitel 4.5). Dies wird manchmal als ‚Terra-Preta-Effekt‘ beschrieben. (Vgl. Fachverband Pflanzenkohle e.V. 2017a) Terra Preta wurde Ende des 19. Jahrhunderts zum ersten Mal wissenschaftlich beschrieben (vgl. Glaser et al. 2010: 10).

In der Amazonasregion sind die Voraussetzungen für produktive Landwirtschaft eigentlich denkbar schlecht. Die Böden sind oft extrem verwittert, sehr sauer und nährstoffarm und haben einen hohen Aluminiumgehalt. Aus diesem Grund werden sie oft ‚terra firme‘ (feste Erde) genannt (s. Abb. 15). Auch in den Überflutungsgebieten, wo der Boden etwas fruchtbarer ist, funktioniert der Anbau nicht gut, da das Flutverhalten unvorhersehbar ist. Jedoch ist für die Betrachtung von Böden der Maßstab entscheidend. Regionale oder gar kontinentale Beschreibungen sind unzureichend. Auf der Mikroskala dagegen findet man eine große Vielfalt in der Bodenlandschaft und viele Modifikationen, die in präkolumbianischen Zeiten vom Menschen in der Bodenlandschaft vorgenommen wurden. Die meisten Böden im Amazonasgebiet wurden durch die Eingeborenen über die Zeit verändert und manipuliert, direkt und indirekt, zum Positiven und zum Negativen. (Vgl. Glaser/Woods 2010: 1)

In den 1960ern wurden vier verschiedene Theorien zur Entstehung der Terra Preta Böden aufgestellt: Es wurde sowohl vermutet, dass es sich um vulkanische Ablagerungen, Flussablagerungen,

anthropogene Plaggenablagerungen, als auch um eine anthropogene Herstellung vor Ort handeln könnte. Seitdem wurde die Theorie eines anthropogenen Ursprungs favorisiert, da festgestellt wurde, dass Terra Preta Böden und die umliegenden unfruchtbaren Böden eine ähnliche mineralogische Zusammensetzung haben, was alle geogenen Hypothesen der Entstehung ausschließt. Beispielsweise wurde in manchen Terra Preta Böden ein höherer Sandgehalt in den oberen Bodenhorizonten festgestellt, was für einen anthropogenen Einfluss und gegen Fluss- oder Vulkanablagerungen spricht, da sich in diesen Fällen die Sandpartikel eher unten ablagern würden. Bei einer Plaggenablagerung wäre die Bodenoberfläche erhöht, was bei Terra Preta Böden nicht der Fall ist. (Vgl. Glaser et al. 2010: 10) Dass zudem auch Tonscherben in den Terra Preta Böden gefunden wurden unterstützt die Theorie des anthropogenen Ursprungs (vgl. Glaser et al. 2001: 37). Es wird daher angenommen, dass sich die entdeckten Terra Preta Böden dort befinden wo früher Siedlungen waren. Im gesamten Amazonasgebiet finden sich diese Schwarzerden in verschiedenen Landschaftskontexten und in verschiedenen Größenordnungen von einem Hektar bis hin zu mehreren Quadratkilometern (vgl. Glaser/Woods 2010: 3f.). Insgesamt wurden sie auf einer Fläche von rund 55 Millionen Hektar produziert und bewirtschaftet (vgl. Toensmeier/Herren 2016: 109). Es wird heute angenommen, dass sich diese Erden in kulturellen Lagerstätten gebildet haben, dort wo sich Abfälle und die Überreste von Wohnstätten angesammelt haben (vgl. Glaser/Woods 2010: 3f.). Terra Preta besteht meist aus Holzkohle, Asche, Pflanzenrückständen, Knochen, Fischgräten, menschlichen Exkrementen und Tonscherben (ca. 8.000 - 12.000 Gefäße/ha) (vgl. Vogel et al. 2011).

Nach Zimmermann und Gao ist die Terra Preta, die reich an pyrogenem und nicht-pyrogenem Bodenkohlenstoff ist, aufgrund folgender Mechanismen entstanden: Wenn Pflanzkohle durch abiotische und mikrobielle Oxidation altert, wird es löslicher, daher steigt auch die mikrobielle Aktivität. Durch Löslichkeit, Sorption und Ionenaustausch kann pyrogene organische Substanz durch die vorhandene organische Substanz des Bodens ausgetauscht werden, während gleichzeitig die Bodenmineralien eine Schicht pyrogene organische Substanz bekommen können. Nach einiger Zeit entstehen so stabile Aggregate. (Vgl. Zimmermann/Gao 2013: 33)



**Abbildung 15: Terra Preta (links) und der für die Amazonasregion sonst typische Oxisol (rechts) (Glaser et al. 2001: 38)**

Die ältesten Terra Preta- Stätten, die entdeckt wurden, sind 8500 Jahre alt und liegen in Brasilien. Im Kolumbianischen Amazonasgebiet ist die älteste entdeckte Stätte lediglich aus dem Jahr 348 nach Christus. Dies könnte daran liegen, dass die Kommunikation zwischen den Bevölkerungsgruppen oft nicht über weite Strecken reichte und die Entwicklung der Terra-Preta- Herstellung an verschiedenen Orten zu verschiedenen Zeiten stattfand. (Vgl. Bates 2010: 32) Möglicherweise war Terra-Preta aber auch ein Zufallsprodukt, dessen Herstellung über die Zeit zu einer bewährten Handlungspraxis wurde, welche jedoch nicht weiter kommuniziert wurde.

Die Betrachtung der Terra Preta Böden ist aufgrund ihrer dauerhaft bodenverbessernden Eigenschaften für die regenerative Landwirtschaft sehr interessant. Teilweise wurde sogar beobachtet, dass die Böden sich nach einem Abbau durch den Menschen selbst wiederaufgebaut haben. Hypothesen, die dieses Phänomen erklären, konnten jedoch bislang noch nicht wissenschaftlich bewiesen werden. (Vgl. Scheub et al. 2016: 43f.)

Terra Preta Produkte werden in Deutschland schon teilweise vermarktet (z.B. unter den Produktnamen Palaterra und TriaTerra), jedoch darf der Pflanzenkohle-Bestandteil zurzeit aus rechtlichen Gründen nur aus dem Ausgangsmaterial Holz hergestellt werden (s. Kapitel 4.7.1). (Vgl. Forschungsinstitut für biologischen Landbau 2017a)

Laut Schmidt könnten LandwirtInnen auf den eigenen Flächen ca. ein bis drei Tonnen Pflanzenkohle in einer kleinen Anlage nachhaltig selbst herstellen. Dies würde ausreichen, um in zwei bis drei Generationen Terra Preta wie im Amazonasgebiet herzustellen. (Vgl. Schmidt 2016) (S. Kapitel 4.6.1)

### 4.3 Eigenschaften und Wirkung der Pflanzenkohle auf Boden und Pflanzen

Bereits vor 150 Jahren wurde ein positiver Effekt von Kohle auf die Pflanzengesundheit festgestellt. Allen schrieb im Jahr 1846: "*Charcoal as well as lime, often checks rust in wheat, and mildew in other crops; and in all cases mitigates their ravages, where it does not wholly prevent them.*" (Allen 1846, zitiert nach Wiedner/Glaser 2013: 78)

Die Auswirkungen, die Pflanzenkohle auf die physischen und chemischen Bodeneigenschaften, sowie auf die Bodenlebewesen hat, ist jedoch vermehrt erst seit 2006, als die ‚Agrichar Initiative‘ auf einem Kongress in Philadelphia, USA gegründet wurde, in verschiedenen Versuchen erforscht worden (vgl. Lehmann/Joseph 2010b: xxiii). Sie werden dennoch noch nicht zur Gänze verstanden (vgl. Ladygina/Rineau 2013: v; Lehmann/Joseph 2010a: 5f.). Mit der genauen Beschreibung dieser Auswirkungen und ihrer physikalischen und chemischen Begründungen können ganze Bücher gefüllt werden, weshalb in diesem Kapitel lediglich die für den Ackerbau relevanten Aspekte herausgegriffen werden.

#### 4.3.1 Physikalische Eigenschaften

Pflanzenkohle hat im Boden einen großen Effekt auf die mikrobielle Biomasse, die Struktur von Mikroorganismengesellschaften, Bodenatmung und Enzymaktivität, sowohl in Bezug auf den Boden an sich als auch auf den Wurzelraum (vgl. Graber/Elad 2013: 52). Die Porengröße der Pflanzenkohle spielt hierbei eine wichtige Rolle. In der Industrie wird das Wissen über das Verhältnis von Oberfläche und Porengröße schon lange genutzt. Dies ist jedoch auch für Böden entscheidend. Die Mikroporen (<2nm im Durchmesser) tragen zur Oberflächengröße bei und sorgen für die hohen adsorptiven<sup>17</sup> Kapazitäten des Bodens, beispielsweise können so Nährstoffe besser gehalten werden. Je höher die Temperatur bei der Pyrolyse, desto mehr Mikroporen entstehen und desto höher die Oberfläche der Kohle. (Vgl. Downie et al. 2010: 22f.) Makroporen (<50nm Durchmesser) in der Pflanzenkohle sind vor allem

---

<sup>17</sup> Die Adsorptionsfähigkeit beschreibt die Anreicherungsfähigkeit von Stoffen an der Oberfläche eines Festkörpers (vgl. Brehm 2009: 1). Festkörper wie die Pflanzenkohle können Fremdmoleküle entweder in ihr Inneres aufnehmen (Absorption), oder an ihrer Oberfläche anlagern (Adsorption). Der Oberbegriff für beide Vorgänge wird als Sorption bezeichnet. (Vgl. Fehse 2004: 5)

wichtig für die Belüftung und Hydrologie von Böden, für die Wurzelbewegung durch den Boden, sowie als Lebensraum für Bodenmikroorganismen (vgl. ebd.: 24f.). Das Zitat „*Biochar is like a coral reef in the soil*“ (Bates 2010: 4) verbildlicht dies gut. Mikrobenzellen sind typischerweise zwischen 0.5 und 5µm groß und bestehen überwiegend aus Bakterien, Pilzen und Flechten. Algen sind etwas größer. Die Makroporen der Pflanzenkohle haben daher wahrscheinlich eine geeignete Größe, um Ansammlungen von Mikroorganismen zu beherbergen. Diese Zusammenhänge sind jedoch laut Downie et al. noch wenig erforscht. (Vgl. Downie et al. 2010: 24f.)

Die Größe der Oberfläche der Bodenpartikel ist ein sehr wichtiges Merkmal von Böden, da alle wichtigen Bodenfunktionen durch sie beeinflusst werden, wie die Fruchtbarkeit, die Wasserhaltekapazität, die Belüftung, der Nährstoffkreislauf und die Aktivität der Bodenlebewesen. Es ist erwiesen, dass ein hoher Anteil an organischer Substanz im Boden Probleme wie zu viel Wasser in lehmigen Böden oder zu wenig Wasser in sandigen Böden überwinden kann und es gibt Anzeichen dafür, dass Pflanzenkohle in ähnlicher Weise die physischen Eigenschaften von Böden beeinflussen kann. Pflanzenkohle als Bodenzusatz kann also die Bodenoberfläche vergrößern. (Vgl. ebd.: 22)

Aufgrund der Oberfläche, sowie der Porenstruktur hat Pflanzenkohle eine hohe Wasserspeicherkapazität, was zu einer allgemeinen erhöhten Wasserspeicherkapazität des Bodens führt (vgl. Thies/Rillig 2010: 78).

Ein weiterer wichtiger Faktor ist die Dichte. Es gibt bei Pflanzenkohle zwei Arten von Dichte, einmal die Festkörperdichte und einmal die Raumdichte. Die Festkörperdichte bezeichnet die Dichte auf molekularer Ebene, je nachdem wie dicht die Kohlenstoffatome gepackt sind. Die Raumdichte bezeichnet die Dichte des Materials, welches aus mehreren Partikeln besteht und bezieht die Makroporosität innerhalb eines Partikels und den Abstand zwischen den Partikeln mit ein. Dies ist vor allem bei der Produktion von Pflanzenkohle entscheidend, da die verschiedenen Dichten bei verschiedenen Methoden variieren und die Kohle dementsprechend unterschiedliche physikalische Eigenschaften hat. (Vgl. Downie et al. 2010: 27f.)

Bestimmte Ausgangsbiomassen (z.B. Nussschalen und Steinobstkerne) erzeugen Kohlen mit hoher mechanischer Stärke, das bedeutet, dass sie widerstandsfähig gegen Abnutzung bei ihrer Verwendung sind (z.B. beim Eintrag in den Boden), also nicht so schnell zerfallen. Die höhere molekulare Ordnung, die bei der Pyrolyse entsteht, führt dazu, dass die entstandene Kohle eine höhere mechanische Stärke hat als das Ausgangsmaterial. (Vgl. ebd.: 29)

### 4.3.2 Chemische Eigenschaften

Die chemische Zusammensetzung von Pflanzenkohle lässt sich folgendermaßen beschreiben: „*In terms of its chemical structure, biochar is commonly considered to be highly aromatic and containing random stacks of graphite layers.*“ (Downie et al. 2010: 53)

Die chemischen Eigenschaften der Pflanzenkohle variieren stark je nach Ausgangsmaterial und verändern sich auch mit unterschiedlicher Pyrolysetemperatur. Beispielsweise verändert sich das C/N-Verhältnis<sup>18</sup> (vgl. ebd.: 56f.). Für die Bodenbiologie ist dies relevant, da im Humus beide Elemente in organischer Form vorhanden sind und von den Mikroorganismen mineralisiert werden. Dadurch wird der Stickstoff erst pflanzenverfügbar gemacht. Ein enges Verhältnis von Kohlenstoff zu Stickstoff ist ein Indikator für eine hohe Mikroorganismenaktivität, was ein Zeichen für hohe Fruchtbarkeit ist. Schwarzerde (Terra Preta) hat beispielsweise ein C/N-Verhältnis von 10, das bedeutet, dass auf einen Teil Stickstoff 10 Teile Kohlenstoff kommen. Ein nährstoffarmer Boden dagegen, beispielsweise ein Hochmoorboden, hat ein C/N-Verhältnis von 50. Ackerböden sollten für einen guten Ertrag ein C/N-Verhältnis haben, das kleiner als 25 ist. (Vgl. GeoDZ 2010)

Sehr interessant für den konventionellen Ackerbau ist die Feststellung von Graber und Elad, dass Pflanzenkohle einen negativen Effekt auf die Wirksamkeit von auf den Boden aufgetragenen Bioziden haben könnte, also auf Fungizide, Insektizide und Herbizide. Dies liegt daran, dass viele Pflanzenkohlen eine hohe Adsorptionsfähigkeit für viele organische Verbindungen besitzen. Beispielsweise wurde beobachtet, dass eine Zunahme der Adsorption des Fungizids Pyrimethanil mit erhöhter Pflanzenkohlekonzentration im Boden einhergeht. Besonders Pflanzenkohlen mit einer großen Oberfläche stellen für den Einsatz von Bioziden ein Problem dar, da diese eine viel größere Adsorptionsfähigkeit besitzen als Pflanzenkohlen mit einer kleinen Oberfläche. (Vgl. Graber/Elad 2013: 59f.)

### 4.3.3 Wirkung auf Bodenmikroorganismen

Millionen kleinster Bodenlebewesen, die Mikroorganismen, machen die Fruchtbarkeit des Bodens aus. Der größte Anteil der Biomasse des Bodens besteht aus Mikroorganismen, insbesondere aus Pilzen. Die Mikroorganismen erhalten die Bodenstruktur, tragen zum Abbau toter Pflanzen und Tiere bei und binden Stickstoff im Boden. Die Zerstörung der Mikroorganismen durch landwirtschaftliche

---

<sup>18</sup> Das C/N-Verhältnis beschreibt das Massenverhältnis von Kohlenstoff zu Stickstoff in Pflanzen oder Böden. (Vgl. GeoDZ 2010)

Chemikaliennutzung stellt ein großes Problem für die Ernährungssicherheit dar (s. unten). (Vgl. Bates 2010: XII)

Pflanzenkohle steigert die Aktivität von für die Landwirtschaft bedeutenden Bodenmikroorganismen und kann die mikrobiologischen Eigenschaften des Bodens stark beeinflussen. Die Poren in der Pflanzenkohle und ihre Größenverteilung stellen einen idealen Lebensraum für viele Mikroorganismen dar, da sie dort vor Prädatoren und vor Austrocknung geschützt sind und ihre diversen Kohlenstoff-, Energie- und Mineralstoffbedarfe gedeckt werden. Bodenmikroorganismen sind in der Landwirtschaft sehr wichtig, da sie diverse Ökosystemdienstleistungen erbringen: sie zersetzen organisches Material, verstoffwechseln und immobilisieren anorganische Nährstoffe, filtern, tragen zur Bioremediation kontaminierter Böden bei, unterdrücken oder verursachen Pflanzenkrankheiten, produzieren und geben Treibhausgase frei und verbessern die Bodendurchlässigkeit und Wasserinfiltration. Zu diesen Mikroorganismen gehören Bakterien, Pilze, Algen, Einzeller (Protozoen) und Fadenwürmer (Nematoden). (Vgl. Thies/Rillig 2010: 85)

Da Pflanzenkohle eine hohe Adsorptionsfähigkeit für kleine und große organische Moleküle besitzt, wird erwartet, dass sie die verschiedenen Wurzelexudate (Flavinoide, Fettsäuren, Tannine, Kohlenhydrate, Steroide, Terpenoide und Vitamine), die eine Pflanze abgibt, aufnimmt und dadurch die chemische Zusammensetzung der Rhizosphäre (des Wurzelraums) und dadurch wiederum die Mikroorganismenstruktur des Bodens beeinflusst. Dies könnte der Grund dafür sein, dass die Rhizosphäre nach der Anwendung von Pflanzenkohle weniger anfällig für die Entwicklung krankheitserregender Mikroorganismen ist, worauf im Folgenden noch weiter eingegangen wird. (Vgl. Graber/Elad 2013: 55f.)

Eine wichtige Mikroorganismengruppe ist die der Mykorrhiza-Pilze, die mit dem Feinwurzelsystem der Pflanzen in Symbiose leben und für Bodenökosysteme eine zentrale Rolle spielen. Sie sind unter anderem ein Teil des Boden- Nährstoffkreislaufs, beeinflussen Bodenwasserdynamiken, filtern und tragen zur biologischen Entgiftung des Bodens und der Pflanzen bei (Bioremediation). Wie bereits erwähnt führen unterschiedliche Ausgangsmaterialien, Pyrolysemethoden und -temperaturen zu unterschiedlichen Oberflächen- und Porengrößen der Pflanzenkohle. Die feinen Pilzfäden (Hyphen) können die Poren entsprechender Größe gut durchdringen und besiedeln. (Vgl. Wiedner/Glaser 2013: 73) Da, wie bereits erwähnt, die Wurzelexudate der Pflanzen teilweise durch die Pflanzenkohle adsorbiert werden, ist es jedoch möglich, dass die Kohle dadurch die Kommunikation zwischen den Pflanzen und den Mykorrhizapilzen beeinträchtigt, da diese vermutlich über die Exudate stattfindet. Es ist zudem möglich, dass Pflanzenkohle diejenigen Chemikalien entgiften kann, die eine Pflanze produziert, um sich gegen Pflanzenfresser oder konkurrierende Pflanzen zu wehren. Dies hätte auch

einen Einfluss auf die Kolonisation der Pflanzenwurzeln durch Mykorrhizapilze. (Vgl. Graves 2013: 228) Hier ist weitere Forschung nötig, um einen negativen Effekt auf das Pflanzenwachstum ausschließen zu können.

Die Aktivität der Mikroorganismen allgemein hängt von der Feuchtigkeit, der Temperatur und dem pH-Wert der Umgebung ab. Bei neutralem pH-Wert ist die Bakterienaktivität am stärksten. Bei extremeren pH-Werten dominieren Pilze, da sie eine größere Spannweite tolerieren. Pflanzenkohlen haben unterschiedliche pH-Werte, je nach Ausgangsmaterial und Pyrolysetemperatur. Durch die Anwendung von Pflanzenkohle mit verschiedenen pH-Werten kann also die Zusammensetzung des Bodenlebens (z.B. das Verhältnis von Bakterien zu Pilzen) stark beeinflusst werden. (Vgl. Thies/Rillig 2010: 88)

In manchen Fällen wurde festgestellt, dass aktivierte Pflanzenkohlezusätze, besonders in pulverisierter Form, schädlich für manche Sediment- und Bodenorganismen ist. Dies betrifft insbesondere diejenigen, die in engem Kontakt zum Boden und zum Sediment leben und große Mengen davon aufnehmen. Es wird angenommen, dass dies an den sorbierenden Eigenschaften der pulverisierten Pflanzenkohle liegt, die bewirken, dass weniger löslicher organischer Kohlenstoff verfügbar ist, der von den Bodenlebewesen aufgenommen werden könnte. In anderen Studien jedoch wurden nur sehr wenig Auswirkungen auf Bodenorganismen beobachtet. (Vgl. Gomez-Eyles et al. 2013: 111)

#### **4.3.4 Direkter und indirekter Nährstoffwert**

Eine für den Ackerbau besonders positive Eigenschaft der Pflanzenkohle ist ihr Nährstoffwert. Entweder stellt sie aufgrund ihrer chemischen Zusammensetzung direkt Nährstoffe zur Verfügung, oder sie verbessert indirekt die Qualität des Bodens, sodass Dünger effizienter eingesetzt werden können. (Vgl. Chan/Xu 2010: 67) Der eigene Nährstoffgehalt der Pflanzenkohle kommt dadurch zustande, dass sie aus Biomasse hergestellt wird. Biomasse hat einen hohen Kohlenstoffgehalt und enthält verschiedene Mikro- und Makronährstoffe. Wie bereits erwähnt ist die Zusammensetzung und der Gesamtgehalt in der Pflanzenkohle jedoch abhängig vom Ausgangsmaterial und den Pyrolysebedingungen. (Vgl. ebd.: 68)

Bei der direkten Nährstoffbereitstellung ist dabei nicht so entscheidend, wie viele Nährstoffe in welcher Menge vorhanden sind, sondern eher wie verfügbar diese Nährstoffe für Pflanzen sind. Ein indirekter Effekt der Pflanzenkohle ist ihre Eigenschaft, durch die genannten spezifischen Oberflächeneigenschaften, Nährstoffe im Boden zu binden und dadurch Auswaschungen zu reduzieren, was wiederum eine höhere Nährstoffaufnahme der Pflanzen zur Folge hat und dementsprechend einen höheren Ertrag. (Vgl. ebd.: 67)

Der Einfluss der Pflanzenkohle auf Nährstoffauswaschungen kommt dadurch zustande, dass zum Beispiel Wasser länger im Wurzelbereich der Pflanzen gehalten wird, dass Nährstoffe direkt an die Pflanzenkohle gebunden werden, und/oder dass an feine Pflanzenkohlepartikel gebundene Nährstoffe sich mit dem einsickernden Wasser bewegen. Diese Dynamiken können zwar Nährstoffauswaschungen sowohl minimieren als auch verstärken, die meiste bisherige Forschung legt jedoch nahe, dass Pflanzenkohle organische und anorganische Moleküle sorbiert und sie so eher gegen Auswaschungen schützt. Ein weiterer daraus resultierender Vorteil für den Ackerbau ist, dass weniger Düngemittel ausgebracht werden müssen, was nicht nur Ökosysteme vor Eutrophierung schützt, sondern auch in einen verminderten CO<sub>2</sub>-Ausstoß durch die Produktion und den Transport synthetischer Düngemittel resultiert. (Vgl. ebd.: 71) Dieser positive Effekt sollte laut Major jedoch mit anderen Faktoren in Verbindung gebracht werden, die einen Einfluss auf Auswaschungen haben, wie beispielsweise Regen oder das Anbaumanagement (vgl. Major et al. 2010: 282f.). Aus diesem und aus weiteren Gründen, die im Verlauf des Kapitels noch deutlich werden, ist der Zusammenhang zwischen den Eigenschaften der Pflanzenkohle und den Bewirtschaftungsmethoden so wichtig, was in der vorliegenden Arbeit näher untersucht werden soll.

In vielen Studien wurde ein höherer Ertrag nach der Anwendung von Pflanzenkohle im Boden, bei verschiedenen Anbaukulturen in verschiedenen Teilen der Welt, beobachtet. In weit weniger Fällen wurde von einem niedrigeren Ertrag berichtet. Die positiven Auswirkungen wurden von den Autoren unter anderem auf den Phosphor-, Kalium- und Kupfergehalt der Pflanzenkohle zurückgeführt. (Vgl. Chan/Xu 2010: 71) Zudem kann die Pflanzenkohle durch seine kalkenden Eigenschaften den pH-Wert des Bodens erhöhen oder erhalten und so zu einem besseren Wachstum bestimmter Pflanzenarten beitragen (vgl. ebd.: 73).

Ein negativer Ertrags-Effekt wurde teilweise bei Verwendung größerer Mengen Pflanzenkohle beobachtet (5-15t/ha), was von den Autoren der entsprechenden Studien auf einen Mikronährstoffmangel durch den pH-Wert-Anstieg und zu hohe Calciumwerte zurückgeführt wurde. Das heißt, für bestimmte säureliebenden Pflanzenarten kann ein negativer Effekt entstehen. Dies bedeutet für die Landwirtschaft, dass die Grenzen der Pflanzenkohleverwendung für bestimmte Bodenbedingungen und Kohlearten immer in Betracht gezogen werden müssen und nicht einfach beliebige Pflanzenkohlen in beliebigen Mengen ausgebracht werden können (vgl. Chan/Xu 2010: 74). Dies würde sowohl ökonomisch als auch ökologisch keinen Sinn ergeben.

#### 4.3.5 Schutz vor Krankheiten

Laut Graber und Elad wurde in einigen Studien beobachtet, dass der Zusatz von Pflanzenkohle im Boden die Abwehrkräfte der Pflanzen gegen Krankheiten auslösende Mikroorganismen unterstützen kann. Einige Blatt-Pathogene wurden durch die Pflanzenkohle-Anwendung deutlich reduziert. Zudem wurde eine Begrenzung des Schadens durch die sogenannte Breitmilbe bei Paprikapflanzen beobachtet, sowie eine Reihe von anderen Krankheiten bei verschiedenen Pflanzen. Daraus lässt sich schließen, dass die Pflanzenkohle einen Effekt auf das gesamte System der Pflanzen hat, da sie (bei Blatt-Pathogenen aus der Luft) zu keiner Zeit in Kontakt mit den Krankheitserregern gekommen ist. Da Pflanzenkohle, wie bereits genannt, die Ausbreitung von förderlichen Mykorrhiza-Pilzen im Boden unterstützt, konnte auch beobachtet werden, dass Bodenkrankheiten durch die Pflanzenkohle-Anwendung unterdrückt werden, z.B. die Wurzelrotte, die durch verschiedene Krankheitserreger ausgelöst wird, welche sich im Boden befinden. (Vgl. Graber/Elad 2013: 47ff.)

Das pflanzeneigene Immunsystem kann durch manche in Wasser gelöste Elemente (z.B. Silizium) gefördert werden. Andere Elemente können indirekt das Immunsystem unterstützen, indem sie abiotischen Stress in der Pflanze hervorrufen, der die Abwehrkräfte der Pflanze stimuliert. Da viele Pflanzenkohlen eine Fülle von wasserlöslichen Mineralien enthalten, ist es möglich, dass diese Mineralien diese systemische Resistenz stimulieren. Außerdem ist es möglich, dass die Pflanzen aufgrund geringer Mengen phytotoxischer organischer Verbindungen, die aus der Pflanzenkohle gelöst werden, Abwehrkräfte entwickeln. In höheren Dosen hätten dieselben Stoffe toxische Auswirkungen auf die Pflanzen. (Vgl. Graber/Elad 2013: 57)

Zudem wurde in mehreren Studien beobachtet, dass Pflanzenkohle zur Bekämpfung von Pilzkrankheiten durch pathogene Pilze beiträgt, durch die Förderung der genannten systemischen Resistenz der Pflanzen (vgl. Wiedner/Glaser 2013: 79).

#### 4.3.6 Bioremediation des Bodens

Die Forschung zu den Möglichkeiten der sogenannten Bioremediation kontaminierter Böden ist noch in den Anfängen, obwohl verschiedene Methoden vermutlich schon lange genutzt werden. Bei der Bioremediation wird das zersetzende Potenzial biologischer Systeme genutzt (durch mikrobielle Aktivität hervorgerufen), um organische und anorganische Schadstoffe im Boden zu zerstören. Es können beispielsweise mit Schwermetallen, PAKs und sogar radioaktivem Material kontaminierte Böden mithilfe von Organismen (Prokaryonten, Pilze oder Pflanzen) gereinigt werden. (Vgl. Cummings 2010: v)

Es wurde bereits genannt, dass in einigen Studien nach der Pflanzenkohleanwendung eine reduzierte Verfügbarkeit von Bioziden nachgewiesen wurde (vgl. Graber/Elad 2013: 59f.). Diese hydrophoben organischen Verbindungen haben eine hohe Affinität für sogenannten schwarzen Kohlenstoff wie z.B. Pflanzenkohle. Dadurch kann die Konzentration dieser Schadstoffe in der wässrigen Phase stark reduziert werden. Dies ist von großem Vorteil, da so weniger Schadstoffe ausgewaschen werden. (Vgl. Gomez-Eyles et al. 2013: 103f.) Dies gilt wie bereits erwähnt auch für nicht benötigte Nährstoffe, was die Gefahr einer Eutrophierung von Böden und Gewässern minimiert.

Sowohl organische (z.B. PAKs) wie auch anorganische (z.B. Kupfer, Zink, Cadmium, Phosphor, Kalium etc.) Kontaminationen können mithilfe von Pflanzenkohle reduziert werden. Pflanzenkohlen mit bestimmten Eigenschaften sind für bestimmte Schadstoffe besser geeignet als andere, daher ist es wichtig, die spezifischen Sorptionseigenschaften der Kohle zu kennen, um die jeweilige Kohle für den jeweiligen Standort auswählen zu können. Dennoch können eine Reihe von Komplikationen auftreten, besonders an Standorten wo verschiedene Schadstoffe, organische und anorganische, vorhanden sind. Daher ist es wichtig, vor der Anwendung einer spezifischen Kohle zum Zweck der Remediation, die biogeochemischen Eigenschaften der Fläche in Betracht zu ziehen. (Vgl. Gomez-Eyles et al. 2013: 124)

Die aktuelle Forschung deutet darauf hin, dass es für eine bessere Adsorption organischer Schadstoffe sinnvoll ist, die Oberflächengröße der Pflanzenkohle zu maximieren. Dies geht am besten durch eine Erhöhung der Pyrolysetemperatur. Zudem sind auch kleinere Partikelgrößen, erreicht durch Zermahlen der Pflanzenkohle, effektiver bezüglich der Remediation kontaminierter Böden. (Vgl. ebd.: 106ff.)

Die Remediationseigenschaften von Pflanzenkohle sind aufgrund ihres wiederherstellenden Charakters besonders wichtige Faktoren für die regenerative Landwirtschaft. „[...] *[S]oil amendment by charcoal may help ward off soil degradation and restore already degraded soils, assisting in the establishment of sustainable food and fuel production in areas with severely depleted soils and scarce resources.*“ (Graber/Elad 2013: 42)

#### **4.3.7 Kohlenstoffsequestrierung**

Ein oft in Zusammenhang mit Pflanzenkohleanwendung im Ackerbau genannter Aspekt ist der des Klimaschutzes: „[...] *addition of biochar to soil may reduce greenhouse gas emissions from cultivated soils.*“ (Graber/Elad 2013: 42f.) Pflanzenkohle kann, als eine Erscheinungsform organischer Substanz, als Kohlenstoffspeicherungswerkzeug angesehen werden (vgl. Zimmermann/Gao 2013: 2). Biomasse, die pyrolysiert wurde, wird weit weniger schnell remineralisiert (also zu Kohlendioxid oder Methan

zurückverwandelt) als unpyrolysierte Biomasse, wie im Folgenden näher erläutert wird (vgl. ebd.). Bestimmte Gase, wie z.B. Kohlendioxid, können von der Pflanzenkohle aufgenommen werden und werden entweder im Wasser, das sich in den Poren der Pflanzenkohle sammelt, gelöst, oder sie sammeln sich in den luftgefüllten Porenräumen, oder sie werden chemisch an die Pflanzenkohle gebunden (vgl. Thies/Rillig 2010: 88). Die hohe Speicherkapazität von Kohlenstoff liegt außerdem an den polyaromatischen Bestandteilen der Kohle, da diese resistent sind gegen mikrobielle Zersetzung (vgl. Wiedner/Glaser 2013: 70). Pflanzenkohle besitzt möglicherweise auch ein großes Potential zur Verringerung von Methangasemissionen, die durch die Nutztierhaltung entstehen. Dies sollte laut Eric Toensmeier, einem Carbon Farming Experten, noch intensiver untersucht werden. (Vgl. Toensmeier/Herren 2016: 324)

Es wird oft angegeben, dass Pflanzenkohle eine Verweildauer im Boden von tausend bis zehntausend Jahren hat. Zimmermann und Gao sprechen sich jedoch gegen solche allgemeinen Angaben aus, da Pflanzenkohle ein sehr heterogenes Material ist und ein Teil davon Kohlenstoff-Halbwertszeiten von einigen Jahren bis Jahrzehnten besitzt. Der verbleibende, widerstandsfähigere Anteil kann dagegen eine Verweildauer von mehreren Tausend bis Millionen Jahren haben. Daher sollten laut Zimmermann und Gao Techniken entwickelt werden, anhand derer diese Anteile vorhergesagt werden können. Vor allem aber sollten die Auswirkungen von Umweltfaktoren, wie beispielsweise der Durchlässigkeit des Bodens, der Sauerstoffzufuhr, Feuchtigkeit, pH-Wert und Klimaparametern auf den Abbau von Pflanzenkohle weiter erforscht werden. (Vgl. Zimmermann/Gao 2013: 32) Obwohl Pflanzenkohle nach einer Zeit also auch Abbauprozessen unterlegen ist, sollte nach Meinung von Zimmermann und Gao das Potential der CO<sub>2</sub>-Sequestrierung nicht unterschätzt, sondern eher noch höhergeschätzt werden. Dadurch, dass Pflanzenkohle das Pflanzenwachstum und die mikrobielle Aktivität fördert, führt es indirekt auch zu einer kontinuierlichen Vermehrung von nicht-pyrogenem Kohlenstoff im Boden, noch lange nach der Einbringung in den Boden. (Vgl. ebd.: 33)

Auch der Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) sieht ein hohes Potential zur Bekämpfung des Klimawandels in der Verwendung von Pflanzenkohle, zum einen durch den direkten Nährstoffwert (und der daraus resultierenden verminderten Düngemittelmenge), zum anderen aufgrund der Fähigkeit von Pflanzenkohle, Kohlenstoff aus der Atmosphäre aufzunehmen und zu binden. Der IPCC erkennt jedoch an, dass die Einfachheit der Umsetzung für Landwirte noch nicht so hoch und die Methode noch in der Entwicklung ist. (Vgl. Smith/Bustamante 2014: 830)

Die in diesem Kapitel dargestellten Eigenschaften verschaffen einen groben Überblick über die Mechanismen, die Pflanzenkohle im Boden und in den Pflanzen auslöst und unterstützt. Viele Effekte

sind jedoch noch unbekannt oder wenig erforscht. Hierzu gehört beispielsweise, wie Pflanzenkohle auf den Pflanzenmetabolismus, auf Pflanzenhormone und auf die Aussonderung von Wurzelexudaten wirkt, sowie welche synergetischen Effekte zwischen den verschiedenen Faktoren bestehen. (Vgl. Graber/Elad 2013: 61)

#### 4.4 Herstellung

Im Folgenden werden einige wichtige Aspekte des Pyrolyseprozesses dargestellt, ohne zu sehr auf technische Details der Funktionsweise des Prozesses einzugehen, da diese hier nur eine untergeordnete Rolle spielen. Wie bereits erwähnt wird in dieser Arbeit nur Pflanzenkohle berücksichtigt, die mittels Pyrolyse hergestellt wurde. Aus diesem Grund werden, neben allgemeinen Hinweisen zur Herstellung und zum Biomassepotenzial, in diesem Kapitel auch nur Pyrolysetechnologien an einigen verschiedenen Anlagen beispielhaft vorgestellt. Es handelt sich dabei um Anlagen, die derzeit in Deutschland erhältlich sind. Anschließend wird kurz auf die Kosten der Herstellung eingegangen.

##### 4.4.1 Der Pyrolyseprozess und das Biomassepotenzial

Als Produkte der Pyrolyse entstehen Gase ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}$ ), kondensierbare Dämpfe ( $\text{H}_2\text{O}$  und organische Verbindungen) und Kohle als fester Stoff. Im Sinne der Wirtschaftlichkeit und Umweltverträglichkeit sollten alle Produkte des Pyrolyseprozesses verwendet werden. (Vgl. Haubold-Rosar et al. 2016: 10f.) In den meisten Anlagen geschieht dies durch Nutzung der Wärmeenergie und/oder die Verbrennung der entstehenden Gase zum Zweck der Energieerzeugung (s. Abb. 16).

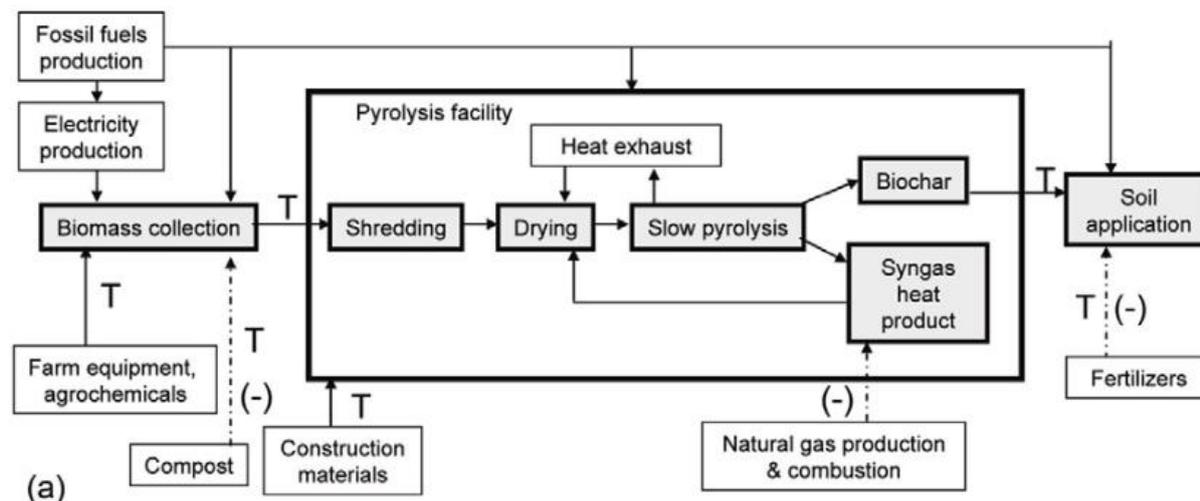


Abbildung 16: Prozesskette eines Pyrolyse-Verfahrens (Haubold-Rosar et al. 2016: 15)

Bei jedem Herstellungsprozess stellt sich die Frage, ob das Ziel die maximale Kohlenstoffausbeute in Form von Pflanzenkohle, eine maximale Energieausbeute, eine möglichst hohe Reinheit, oder eine spezielle Porenstruktur der Kohle sein soll (vgl. Haubold-Rosar et al. 2016: 10f.). Denn wie bereits in Kapitel 4.3 erwähnt, hängen die Eigenschaften der Kohle stark von den Ausgangsstoffen und den Prozessparametern ab. Die Partikelgröße der Ausgangs-Biomasse ist beispielsweise größer als die der Pflanzenkohle und nimmt mit höherer Pyrolysetemperatur noch weiter ab. Wenn eine schnelle Pyrolyse durchgeführt werden soll, benötigt man also eine kleinere Ausgangspartikelgröße, daher muss die Biomasse zunächst zu Pulver zermahlen werden. Bei einer langsamen Pyrolyse können demnach größere Ausgangspartikel verwendet werden, z.B. ganze Äste. Der Ertrag ist am höchsten bei kleiner Partikelgröße der Ausgangsbiomasse und niedriger Pyrolysetemperatur. (Vgl. Downie et al. 2010: 26f.) Auch der Nährstoffgehalt und die Nährstoffverfügbarkeit können beeinflusst werden. Hohe Temperaturen (500°C-700°C) erzeugen Kohle mit einem hohen Kohlenstoffgehalt und einer großen Oberfläche und niedrige Temperaturen (300°C-400°C) erzeugen Kohle mit einem niedrigeren Kohlenstoffgehalt (s. Abb. 17). Letztere verfügt über eine geringere Nährstoffspeicherkapazität und Nährstoffverfügbarkeit. (Vgl. Chan/Xu 2010: 74f.)

	Prozess- temperatur [°C]	Verweil-dauer	C-Gehalt [M.-%]	C-Ausbeute <sup>1)</sup> [%]	Feststoff- ausbeute <sup>1)</sup> [%]
Torrefizierung	~290	10-60 min	51-55	67-85	61-84
Langsame Pyrolyse	~400	Minuten - Tage	95	~58	~30
Schnelle Pyrolyse	~500	~1 s	75	20-60	12-26
Vergasung	~800	10-20 s	-	-	~10

**Abbildung 17: Kohlenstoffgehalte und -ausbeuten und Feststoffausbeuten von aus Holz thermochemisch produzierten Pflanzenkohlen in Abhängigkeit typischer Prozessbedingungen (Haubold-Rosar et al. 2016: 14)**

Als Grundlage für die Berechnung des Biomassepotentials für die Pflanzenkohleherstellung dient bislang nur das berechnete Biomassepotential für die Bioenergieerzeugung in Biogasanlagen (vgl. Haubold-Rosar et al. 2016: 22). „Die Berechnung des Biomassepotenzials für die Biokohleherstellung erfolgt dabei auf der Grundlage pauschaler substratabhängiger Abschläge auf das Biomassepotenzial zur Bioenergieherstellung, die auf Expertenannahmen beruhen.“ (Ebd.) In der Landwirtschaft fallen in Deutschland vor Allem Reststoffe wie Getreide- und Rapsstroh, Rüben- und Kartoffelkraut, Gülle, Festmist und Gärreste an (vgl. ebd.: 31).

Eine weitere, bislang wenig erforschte und praktizierte Möglichkeit der Reststoffverwertung ist die Herstellung von Kohle aus tierischen Knochen. Diese kann natürlich nicht als Pflanzenkohle bezeichnet werden, bietet aber auch ein großes Potential für die Landwirtschaft. Knochenkohle besitzt nur etwa 5 bis 10% Kohlenstoff, hat jedoch sehr hohe Phosphat- und Kalziumwerte (etwa 60-80% Trikalziumphosphat). Der Herstellungsprozess ist derselbe wie für Pflanzenkohle, daher ist es möglich, Knochen zusammen mit anderer Biomasse in einem Pyrolyseofen zu verkohlen, um den Phosphatgehalt des so entstehenden Düngers zu erhöhen<sup>19</sup>. Mit stickstoffreichem Urin vermischt ergibt eine solche Kohle ein ausgewogenes Düngemittel (s. Kapitel 4.5). (Vgl. Korcak 2015) Tierische Abfälle wie Fell, Federn und Knochen sind bereits auf der Positivliste zulässiger Biomassen zur Herstellung von Pflanzenkohlen des European Biochar Certificate (EBC) gelistet (vgl. European Biochar Certificate 2012). Dies widerspricht eigentlich der Definition von Pflanzenkohle, eröffnet aber Möglichkeiten der mineralischen Nährstoffrückgewinnung in einem lokalen Kreislauf.

#### 4.4.2 Beispiele für Produktionsanlagen

Zusätzlich zu den im Folgenden vorgestellten industriell hergestellten Anlagen gibt es verschieden Modelle, die mit etwas handwerklichem Geschick im Selbstbau hergestellt werden können. Viele davon sind unter der Creative Commons Lizenz bereits weltweit im Einsatz und finden auch vermehrt in der Wissenschaft Beachtung (vgl. International Biochar Initiative 2017). Sie eignen sich allerdings eher für kleine Flächen, wie Gärten etc.

##### **Der PYREG-Reaktor:**

Zu den größeren Produktionsanlagen gehört der PYREG-Reaktor. Im PYREG-Verfahren wird Biomasse genutzt, die nicht in Konkurrenz zur Lebensmittelproduktion steht, also beispielsweise Grüngut, der Inhalt der Biotonne, oder landwirtschaftliche Produktionsabfälle, die derzeit sonst meist kostenintensiv entsorgt werden. Die Leistung der Anlage ist angepasst an eine dezentrale Nutzung, damit die Brennstoffe nicht weit transportiert werden müssen. Neben der Pflanzenkohle wird noch Energie in Form von Wärmeenergie hergestellt, die meist zum Vortrocknen der Biomasse verwendet wird. (Vgl. Gerber 2010) Schadstoffe werden laut Hersteller vollständig ausgeleitet (vgl. Pyreg 2017a) durch ein Verfahren, bei dem die Synthesegase oxidiert werden (vgl. Bühler 2010). Mit der Anlage können täglich bis zu 1.5 Tonnen (vgl. Dunst 2017) und jährlich bis zu 300 Tonnen Pflanzenkohle (vgl.

---

<sup>19</sup> Auf einer Ranch in den USA wird Knochenkohle hergestellt und vertrieben:  
<http://www.callicratecattleco.com/bonechar.htm>

Pyreg 2017a) hergestellt werden. Eine Tonne der Qualitätsstufe EBC-Basic kostet derzeit über 600€ (vgl. Pyreg 2017b). Die Anlage wird seit 2011 in Dörth in Rheinland-Pfalz in Serie gebaut (vgl. Pyreg 2017a).

### **Der Kon-Tiki-Ofen:**

Kon-Tikis sind Kessel aus Stahlblech, in denen die Biomasse pyrolysiert und zum richtigen Zeitpunkt abgelöscht werden. Gleichzeitig kann die dabei entstehende Wärme zum Kochen verwendet werden. (Vgl. Terra Magica 2017) Mit dem Kon-Tiki wurde die Pflanzenkohleproduktion demokratisiert, da er schon in kleinen Größen erhältlich ist und es so jedem Gärtner und jeder Gärtnerin möglich macht, Pflanzenkohle selbst herzustellen (vgl. Ithaka-Institut 2017). Er wurde 2014 vom Ithaka Institut zur kostengünstigen Produktion von Pflanzenkohle entwickelt (vgl. Ithaka-Institut o.J.) und wird bisher in mindestens 67 Ländern weltweit von LandwirtInnen und GärtnerInnen verwendet (vgl. (Pieplow/Schmidt 2017). *„Die neuen Kon-Tiki Meiler sind dem alten Handwerk des Feuermachens nacherfunden und kombinieren dies mit den modernen Erkenntnissen der Thermodynamik.“* (Ithaka-Institut 2017) Dabei ist der Kon-Tiki angeblich rauchfrei und emissionsarm und die Qualität der Pflanzenkohle erfüllt die Anforderungen an das Europäische Pflanzenkohle-Zertifikat (EBC-Zertifikat). Die Herstellungskosten sind im Vergleich zu den großen industriellen Verfahren um einiges niedriger. (Vgl. ebd.) Es können je nach Größe des Kon-Tikis pro Herstellungsvorgang zwischen 70 und 1400 Litern Pflanzenkohle hergestellt werden (vgl. Terra Magica 2017). Die Pyrolysetemperatur kann im Kon-Tiki nicht reguliert werden. Sie schwankt leicht, je nach Feuchtigkeit und Energiegehalt der Biomasse zwischen 650°C und 720°C. Das Wasser, das zum Ablöschen der Kohle nach der Pyrolyse verwendet wird, hat einen pH-Wert von über 11 und enthält Nährstoffe, weshalb es als Blattdünger und organisches Pflanzenschutzmittel weiterverwendet werden kann. Der Vorgang erfordert von den einzelnen AnwenderInnen etwas mehr zeitliche Ressourcen, Können und Erfahrung als automatisierte großtechnische Anlagen, da alle Arbeitsschritte per Hand durchgeführt werden müssen. (Vgl. Ithaka-Institut 2015) Ein Kon-Tiki Farm, der von der Größe her für die Pflanzenkohleproduktion eines landwirtschaftlichen Betriebs ausreichend ist (2500mm Durchmesser) kostet ca. 3880€, bzw. 86€ pro Woche zur Miete (vgl. Dolder 2017).

### **Der Schottdorf-Meiler:**

Der Schottdorf-Meiler wurde vor ca. 10 Jahren entwickelt, um Pflanzenkohle in industriellen Mengen herstellen zu können. Er ist ein Reaktor mit einer Grundfläche von 3 x 3 m und liefert pro Tag bis zu 3 Tonnen EBC-zertifizierte Pflanzenkohle (vgl. Schottdorf 2010). Er ist also noch etwas Größer als die PYREG-Anlage. Es können alle Arten von Biomasse pyrolysiert werden, wie beispielsweise Holz,

Holzabfälle, Stroh, Tomatenpflanzen, Nussschalen etc. Alle Materialien liefern laut Hersteller ein einheitliches Produkt, welches in Form von Pellets, Pulver oder Briketts erhältlich ist. Neben der Pflanzenkohle entsteht noch brennbares Gas, das zur Energiegewinnung verwendet werden kann. (Vgl. ebd.) „Das freiwerdende Pyrolysegas kann vollständig und staubfrei verbrannt werden“. (Ebd.)

#### **Die BIOMACON-Anlage:**

Der BIOMACON- Kompaktconverter ist eine eher kleine Anlage, konzipiert für ligninhaltige Rohstoffe (verholzte Pflanzen) mit einem Wassergehalt von maximal 50%. Laut Hersteller kann damit schadstoffarme, hochwertige Pflanzenkohle hergestellt werden. Bei der Pyrolyse entsteht Abwärme, die direkt abgeführt und genutzt werden kann. Daher ist die Anlage entsprechend dem erforderlichen Wärmebedarf in verschiedenen Größen erhältlich. In einer BIOMACON-Anlage können zwischen 6,2kg und 34,2kg Pflanzenkohle pro Stunde hergestellt werden, je nach Größe der Anlage. Die Pflanzenkohle ist ebenfalls EBC-zertifiziert. (Vgl. BIOMACON GmbH 2015)

#### **4.4.3 Herstellungskosten**

Pflanzenkohle wird bisher vor allem in der Industrie verwendet (Elektronik, Bau- und Papierindustrie, Abwasserreinigung, 3D-Druck etc.), daher ist laut dem Ithaka-Institut bereits absehbar, dass industriell produzierte Pflanzenkohle zu teuer für LandwirtInnen bleiben wird (vgl. Ithaka-Institut 2017). In Kapitel 4.7.2 sind die aktuellen Preise aufgeführt. Das Institut sieht die einzige Chance in der dezentralen Produktion der Pflanzenkohle; LandwirtInnen müssten demnach direkt vor Ort mit ihren eigenen Reststoffen ihre Pflanzenkohle in kleinen Anlagen herstellen und die dabei produzierte Energie selbst nutzen (vgl. ebd.).

Auch der Entwickler des Schottdorf-Meilers meint, dass bislang eine kostengünstige Methode für die Pflanzenkohleerzeugung in industriellen Mengen fehlt. Er sieht die Probleme nicht nur in den geringen Produktionsmengen und vergleichsweise hohen Kosten, sondern auch in der Kompliziertheit der Anlagen und der Abhängigkeit von standardisierten Ausgangsmaterialien. (Vgl. Schottdorf 2010)

#### **4.5 Vorbereitung auf die Ausbringung**

Wie bereits erwähnt beinhaltet reine Pflanzenkohle meist wenig Nährstoffe (abhängig vom Ausgangsmaterial und den Pyrolysebedingungen), sondern ist vor allem ein guter Nährstoffträger und Lebensraum für nützliche Mikroorganismen. Daher sollte sie vor der Ausbringung zusätzlich mit Nährstoffen und Mikrobiologie aktiviert werden (vgl. Fachverband Pflanzenkohle e.V. 2017a).

Auch laut der FiBL-Betriebsmittelliste für den ökologischen Landbau ist Pflanzkohle lediglich „[...] *Trägersubstanz in Verbindung mit Zugabe von Nährstoffen über die Zugabe zugelassener Düngemittel oder/und [...] Ausgangsstoff für Kultursubstrate gemäß DüMV Anl. 2 Tab. 7.1.10*“ (Forschungsinstitut für biologischen Landbau 2017b). Laut der genannten Düngemittelverordnung ist allerdings nur Holzkohle als Kohle pflanzlichen Ursprungs zugelassen, keine sonstigen Pflanzkohlen (vgl. Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz 26.05.2017). Mehr dazu in Kapitel 4.7.

Es ist theoretisch möglich, Pflanzkohlen mit synthetischen NPK-Düngern aufzuladen (vgl. Joseph et al. 2013: 190f.). Da diese jedoch in der regenerativen Landwirtschaft so gut wie gar keine Bedeutung haben, wird hier nur auf ökologische Methoden des Aufladens mit Nährstoffen eingegangen.

Wenn Pflanzkohle pur, ohne vorherige Aktivierung in den Boden gebracht wird, werden die bereits vorhandenen Nährstoffe und das Wasser im Boden gebunden. Dies könnte zu einem verringerten Wachstum der Pflanzen in der ersten Saison führen (vgl. Perkins 2016: 292). Die gängigste Methode um dies zu verhindern (in wissenschaftlichen Versuchen und in Deutschland teilweise bereits in der Praxis erprobt) ist das Mischen von Pflanzkohle mit Kompost. Die Wissenschaftlerin Claudia Kammann fand beispielsweise heraus, dass ein Kompost stärkere positive Effekte auf das Pflanzenwachstum hat, wenn Pflanzkohle beigemischt wird (vgl. Gießener Anzeiger 07.04.2015). Auch Bruno Glaser untersucht die gemeinsame Kompostierung von organischen Abfällen und Pflanzkohle. Seine Erkenntnis ist ebenfalls, dass die Pflanzkohle nur dann optimal wirkt, „[...] *wenn sie mit Nährstoffen angereichert und mit Mikroorganismen aktiviert wurde. Die Kompostierung ist hierfür ideal.*“ (Glaser 2011, zitiert nach Dunst 2011: 176) In der ökologischen Landwirtschaft werden schon lange vorkultivierte Mikroorganismen als Impfmittel auf Trägersubstanzen zugeführt, um den Boden zu verbessern und den Ertrag zu erhöhen. In einigen Langzeit- Studien wurden Pflanzkohlen inzwischen als Trägersubstanz sehr erfolgreich getestet. (Vgl. Thies/Rillig 2010: 98) Ein Beispiel für die Herstellung von Pflanzkohlepräparaten in der regenerativen Landwirtschaft ist die Farm von Richard Perkins in Nordschweden. Dort wird die Pflanzkohle ebenfalls mit Kompost zusammen verarbeitet, um sie mit Nährstoffen und Wasser aufzuladen und um sicherzugehen, dass sie mit Mikroorganismen besiedelt ist. (Vgl. Perkins 2016: 292)

Durch Pflanzkohle können auch Nährstoffverluste, die während der Kompostierung oder auf dem Misthaufen entstehen, sowie Geruchsbelastungen deutlich reduziert werden (Fachverband Pflanzkohle e.V. 2017a). Daher ist auch in bestimmten Fällen die Nutzung des sogenannten ‚Kaskadeneffekts‘ sinnvoll, der im folgenden Kapitel erläutert wird.

## 4.6 Anwendung im Ackerbau

Bei der Anwendung von Pflanzenkohlesubstraten im Ackerbau sind die wichtigsten Fragen laut Lehmann et al. folgende: "*What are the longterm-productivity gains of a one-time and large application of biochar compared to annual and small applications?*" Und "*Can biochar become a routine management option in agriculture?*" (Lehmann et al. 2006, zitiert nach Graves 2013: 206) Diesen Fragen wird im folgenden Kapitel nachgegangen.

### 4.6.1 Weniger ist mehr

Die Ausbringung großer Mengen Pflanzenkohle auf einmal (es werden von ExpertInnen teilweise Mengen von bis zu 50 Tonnen pro Hektar empfohlen), ist meist nicht erstrebenswert, da dies den Ertrag proportional wenig erhöht und der finanzielle Aufwand zu hoch ist (vgl. Graves 2013: 208f.). Was dies in der Praxis bedeuten würde beschreibt Schmidt wie folgt:

*„Dass ein Landwirt für 50 Tonnen Pflanzenkohle fünf Sattelschlepper bräuchte, um die Kohle an sein Feld zu bringen, hat keiner der Theoretiker als unzumutbar befunden. Ganz abgesehen davon, dass die 50.000 Euro, die die Einbringung von 50 Tonnen Pflanzenkohle pro Hektar mindestens kosten würde, lediglich einem generierbaren Einkommen von 1.200 Euro pro Hektar Mais gegenüberstehen. Selbst bei einer allerdings nie erreichten Verdopplung der Ernte würde sich die Investition selbst bis zur Rente nicht amortisiert haben.“* (Schmidt 2016)

In der Terra Preta des Amazonasgebietes wurden bis zu 50% Pflanzenkohle festgestellt. Diese Menge wurde jedoch vermutlich nicht auf einmal in den Boden eingebracht.

*„Um 50 Tonnen Pflanzenkohle herzustellen, braucht es etwa 250 Tonnen Biomasse (TM), wofür 180 einhundertjährige Fichten benötigt würden. Niemand wird vor 500 – 2000 Jahren am Amazonas, an der Elbe oder am Fuße des Fujiyama mit bloßen Äxten 180 Bäume gefällt haben, um das Holz zu verkohlen und damit sein Feld fruchtbarer zu machen. Hingegen würden zwei bis drei Fichten pro Jahr durchaus denkbar sein. In diesem Fall würde es 60 bis 100 Jahre dauern, bis ein Feld mit der beobachteten Menge von 50 Tonnen Pflanzenkohle pro Hektar angereichert wäre.“* (Schmidt 2016)

Laut Berechnungen des Biomassepotenzials (s. Kapitel 4.4.1) könnten zwischen 5 und 15 Tonnen Biomasse pro Hektar nach der Ernte übrigbleiben, was etwa ein bis drei Tonnen Pflanzenkohle entspricht, die auf der eigenen Fläche produziert werden könnten. Nach einigen Generationen können so auch Konzentrationen wie bei der Terra Preta entstehen. (Vgl. ebd.)

Laut Graves ist die Ausbringung von ein bis zwei Tonnen Pflanzenkohle pro Jahr und Hektar relativ einfach machbar und sehr viel weniger energieintensiv, wenn es mit anderen Arbeitsgängen

kombiniert wird (vgl. Graves 2013: 207). Auf die konkreten praktischen Möglichkeiten wird im Folgenden noch weiter eingegangen. Laut Graves sind große Mengen Pflanzenkohle möglicherweise geeignet, um schwer degradierte Böden wiederherzustellen, wie beispielsweise beim stillgelegten Bergbau. Pflanzenkohle kombiniert mit intensivem konventionellem Pflügen könnte auch verwendet werden, um die Effektivität von Methoden zur Behandlung von mit Schwermetallen oder organischen Schadstoffen belasteten Böden zu erhöhen. (Vgl. ebd.: 206) Um die Eutrophierung von Gewässern durch Nährstoffauswaschungen zu vermeiden, könnten große Mengen Pflanzenkohle auch in tiefe Gräben parallel zu Wasserläufen oder in Uferzonen eingebracht werden, um Sickerwasser zu filtern, das beispielsweise mit Tier-Urin vermischt ist. Anschließend könnte die Pflanzenkohle aus solchen Gräben wieder herausgeholt werden, um sie, nun mit Nährstoffen angereichert, im Ackerbau zu verwenden. (Vgl. ebd.: 242f.)

#### **4.6.2 Wurzelapplikation**

Eine Möglichkeit des effizienten Einsatzes von Pflanzenkohle ist die Applikation im Wurzelbereich, die vor allem von Hans-Peter Schmidt erforscht und erprobt wurde (vgl. Schmidt 2016). Wenn die Kohle homogen verteilt und eingearbeitet wird, werden selbst große Mengen im Boden stark verdünnt. Gibt man jedoch eine kleine Menge in den Wurzelraum der einzelnen Pflanze *„[...] profitieren nur die jeweiligen Pflanzen und ihre Wurzelsymbionten, nicht aber die unerwünschten Beikräuter dazwischen.“* (Schmidt 2016) (S. Abb. 18) Dies kann in größerem Maßstab technisch bereits durch die Verwendung marktüblicher Druckklanzen oder durch das Einschlitzen mithilfe spezieller Pflüge bewerkstelligt werden. Bei Dauerkulturen (beispielsweise Himbeeren oder Wein) wird auf einer Seite der Reihe eine 30 bis 40cm tiefe Furche gezogen, in welche die angereicherte Pflanzenkohle gegeben wird. Anschließend wird die Furche wieder mit Erde geschlossen. Bei Bäumen gräbt man eine Furche im Umkreis der Baumkrone. (Vgl. ebd.; Bates 2010: 3)



**Abbildung 18: Wurzelapplikation von Pflanzenkohle beim Zwiebelanbau (Schmidt 2016)**

Die Wurzelapplikation bietet den zusätzlichen Vorteil, dass die Pflanzen sich nicht auf das kleine Pflanzenkohle-Nährstoff-Depot im oberen Wurzelbereich beschränken, sondern kräftig in den Unterboden hineinwachsen, da das Wurzelwachstum stark angeregt wurde (vgl. Abiven et al. 2015, zitiert nach Schmidt 2016), die Pflanze aber nicht vom Kohlesubstrat allein lebt (vgl. Schmidt 2016). Von 2014 bis 2016 hat das Ithaka Institut gemeinsam mit verschiedenen Partnern diverse Feldversuche in Indien, Nepal, Bangladesch, Australien und der Schweiz angelegt, in denen die Effektivität der Wurzelapplikation, insbesondere in Kombination mit einer organischen Nährstoffaufladung, nachgewiesen wurde (vgl. ebd.).

#### **4.6.3 Verschiedene Methoden ohne intensive Bodenbearbeitung**

Die Ausbringung von Pflanzenkohle mithilfe der herkömmlichen Pflugbearbeitung ist derzeit die meistverbreitete Methode in Fallstudien. Es hat Versuche mit Kalk-, Dünger-, und Miststreumaschinen gegeben (s. Abb. 19). Meist wurde anschließend der Boden mit der Scheibenegge oder der Bodenfräse mechanisch vermischt. Die oberflächliche Ausbringung von Pflanzenkohle birgt viele potentielle Risiken, z.B. Verluste durch Winderosion oder gesundheitliche Schäden. Diese Dinge können durch eine Befeuchtung der Pflanzenkohle vermieden werden (was idealerweise beim Prozess des Aufladens mit Nährstoffen und Mikroorganismen sowieso geschieht, Anm. d. Autorin), jedoch stellt dies ein Problem dar, wenn Ausbringungsmethoden angewendet werden, die auf einer gewichtsbasierten Quantifizierung des auszubringenden Produktes beruhen. (Vgl. Graves 2013: 241)



**Abbildung 19: Ausbringung von mit Pflanzenkohle versetztem Kompost mit dem Miststreuer (CarboCert 2017)**

Bei der konventionellen Pflugbearbeitung werden Geräte verwendet um den Boden umzudrehen, aufzubrechen, zu pulverisieren zu modifizieren und den Bewuchs zu entfernen, bis die Bodenbedingungen für das jeweilige Saatgut adäquat erscheinen. Kartoffeln beispielsweise benötigen normalerweise lockeren Boden und werden während der Wachstumsphase gehäufelt, weshalb sie intensive Bodenbearbeitung benötigen. Anwender der konservierenden Bodenbearbeitung, bzw. der Direktsaat hingegen haben es mit Böden zu tun, die sie als Saatbett ohne vorherige Bearbeitung für geeignet halten. Alle Methoden, die mindestens 30% der vorherigen pflanzlichen Bodenbedeckung erhalten können als konservierende Bodenbearbeitung bezeichnet werden. Methoden bei denen gar nicht gepflügt wird, werden auch pfluglose Bodenbearbeitung (no-till) genannt. Hierbei soll der Boden möglichst wenig gestört werden und die Erntereste werden als Mulch auf dem Feld belassen. Bei der Direktsaat können gleichzeitig das Saatgut und der Dünger und/oder die Pflanzenkohle ausgebracht werden. (Vgl. Graves 2013: 212) In der regenerativen Landwirtschaft wird, wie bereits in Kapitel 2.4 erläutert, der Boden meist nicht intensiv bearbeitet. Argumente gegen das konventionelle Pflügen sind laut Brady und Well, dass organischer Kohlenstoff zu  $\text{CO}_2$  oxidiert und in die Atmosphäre entlassen wird, den Bodenmikroorganismen ein Großteil ihrer Nahrung genommen wird (diese halten die Bodenpartikel zusammen und erhalten so die Bodenstruktur) und die Gefahr für Bodenerosionen über einen längeren Zeitraum kontinuierlich ansteigt, da der Mutterboden nach und nach zerstört wird (vgl. Brady/Well 2002, zitiert nach Graves 2013: 226). Vom Biochar Science Network (2010) wird ebenfalls eine minimale Bodenbearbeitung bei der Pflanzenkohleausbringung empfohlen, sowie Böden, die mit Pflanzenkohle versetzt wurden, dauerbewachsen zu halten oder sie zumindest zu mulchen, um eine Erosion der Pflanzenkohle zu verhindern (vgl. Biochar Science Network 2010: 358).

Die Terra Preta des Amazonasgebiets könnte laut Graves moderne PflanzenkohleforscherInnen und konventionelle PflugbearbeitungspraktikerInnen dazu verleiten, Maschinen für das intensive Bodenmischen zu verwenden, um der Terra Preta ähnliche, einheitliche, dunkle Erde so schnell wie möglich zu produzieren: "*The unintended harmful consequences of intensive tillage on soil biota and soil structure are likely to be repeated if we choose to use intensive mechanical methods to instantly achieve a purpose of creating a visible appearance of uniformly dark 'Terra Preta Nova.'*" (Graves 2013: 239) Ob eine Pflanzenkohleausbringung mit oder ohne Pflug unter welchen Umständen sinnvoll ist, soll mit den ExpertInnen der drei in der vorliegenden Arbeit untersuchten Anbauweisen erörtert werden, um diesbezüglich Handlungsempfehlungen geben zu können.

Graves stellt einige erprobte pfluglose Methoden vor, um Pflanzenkohle in den Wurzelbereich des Bodens einzubringen. Sie sind im Grunde die gleichen wie diejenigen, anhand derer Mykorrhiza-Impfmittel an die Pflanzenwurzeln gebracht werden. Wenn das Ziel der Pflanzenkohleanwendung die Erhaltung oder Verbesserung der Bodenqualität ist, wie dies bei regenerativer Landwirtschaft der Fall ist, liegt es nahe, die Pflanzenkohle im Wurzelbereich zu platzieren, dort wo sich der Großteil der organischen Bodensubstanz befindet. Die Wirkung der Pflanzenkohle in diesem Bereich wurde bereits ausführlich beschrieben. (Vgl. Graves 2013: 227) Bodenkohlenstoffsequestrierungsraten werden teilweise durch die Vegetationsgeschichte und die Form der Vegetationshabitate der Fläche beeinflusst. Zudem macht es einen Unterschied, ob die kultivierten Pflanzen Wirt für Mykorrhizapilze sind oder nicht, ob es sich um ein- oder mehrjährige Pflanzen handelt und wie die Pflanzenwurzeln beschaffen sind (z.B. Pfahlwurzeln oder Horizontalwurzeln). Aus diesem Grund wird angenommen, dass die ökologische Effektivität der Anwendung von Pflanzenkohle in offenen, unbedeckten oder biologisch degradierten Böden durch Wiederbegrünung und Pflugmethoden, welche die Nährstoffverfügbarkeit in der Wurzelzone verbessern, gesteigert werden kann. (Vgl. ebd.: 231)

Graves hat verschiedene Methoden zur Ausbringung von Pflanzenkohle in verschiedenen Formen untersucht. Beispielsweise kann feingemahlene Pflanzenkohle mithilfe einer Drillmaschine direkt mit dem Saatgut ausgebracht werden. Drillmaschinen können bei der Direktsaat (also bei der pfluglosen Bodenbearbeitung) eingesetzt werden. Ebenfalls möglich ist die Einbringung von Pflanzenkohle bei der sogenannten 'Streifenbearbeitung', wo schmale Streifen des Bodens gepflügt werden, der Boden zwischen den Streifen aber nicht bearbeitet wird. Für großflächig angebaute Kulturpflanzen bedeutet dies, dass der Prozess der Direktsaat zusammen mit Bodenhilfsstoffen wie der Pflanzenkohle gut geplant werden und die entsprechende Technologie vorhanden sein muss. Die Größe und Form des Saatguts und der (aktivierten) Pflanzenkohlepartikel, sowie der Bodentyp, die Feuchtigkeit etc. müssen

in Betracht gezogen werden, um eine mindestens ebenso effektive Aussaat wie bei der konventionellen Pflugbewirtschaftung zu gewährleisten. (Vgl. Graves 2013: 238f.)

Maschinen zur Direktsaat können auch verwendet werden, um lehmummantelte Pflanzenkohlepellets auszubringen. In einem eigenen Versuch hat Graves Pflanzenkohlepellets in einer Tiefe von 4 cm in Weideboden eingebracht (s. Abb. 20). Auf diese Weise können Drillmaschinen verwendet werden, um trockene Pflanzenkohleprodukte auszubringen, ohne die Gefahren des Kohlestaubes fürchten zu müssen. In die Pellets können beispielsweise zusätzlich Mykorrhiza-Impfmittel eingearbeitet werden und so in einem Arbeitsgang mit der Pflanzenkohle ausgebracht werden. (Vgl. ebd.: 247f.)



**Abbildung 20: Versuch zur Einbringung von Pflanzenkohlepellets mittels Direktsaattechnologie (Graves et al. 2013)**

Mit dem sogenannten Maulwurfspflug, der die Erde spiralförmig dreht und dabei vergleichsweise wenig Druck auf sie ausübt und dem Tieflockerer (subsoiler) kann auch bodenschonend gepflügt werden, ohne dabei den Boden zu wenden. Diese Geräte werden nicht zur Aussaat verwendet, sondern um die Folgen von Bodenverdichtung abzumildern, indem die Bodenentwässerung und Entlüftung bis in tiefere Bodenschichten gefördert wird. Die Ausbringung von Pflanzenkohle mithilfe von Tieflockerern ist bislang wenig erprobt, ist aber laut Graves generell möglich. (Vgl. Graves 2013: 243) Forschung zur Verwendung von Maulwurfspflügen zum Einbringen von Pflanzenkohlegranulat in Neuseeland hat ergeben, dass diese Methode unter anderem zur Anwendung in der Wurzelzone von tiefwurzelnden mehrjährigen Pflanzen geeignet ist, zum Beispiel in Obstplantagen, auf Weinbergen, oder in Agroforstsystemen. Die ForscherInnen gehen davon aus, dass das tiefe Einbringen von Pflanzenkohle die Pflanzen dazu bringt tiefer zu wurzeln, um an das in der Pflanzenkohle gespeicherte Wasser zu gelangen. (Vgl. Bishop et al. 2012, zitiert nach Graves 2013: 243) Mithilfe des Tiefgrubbers oder des

von P.A. Yeomans entwickelten Keyline- Pflugs kann ebenfalls Pflanzenkohle in den Boden eingebracht werden. Der Tiefgrubber reicht bis zu 50 cm tief, wendet aber den Boden nicht, sondern ‚explodiert‘ und belüftet gewissermaßen den Unterboden und zieht schmale Schlitze in den Oberboden. Dies soll das Wurzelwachstum in tieferen Bodenschichten (im Gegensatz zum Standard-Pflug) fördern. Die Keyline-Methode wurde bereits in Kapitel 2.4.6 beschrieben. Diese Methode ermöglicht das Speichern von abfließendem Oberflächenwasser und von organischer Bodensubstanz auf dem jeweiligen Grundstück und vermindert damit das Dürrerisiko besonders in trockenen Gegenden. (Vgl. Graves 2013: 243f.)

Laut Graves gibt es einige Anwendungsbereiche, wo das intensive Mischen von Böden und Pflanzenkohle durch die konventionelle Pflugbearbeitung sinnvoll sein kann. Dies ist beispielsweise bei der Bioremediation kontaminierter Böden der Fall, da so ein intensiver Kontakt zwischen der Pflanzenkohle und den Schadstoffen sichergestellt werden kann. Es kann ebenfalls dort sinnvoll sein, wo die Wasserhaltekapazität oder die Bodenbelüftung degradierter Böden erhöht werden soll. (Vgl. ebd.: 241)

Eine andere Möglichkeit ist die Ausbringung von Pflanzenkohle gemeinsam mit Gülle mithilfe von Gülle-Injektoren. Die Pflanzenkohle würde als positiven Nebeneffekt die überschüssigen Nährstoffe in der Gülle binden und Geruchsbelastungen minimieren. Bei dieser Methode besteht jedoch eine höhere Gefahr der Bodenverdichtung durch den Einsatz von sehr schweren Maschinen, die für den Transport von flüssigen Stoffen nötig sind. (Vgl. ebd.: 244f.)

#### **4.6.4 Der Kaskadeneffekt**

Der Einsatz von Pflanzenkohle in Deutschland ist als Futtermittel erlaubt und darf daher mit dem Mist kompostiert und ausgebracht werden (Schmidt 2013). Dadurch entsteht der sogenannte ‚Kaskadeneffekt‘: Die Pflanzenkohle wird dem Futter beigemischt und soll dabei die Tiergesundheit fördern. Durchfallerkrankungen und Allergien sollen abnehmen, die Tiere ausgeglichener werden. In einem nächsten Schritt hilft die Pflanzenkohle dabei, die Geruchsbelastung und Nährstoffverluste der entstehenden Gülle oder dem Mist zu reduzieren. Anschließend wirkt die Pflanzenkohle in der auf das Feld ausgebrachten Gülle oder dem Mist als Bodenhilfsstoff. Doch auch hier darf als Ausgangsmaterial für die Kohle bislang nur unbehandeltes Holz verwendet werden (s. Kapitel 4.7). (Vgl. Schmidt 2012)

Richard Perkins, der regenerative Landwirtschaft in Nordschweden betreibt (s. Kapitel 2.5), sieht weitere Verwendungsmöglichkeiten, die in Deutschland noch nicht klar geregelt sind. Beispielsweise kann Pflanzenkohle in einer Konzentration von 10 bis 20% in der Einstreu im Stall verwendet werden.

Dort verhindert sie Nährstoffaustritt und verringert Ammoniakemissionen. Auch in Gülle kann Pflanzkohle nachträglich mit 1-5 Volumenprozent gemischt werden, wo sie ebenfalls flüchtige Nährstoffe bindet und die mikrobielle Aktivität verbessert. Zudem kann sie Silage beigemischt werden, wo sie hilft, die Entstehung krankheitserregender Pilze zu verhindern und eventuelle Pestizide zu binden. (Vgl. Perkins 2016: 293)

## 4.7 Hürden bei der Produktion und Verwendung

Wie bereits erwähnt, bestehen in Deutschland noch große Hürden bei der Verwendung von Pflanzkohle, insbesondere von Pflanzkohle, die aus anderen Ausgangsmaterialien als reinem Holz hergestellt wurde. Diese lassen sich grob in rechtliche, technische und wirtschaftliche Hürden gliedern und werden im Folgenden näher betrachtet.

### 4.7.1 Rechtliche und politische Hürden

Keine EU-Regelung nennt bisher Pflanzkohle oder Biokohle explizit mit Namen, obwohl dennoch verschiedene Regulationen die Produktion und das Inverkehrbringen beeinflussen (vgl. Shackley et al. 2016). Nach deutschem Düngemittelrecht sind derzeit nur Braunkohle (nur in der konventionellen Landwirtschaft) und unbehandelte Holzkohle für Kultursubstrate zugelassen (Anlage 2 Tabelle 7.1.10 DüMV), aber genehmigungspflichtig (vgl. Möller/Höper 2014: 9). Andere Pflanzen- oder Biokohlen sind derzeit nicht zugelassen (vgl. Kehres 2011: 3):

*„Der Einsatz von Pflanzkohle als Bestandteil von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen oder Kultursubstraten ist (mit nachfolgender Ausnahme) nicht zulässig. [...] Derzeit zulässig ist lediglich der Einsatz von Pflanzkohle aus chemisch unbehandeltem Holz als Ausgangsstoff für Kultursubstrate oder zur Herstellung von Erden (z.B. Terra Preta-Substrate), die Pflanzen als Wurzelraum dienen.“* (Kehres 2011: 3)

Es ist jedoch grundsätzlich möglich, neue Hilfsstoffe aufzunehmen. Dafür muss nachgewiesen werden, dass die Anforderungen an Nützlichkeit und Unschädlichkeit nach § 3 Absatz 1 DüMV erfüllt werden. Dies beurteilt der wissenschaftliche Beirat für Düngung des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft. (Vgl. ebd.) In der Düngemittelverordnung der Europäischen Union von 2003 wird Pflanzkohle noch nicht erwähnt und es wird auch nicht auf Bodenhilfsstoffe eingegangen. Hier werden allgemeine Regeln für das Inverkehrbringen, Kennzeichnen und Verpacken von Düngemitteln für die EU-Mitgliedsstaaten festgelegt. Spezielle nationale Regelungen sind hiervon jedoch nicht

betroffen. (Vgl. REFERTIL 2014) *„The producers can chose between 'EC fertilisers' or 'National fertilisers'.*“ (Ebd.)

Im ökologischen Landbau in Deutschland sind allgemein Bodenhilfsstoffe und Düngemittel zugelassen, die in der Betriebsmittelliste des Forschungsinstituts für biologischen Landbau (FiBL) aufgeführt werden, welche auf der EG-Öko-Verordnung beruht. Laut der FiBL-Betriebsmittelliste ist Holzkohle zugelassen, weshalb Produkte wie die Palaterra® Produkte, die aus Holzkohle bestehen, für den biologischen Landbau in Deutschland zugelassen sind (vgl. Palaterra 2017). ‚Pflanzenkohle‘ in Form von Holzkohle wird jedoch nicht in jedem Bundesland als EG-Öko-konform eingestuft (vgl. Forschungsinstitut für biologischen Landbau 2017a), was die Sache verkompliziert. Die aktuellen EG-Öko-Richtlinien sind aus dem Jahr 2007 und seither nie erneuert worden. Die Verordnung knüpft an die Basisrichtlinien der Internationalen Vereinigung der ökologischen Landbaubewegungen IFOAM an, in der etwa 750 Verbände aus über 108 Nationen organisiert sind. (Vgl. Europäische Union 2007) Laut dieser Basisrichtlinien ist auch nur Kohle aus Holz in der ökologischen Landwirtschaft erlaubt: *„Wood, bark, sawdust, wood shavings, wood ash, wood charcoal: Only if not chemically treated“* (IFOAM 2014: 75).

Als erstes europäisches Land hat die Schweiz im Jahr 2013 den Einsatz von EBC- zertifizierter Pflanzenkohle in der Landwirtschaft zugelassen. Für die Produktion und Qualität der Pflanzenkohle, sowie den Anwenderschutz gelten jedoch strenge Vorgaben. Bislang ist jedoch auch in der Schweiz nur naturbelassenes Holz als Ausgangsmaterial zugelassen. (Schmidt 2013) Das Bundesamt für Landwirtschaft (BLW) plant nun für 2018 eine Aufnahme von ‚Biokohle‘ in die FiBL-Liste der Schweiz (vgl. Forschungsinstitut für biologischen Landbau 2016). In Österreich ist 2014 *„[...] ein Biokohleprodukt aus Papierfaserschlamm und Getreidespelzen als Bodenhilfsstoff gemäß österreichischem Düngemittelgesetz in Rahmen einer zeitlich befristeten Einzelgenehmigung zugelassen worden.“* (Möller/Höper 2014: 9)

Futtermittel bekommen in Deutschland das GmP+ Zertifikat. Dieses besteht aus den Teilen ‚Feed Safety Assurance‘, das sich auf die Futtermittelsicherheit konzentriert und ‚Feed Responsibility Assurance‘, welches auf die Nachhaltigkeit von Futtermitteln abzielt. Die durch Schottdorfmeiler produzierte Holzkohle ist beispielsweise GmP+ zertifiziert und darf als Einzelfuttermittel an LandwirtInnen oder Personen verkauft werden, die nicht Mitglied in einem Systemverbund, wie Demeter oder QS sind (Stand 2016), was für die Fragestellung der vorliegenden Arbeit relevant ist. In der ökologischen Landwirtschaft darf sie jedoch als Hausmittel (aber nicht als Futtermittel oder Futterkomponente) verkauft werden. Um eine Zulassung für die biologische Tierhaltung zu erlangen müssten die Pflanzenkohlehersteller beantragen, diese auf die FiBL-Betriebsmittelliste Deutschlands

zu setzen. Der Versuch Pflanzenkohle in die DLG Positivliste für Futtermittel aufzunehmen wurde bereits mehrfach abgelehnt. Dieser Schritt ist notwendig, um anschließend beispielsweise eine QS-Zertifizierung (Qualität und Sicherheit) zu bekommen. (Vgl. Janke 2016)

#### **4.7.2 Technische und wirtschaftliche Hürden**

Einige WissenschaftlerInnen haben die These aufgestellt, dass Open Source Pyrolyse-Designs, welche von verschiedenen Institutionen und PraktikerInnen getragen werden, die Hürden der Anwendung für die LandwirtInnen senken würde, Kapazitäten für die Herstellung von Pflanzenkohle für Forschungszwecke schaffen würde, von kollektivem Wissen Gebrauch machen würde, sowie ein positives Gefühl des Eigentums an diesem Design bei den Beteiligten herstellen würde. (Vgl. Joseph et al. 2012, zitiert nach Graves 2013: 225) Jedoch stellt die Open Source-Produktion von Anlagen möglicherweise ein Problem für die Zertifizierung der Pflanzenkohle dar. Es müsste daher ein schnelles, kostengünstiges Testverfahren entwickelt werden, um die Qualität der Pflanzenkohle jedes einzelnen Landwirten/jeder einzelnen Landwirtin, der/die eigene Pflanzenkohle herstellt, sicherstellen zu können. Ein europäisches Netzwerk von Laboren für die Pflanzenkohle-Analyse, in dem alle Labore nach denselben Methoden die EBC-Zertifizierung durchführen, um Vergleichbarkeit zu gewährleisten, war bereits 2013 in Planung (vgl. European Biochar Certificate 2013). In Deutschland ist jedoch nach eigenen Angaben Eurofins nach wie vor das einzige Labor, das umfassende Analytik der Pflanzenkohle nach den vom European Biochar Certificate vorgeschriebenen Methoden anbietet (vgl. Ulbricht 2017). Die Gründung eines Netzwerks von Laboren wäre daher ein wichtiger Schritt, um die Zertifizierung vieler kleiner Anlagen gewährleisten und damit die Anerkennung von Pflanzenkohle als Bodenhilfsstoff vorantreiben zu können, wenn sich dies als sinnvoll erweist.

Die Produktionskosten für Pflanzenkohle in großtechnischen Anlagen sind noch sehr hoch, was die Wirtschaftlichkeit dieser Produkte in Frage stellt (vgl. Möller/Höper 2014: 17). Verschiedene Schweizer Produzenten verkaufen reine Pflanzenkohle für 180-210€ pro Kubikmeter (vgl. Hammond/Rödger 2013; Sonnenerde Gerald Dunst Kulturerden GmbH 2017; Swiss Biochar 2014), bzw. 600€ pro Tonne (vgl. Swiss Biochar 2014; Sonnenerde Gerald Dunst Kulturerden GmbH 2017) bis über 1000€ pro Tonne (vgl. Verora GmbH o.J.).

Die Tonne NPK-Dünger kostet momentan um die 300€ pro Tonne (vgl. agrarheute 2017). Die Ausbringungsmengen variieren stark je nach Bedarf der Pflanzen und des Bodens der jeweiligen Region. Zur Veranschaulichung wird hier ein Durchschnittswert bei den meisten Kulturen (Mais, Weizen, Soja etc.) von etwa 100kg NPK-Dünger pro Hektar verwendet (vgl. Volldünger o.J.), das entspricht durchschnittlichen Kosten für die Düngung von 30€ pro Hektar. Bei einer Ausbringungsmenge von den

empfohlenen ein bis drei Tonnen Pflanzenkohle pro Hektar (vgl. Graves 2013: 207) wären das also bei einem Durchschnittspreis von 700€ pro Tonne bis zu 2100€ pro Hektar. Die ausschließliche Verarbeitung von hofeigenen Abfällen in kleinen, dezentralen Anlagen könnte hier die Lösung sein.

Ein weiteres Problem ist, dass Pflanzenkohle aufgrund der rechtlichen Hürden noch nicht auf größerer landwirtschaftlicher Ebene als Bodenhilfsstoff, bzw. Düngemittelträgerstoff angewendet wird und es daher noch keine best-practice-Lösungen gibt, an denen sich LandwirtInnen orientieren könnten.

Lehmann fasst die Potential und Hürden der Pflanzenkohleverwendung wie folgt zusammen: *„The distributed nature of biochar systems and the potential for variability between systems create significant opportunities for sustainability, but also hurdles to widespread adoption, regulation, and financial viability.“* (Lehmann 2009: 5)

## **4.8 Die Debatte um Pflanzenkohle**

Die Anwendung von Pflanzenkohle ist ein vieldiskutiertes Thema. In Bezug auf die Wirksamkeit und auch auf eventuelle Risiken der Anwendung gibt es verschiedene Ansichten, die zumeist auch wissenschaftlich belegt werden können. Aus der Kritik an der Pflanzenkohleverwendung ergeben sich auch einige der politischen, rechtlichen und gesellschaftlichen Hürden, die im vorangegangenen Kapitel bereits näher beleuchtet wurden. Im folgenden Kapitel werden die wichtigsten Argumente für und gegen den Einsatz von Pflanzenkohle in der Landwirtschaft kurz genannt. Einige wurden bereits in Bezug auf die Wirkung auf Boden und Pflanzen in Kapitel 4.3 erwähnt, daher werden hier nur einige Argumente zusammengefasst und vor allem auf Themen eingegangen, die dort nicht genannt wurden.

### **4.8.1 Argumente für den Einsatz in der Landwirtschaft**

Pflanzenkohle kann als Teil einer Abfallmanagement- Strategie eingesetzt werden, da sie aus Materialien hergestellt werden kann, die ansonsten kostenintensiv und/oder umweltgefährdend entsorgt werden müssten. Beispielsweise kann in Gegenden mit zu hohen Nährstoffwerten Mist pyrolysiert werden, um Eutrophierung zu vermeiden. So kann Kohlenstoff im Boden sequestriert werden, anstatt dass noch mehr klimaschädliche Gase wie Methan oder Lachgas emittiert werden. (Vgl. Lehmann 2009: 3; Rittl 2015: 6) Es können zumeist die Abfallsammelsysteme verwendet werden, die bereits vorhanden sind, wie die Biotonne oder der Misthaufen, was den Herstellungsprozess effizienter macht (vgl. Lehmann 2009: 4f.). Bei der Pyrolyse können zudem Energieprodukte wie Wärme oder Gas erzeugt werden. Zwischen zwei und sieben Energieeinheiten können bei der Pflanzenkohleherstellung pro investierter Energieeinheit erzeugt werden (vgl. ebd.: 3). Daher erzeugt

die Pyrolyse vielfältigere Produkte als Biokraftstoff-Technologien, welche speziell für diesen Zweck angebaute Kulturen benötigen, die mit der Lebensmittelproduktion konkurrieren (vgl. Graber/Elad 2013: 42). Zu dem Thema der Konkurrenz gibt es jedoch auch Kritik, welche im folgenden Kapitel beschrieben wird.

Im Bereich des Düngungsmanagements gibt es weitere Vorteile der Pflanzenkohleverwendung. Wie bereits genannt wurde können Nährstoffverluste reduziert werden, wodurch Düngemittel effizienter eingesetzt werden können (vgl. Möller/Höper 2014: 14). Aufgrund der Stabilität und des Nährstoffspeichervermögens von Pflanzenkohle wird diese teils als sehr viel effektiver als die ‚normale‘ organischen Bodensubstanz angesehen (vgl. Vogel et al. 2011). Jedoch ist die Wirkung der Pflanzenkohle abhängig von verschiedenen Parametern sehr unterschiedlich, was generelle Aussagen schwierig macht (vgl. Möller/Höper 2014: 14). Dies gilt für beinahe alle Argumente.

Die Karbonisierung bringt laut Haubold-Rosar et al. im Vergleich zur Direktausbringung der Biomasse den Vorteil, dass die Masse erheblich reduziert und dadurch der Treibhausgasausstoß beim Transport reduziert wird. Durch die zunehmende Konzentration der Viehhaltung kommt es oft zu Überschüssen von Gülle und Festmist, die durch die Karbonisierung verwertet werden können. Gleichzeitig können so Emissionen und Eutrophierung reduziert werden. (Vgl. Haubold-Rosar et al. 2016: 35)

Pflanzenkohle kann nach Meinung von Toensmeier und Herren, sowie Lehmann jedoch besonders gut in kleine, bereits bestehende landwirtschaftliche Systeme integriert werden, indem beispielsweise Ernteabfälle, Hofabfälle und unerwünschte Beikräuter pyrolysiert und auf dem Hof direkt verwendet werden können. Pflanzenkohle darf dabei keine Alternative zur Lebensmittelproduktion darstellen, sondern muss innerhalb der best-practice-Systeme eingesetzt werden, zum Beispiel in Direktsaatsystemen oder anderen regenerativen Landwirtschaftspraktiken. (Vgl. Lehmann 2009: 4f.; Toensmeier/Herren 2016: 111) Im Jahr 2009 gab es erst wenige moderne Pflanzenkohlesysteme, jedoch war das Wissen und die Technik bereits vorhanden, mithilfe derer verschiedene Systeme zur Umsetzung ausgewertet werden konnten (vgl. Lehmann 2009: 5). Seitdem ist, wie bereits erwähnt, noch einiges erforscht und erprobt worden, jedoch kann noch viel zur Umsetzung in größerem Maßstab getan werden. Die zugrundeliegende Technologie ist laut Lehmann robust und einfach genug, um Pflanzenkohle in vielen Regionen weltweit anwendbar zu machen (vgl. ebd.).

Der Nutzen der Pflanzenkohle für die Bekämpfung des Klimawandels durch das Speichern von Kohlenstoff im Boden wurde bereits erwähnt und ist ein wichtiges Argument für die landwirtschaftliche Anwendung (vgl. Rittl 2015: 6). Auch der IPCC bewertet das Potential für die Mitigation des Klimawandels als hoch und schätzt die Umsetzung durch die LandwirtInnen als relativ

einfach ein, sieht jedoch noch Forschungs- und Entwicklungsbedarf (vgl. Toensmeier/Herren 2016: 112). Bates geht sogar davon aus, dass allein durch die großflächige Pflanzenkohleanwendung der CO<sub>2</sub>-Gehalt der Atmosphäre auf bis unter 250 ppm gesenkt werden könnte (vgl. Bates 2010: 4). Lehmann hebt hervor, dass Pflanzenkohle zwar keine Alternative zu einer drastischen Senkung der Klimagasemissionen darstellen kann, dass sie aber ein wichtiges Werkzeug im Kampf gegen den Klimawandel sein kann (vgl. Lehmann 2009: 5).

#### 4.8.2 Kritik am Einsatz in der Landwirtschaft

Ein Kritikpunkt betrifft die Effektivität des landwirtschaftlichen Einsatzes von Pflanzenkohle. Möller und Höper gehen zum Beispiel davon aus, dass die meisten landwirtschaftlich genutzten europäischen Böden bereits optimal bewirtschaftet werden und daher ähnlich produktiv oder sogar produktiver als die Terra- Preta-Böden des Amazonasgebietes sind. Daher gehen die Autoren nicht von einer signifikanten Steigerung der Bodenfruchtbarkeit aus. Dieses Argument untermauern sie anhand von Ergebnissen von europäischen Projekten, bei denen keine ertragssteigende Wirkung durch Pflanzenkohlesubstrate festgestellt wurde. Für den Ertrag auf europäischen Böden sei vor allem der Einsatz von Düngemitteln und die Bewässerung ausschlaggebend. (Vgl. Möller/Höper 2014: 11) Lediglich bei sandigen und humusarmen Böden sehen Möller und Höper ein Potential zur Verbesserung mithilfe von Pflanzenkohle, indem die Menge an organischer Substanz des Bodens erhöht wird und dadurch zugleich die Wasserhaltekapazität und das Nährstoffhaltevermögen (vgl. Möller/Höper 2014: 11). „Bei einer Bewirtschaftung nach guter landwirtschaftlicher Praxis“ (Möller o.J.) wird großflächig jedoch kein nennenswertes und ökonomisch lohnenswertes Verbesserungspotential gesehen (vgl. Möller/Höper 2014: 11). In einigen Studien wurde sogar ein negativer Ertragseffekt beobachtet. Laut Möller müssen bezugnehmend auf das Bodenschutzgesetz negative Folgen auf Bodenfunktionen ausgeschlossen werden können, damit der Einsatz von Pflanzenkohle generell empfohlen werden kann, da er nicht rückgängig gemacht werden kann. Momentan sei die Anwendung nur für bestimmte Bereiche empfehlenswert, beispielsweise zur Aufarbeitung von Gülle und Gärresten oder als Ersatz für Torf in Substraten. (Vgl. Möller o.J.) Hierzu sei angemerkt, dass auch bei der derzeitigen gängigen Praxis der synthetischen Minereraldüngung negative Folgen für Bodenfunktionen keinesfalls ausgeschlossen werden.

Einige PflanzenkohlegegnerInnen befürchten auch, dass, wie bei Palmölplantagen, in der Zukunft Urwald zur Pflanzenkohleherstellung gerodet werden könnte, sobald sie einen entsprechenden Marktpreis erreicht. Dunst sieht diese Sorge als berechtigt und meint, dem müsse durch entsprechende Gesetze vorgebeugt werden (vgl. Dunst 2011: 195). Auch Toensmeier und Herren,

sowie Haubold-Rosar et al. (Letztere haben eine vom Umweltbundesamt in Auftrag gegebene Studie zu den Chancen und Risiken des Einsatzes von Pflanzenkohle durchgeführt), sehen die Gefahr der großflächigen Land- und Ressourcenaneignung und eine Verschärfung der Konkurrenz um Biomasse zum Zweck der Pflanzenkohleherstellung, besonders wenn es Subventionen hierfür geben würde (vgl. Toensmeier/Herren 2016: 111; Haubold-Rosar et al. 2016: 35). Graves unterstützt dies, da bereits Konkurrenzen bei der Biomasseverwendung (z.B. bei der Ethanol-, Methanol- und der Biodiesel-Herstellung) sichtbar seien. Er meint aber auch, dass die Skeptiker teilweise durch den Enthusiasmus der PflanzenkohlebefürworterInnen eingeschüchtert seien, da diese eine Überlegenheit gegenüber traditionellen Methoden (z.B. Kompostverwendung) implizieren würden. (Vgl. Graves 2013: 208)

Ein wichtiges Argument aus der Perspektive der regenerativen Landwirtschaft ist die Möglichkeit, dass Pflanzenkohle als Universallösung angewendet werden könnte und dadurch die Stoffströme weg von der Humusreproduktion gelenkt werden würden. Dies könnte beispielsweise der Fall sein, wenn von einer Fläche große Mengen Stroh entfernt werden, um daraus Pflanzenkohle herzustellen, „[...] anschließend aber das fehlende organische Material an dieser Stelle nicht wieder durch das Einbringen von Biokohle oder sonstiger Organik ausgeglichen wird.“ (Haubold-Rosar et al. 2016: 35) Die positive Funktion der Pflanzenkohle, Lebensraum für Mikroorganismen zu bieten, wäre beispielsweise somit hinfällig, da die Mikroorganismen bald keine organische Substanz als Nahrung mehr zur Verfügung hätten, was zur Austrocknung des Bodens führen würde.

Bei der Pyrolyse von Biomasse können auch Nebenprodukte entstehen, beispielsweise Schadstoffe wie VOCs (flüchtige organische Verbindungen), PAKs (polyaromatische Kohlenwasserstoffe), PCBs (polychlorierte Biphenyle) und Dioxine/Furane, die für Menschen, Tiere und Klima gefährlich sein können (vgl. Graves 2013: 208). Dunst argumentiert dagegen, dass die hohen Temperaturen bei der Pyrolyse garantieren, dass 100% der entstehenden PAKs wieder verbrannt werden und sich somit nicht mehr in der Kohle befinden (vgl. Dunst 2011: 194). Je nach Ausgangsbiomasse können jedoch auch Schwermetalle, diverse organische Verbindungen, Gase und Schwebstoffe entstehen, die im gesamten Lebenszyklus, von der Herstellung bis zur Verweilzeit im Boden, gefährlich sein können. Zudem entstehen auch eine Gas- und eine Flüssigphase, die sicher entsorgt werden müssen. Laut Haubold-Rosar et al. „[...] besteht die wesentliche Schadstoffquelle in der Emission von Kohlenmonoxid, Methan, flüchtigen organischen Verbindungen sowie von Schwebstoffen.“ (Haubold-Rosar et al. 2016: 17) Aufgrund der derzeitigen Wissenslücken bezüglich der tatsächlichen Schadstoffbelastung und der Möglichkeiten der Technik diesen Belastungen vorzubeugen, halten sie die Pflanzenkohleverwendung für ökonomisch und ökologisch noch nicht sinnvoll (vgl. ebd.: 35).

Elaine Ingham, bekannt für Forschungen im Bereich der Bodenmikroorganismen, hat eine ganz andere Sicht auf den Pflanzenkohleeinsatz. Sie sieht in Pflanzenkohle ein zu machtvoll Instrument. Sobald der Industriekomplex mit seinem Kreditmarkt, Regierungsinteressen und Subventionen für die LandwirtInnen eingerichtet wäre, würde Pflanzenkohle Überhand nehmen und den Treibhauseffekt überkorrigieren, sodass wir vor der nächsten Eiszeit stünden. Gute Bodenbildungspraktiken könnten ihrer Meinung nach schon die gesamten Probleme lösen, weshalb wir keine Pflanzenkohle brauchen. (Vgl. Ingham 2010, zitiert nach Bates 2010: 6)

Bates hebt hervor: „[...] *biochar is not a cure for addiction to industrial growth at any cost. Nor will changing agricultural practices be enough, alone, to reverse our planet's death spiral or to save endangered species, including ourselves.*“ (Bates 2010: 5) Viele andere Bodenkundler, die Bates interviewt hat, sehen das genauso (vgl. Bates 2010: 5).

#### 4.8.3 Fazit

Bezüglich der Schadstoffproblematik lässt sich zusammenfassend feststellen, dass es nur begrenzte Daten mit begrenzter Aussagekraft zur Relevanz von Schadstoffemissionen bei der Pflanzenkohleherstellung gibt. Einerseits gibt es prozessbedingt vermutlich unvermeidliche emissionsfähige Schadstoffe, andererseits gibt es aber bereits technische Lösungen zur Abgasreinigung und zum Arbeitsschutz. (Vgl. Haubold-Rosar et al. 2016: 17) Es ist also ein Gefährdungspotential vorhanden, dem man jedoch möglicherweise effektiv begegnen kann. Haubold-Rosar et al. empfehlen die Erarbeitung einer breiten und belastbaren Messdatenbasis (vgl. ebd.), die es so noch nicht gibt. Allerdings bietet das European Biochar Certificate (EBC) bereits eine Überprüfung der Qualität, sowie der Produktions- und Transportbedingungen für Pflanzenkohle und legt strenge Grenzwerte für Schadstoffe wie beispielsweise PAKs, PCBs, Dioxine, Furane und Schwermetalle fest (vgl. Schmidt et al. 2012: 12ff.).

Wie bereits mehrfach erwähnt kann die stoffliche Zusammensetzung, Struktur und Wirkungsweise von Pflanzenkohlen je nach Ausgangsstoffen und Herstellungsverfahren sehr stark variieren. Daher ist es schwierig, allgemeingültige Aussagen zu treffen. Dies bedeutet aber auch, dass „[...] *der Nutzen [der Pflanzenkohlen] für einen Einsatz in Böden gezielt durch den Produktionsprozess beeinflusst werden kann.*“ (Haubold-Rosar et al. 2016: 149) Zusammenfassend bedeutet dies laut Haubold-Rosar et al., dass der Einsatz von Pflanzenkohle nur empfehlenswert ist, wenn gleichzeitig eine Kohlenstofffestlegung und eine Bodenverbesserung erfolgen und die potentiellen Risiken eventueller Schadstoffgehalte geklärt sind (vgl. ebd.: 35).

Das Interesse an Pflanzkohle ist bei den Stakeholdern teilweise noch gering (s. Kapitel 4.7). Dies liegt möglicherweise an den Unsicherheiten, die bezüglich des Managements des Lebenszyklus von Biomasse bestehen, beispielsweise wie verfügbar die Biomasse ist, was die lokalen Regulationsspezifika sind, sowie wie hoch das Risiko einer potentiellen Toxizität der Ausgangsbiomasse oder des Pflanzkohleprodukts ist. Teilweise wurde aufgrund dieser Unsicherheiten bereits von PflanzkohlebefürworterInnen vorgeschlagen, Wälder in Pflanzkohleplantagen zu verwandeln, eine Konsequenz, vor denen sich wie bereits erwähnt einige Kritiker stark fürchten. (Vgl. Rittl 2015: 6)

Die Vorteile der Massereduzierung zum Zweck des Transports über weite Strecken, sowie der Pyrolyse überschüssiger tierischer Exkremente zum Zweck der Vorbeugung von Eutrophierungen und Emissionen ergeben sich nur bei der Beibehaltung der großindustriellen landwirtschaftlichen Systeme und sind für Systeme regenerativer Landwirtschaft vermutlich irrelevant.

Laut Toensmeier und Herren bedeuten die genannten Aspekte zusammenfassend für die regenerative Landwirtschaft: Pflanzkohle sollte nicht als eine einfache Lösung angesehen werden, sie sollte nicht als die ‚silberne Kugel‘, die Wunderwaffe gegen den Klimawandel verwendet werden, sondern sollte in kleine landwirtschaftliche Systeme integriert werden (vgl. Toensmeier/Herren 2016: 111). Zudem sollte sich genau über den Zweck und das Ziel der Anwendung Gedanken gemacht werden, um dann zu entscheiden wann und wo eine Anwendung sinnvoll ist und welche Kohle mit welchen Eigenschaften verwendet werden soll. Hierauf wird noch detaillierter in Kapitel 6 eingegangen.

## **5 Zur Methodik der Arbeit**

Für die vorliegende Arbeit wurde eine Literaturanalyse durchgeführt, anhand derer verschiedene Thesen zur Pflanzkohleanwendung in der regenerativen Landwirtschaft entwickelt wurden (s. Kapitel 6). Diese wurden anschließend beispielhaft in Form von leitfadengestützten ExpertInneninterviews überprüft. Dies ergab sich aus dem Anspruch heraus, die lediglich theoretisch basierten Thesen mit der Praxis zu verknüpfen, ohne dabei eine Repräsentativität der Aussagen gewährleisten zu wollen. Die unterschiedlichen methodischen Schritte werden im folgenden Kapitel beschrieben und begründet.

### **5.1 Literaturanalyse**

Es gibt noch wenig strukturierte Forschungsarbeit, die einen Überblick gibt über Definition, potentielle Methoden und reale Praxis regenerativer Landwirtschaft. Meist werden nur Teilaspekte beschrieben.

Für Deutschland lässt sich noch gar nichts Konkretes finden. Auch zum Thema Pflanzkohle gibt es wenig Literatur, die die Potenziale und Hürden der Pflanzkohleverwendung in der Landwirtschaft zusammenfassend darstellt. Auch in der vorliegenden Arbeit kann keine allumfassende Abhandlung beider Themen erfolgen. Anhand einer Literaturanalyse wurden jedoch die für die Fragestellung relevanten Informationen strukturiert zusammengetragen und synthetisiert, um den derzeitigen Wissens- und Forschungsstand deutlich zu machen, sowie vorhandene Lücken aufzuzeigen (vgl. Leavy 2017: 128). Diese Analyse bildet die Grundlage für die Theoriebildung (vgl. Webster/Watson 2002: xiii) in Form der Thesen zur Pflanzkohleanwendung in der regenerativen Landwirtschaft, die in Kapitel 6 dargestellt werden. Eine stimmige Literaturanalyse baut laut Webster und Watson auf einer plausiblen Strukturierung des Themas auf. Die meisten Literaturanalysen benötigen hierfür eine leitende Theorie, einige konkurrierende Modelle, oder eine bestimmte Perspektive auf den zu betrachtenden Gegenstand. (Vgl. ebd.) Ausgehend vom Konzept der starken Nachhaltigkeit werden in der Arbeit die vorhandenen konzeptionellen Grundlagen regenerativer Landwirtschaft erarbeitet, mit dem wissenschaftlichen und dem praktischen Wissen, sowie den kontroversen Ansichten zur Pflanzkohleanwendung verknüpft und anhand von ExpertInnenwissen überprüft (s. folgendes Kapitel). Die ExpertInnen sind mit der Umsetzung in Deutschland bereits befasst, oder befassen sich möglicherweise zukünftig damit.

Als Quellen wurden unter anderem sowohl Veröffentlichungen zu Feld- und Laborversuchen zur Wirkung von Pflanzkohle im Boden, als auch Literatur aus der Theorie und Praxis der regenerativen Landwirtschaft (beispielsweise Shepard 2013 oder Perkins 2016) herangezogen.

## 5.2 Leitfadengestützte ExpertInneninterviews

Um die Methode des leitfadengestützten ExpertInneninterviews erläutern zu können, muss zunächst der Begriff des/der ExpertIn definiert werden, der hier verwendet wird. Anschließend wird die Wahl der Methode begründet, das Vorgehen erläutert und die ausgewählten ExpertInnen kurz vorgestellt.

### 5.2.1 Zum Begriff des/der ExpertIn

Das Wort ExpertIn leitet sich vom lateinischen „*expertus: erprobt, bewährt*“ (Bogner et al. 2014: 9) ab, welches sich wiederum von einem Verb ableitet, das es nur in Passivform gibt, dem Verb „*experiri: prüfen, ausprobieren*“ (Ebd.). Laut Meuser und Nagel ist der/die ExpertIn in der Sozialforschung immer zum Teil das Produkt unseres Forschungsinteresses (vgl. Meuser/Nagel 2009: 467), da er oder sie erst durch die Befragtenrolle zum/zur ExpertIn wird (vgl. ebd.: 466). Ein Experte oder eine Expertin verfügt

laut Meuser und Nagel jedoch über Wissen, dass sich von anderen Formen sozialen Wissens und Handelns, z.B. vom Alltagswissen- und handeln abhebt. Die Person verfügt nicht unbedingt als Einzige über dieses Wissen, jedoch ist es nicht jeder Person zugänglich, die sich in dem behandelten Themenbereich bewegt. Das ExpertInneninterview versucht sich diesen Wissensvorsprung zunutze zu machen. (Vgl. ebd.: 467)

Bei diesem Sonderwissen handelt es sich nicht nur um wissenschaftliches Wissen und es ist zudem nicht unbedingt an einen beruflichen Kontext gebunden (vgl. Wassermann 2015: 52). Es kann sich entweder um ‚Betriebswissen‘, ‚Kontextwissen‘, oder um eine Mischung aus beidem handeln (vgl. Meuser/Nagel 2009: 467). Kontextwissen beinhaltet möglichst objektives Wissen über Akteure, Regeln und Maximen von Institutionen in einem Themengebiet, in dem die interviewte Person selbst nicht oder nur wenig aktiv ist, über das sie dennoch viel explizites Wissen besitzt. Betriebswissen beinhaltet das Insiderwissen von Akteuren in einem bestimmten Feld, ihr Routinehandeln und ihre subjektiven Wahrnehmungen. Ein/e ExpertIn besitzt oft Wissen aus beiden Bereichen gleichzeitig. (Vgl. Wassermann 2015: 52f.) Gordon definiert ExpertInnen als Personen, die im zu untersuchenden Themengebiet aktiv sind, „[...] *regardless of their position in the social status system.*“ (Gordon 1975: 199) Dies umfasst also auch beispielsweise PolitikerInnen, Vereinsmitglieder, Eltern, AktivistInnen etc. Diese Definition wird auch von Meuser und Nagel unterstützt (vgl. Meuser/Nagel 2009: 468).

Ein/e ExpertIn hat also (im Gegensatz zum/zur SpezialistIn) nicht nur fachspezifische Kompetenzen, sondern ist vor Allem in der Lage „[...] *Verbindungen zu anderen Wissensbeständen und Wissensformen herzustellen und die Relevanz des eigenen Wissens zu reflektieren.*“ (Bogner et al. 2014: 14) Bogner schreibt zudem: „*Experten zeichnen sich dadurch aus, dass sie maßgeblich bestimmen, aus welcher Perspektive und mithilfe welcher Begrifflichkeiten in der Gesellschaft über bestimmte Probleme nachgedacht wird.*“ (Ebd.: 15) Daher sind ihre Aussagen in Interviews praxisrelevant und so interessant für die empirische Forschung (vgl. ebd.). Bogner et al. entwickeln aufgrund ihrer Überlegungen die folgende Definition:

*„Experten lassen sich als Personen verstehen, die sich – ausgehend von einem spezifischen Praxis- oder Erfahrungswissen, das sich auf einen klar begrenzbaren Problemkreis bezieht – die Möglichkeit geschaffen haben, mit ihren Deutungen das konkrete Handlungsfeld sinnhaft und handlungsleitend für Andere zu strukturieren.“* (Bogner et al. 2014: 13)

Meuser und Nagel definieren eine/n ExpertIn zusammenfassend als eine Person, die auf irgendeine Art und Weise verantwortlich ist für das Entwerfen, Erarbeiten, Ausführen oder Kontrollieren einer Problemlösung. Dadurch hat diese Person Zugang zu Informationen über Personengruppen, soziale Situationen und Prozesse. (Vgl. Meuser/Nagel 2009: 470)

Die Fragestellung der vorliegenden Arbeit erfordert Expertise aus verschiedenen Bereichen, also aus den Bereichen des Kontext-, Praxis- und Erfahrungswissens. Die ausgewählten ExpertInnen entsprechen den vorgestellten Definitionen, da sie sowohl über diese Wissensarten verfügen, als auch in ihren jeweiligen Arbeitsbereichen über den Einfluss verfügen, die Thematik weiter voranzutreiben. Die detailliert begründete Auswahl der InterviewpartnerInnen erfolgt in Kapitel 5.2.4.

### 5.2.2 Zur Methode

Da bislang bei den beispielhaft aufgeführten Bewirtschaftungsweisen keine konkrete Verknüpfung von Regenerativität mit den Bewirtschaftungspraktiken (also landwirtschaftlichen Methoden) und der Verwendung von Pflanzenkohle besteht und in der Literatur beschrieben ist, wurden zur Schließung dieser Forschungslücke Daten mithilfe von ExpertInnen- Interviews erhoben. Es gibt in der empirischen Sozialforschung drei Formen von ExpertInneninterviews. Das standardisierte, das halbstandardisierte (teilstandardisierte) und das nichtstandardisierte Interview (vgl. Gläser/Laudel 2010: 41). Es wurde sich hier aus folgenden Gründen für eine nichtstandardisierte Interviewform, das leitfadengestützte Interview, entschieden:

Bei einem standardisierten Interview gehen viele wichtige Zusatz- und Randinformationen verloren, da der Gesprächsablauf genau vorgegeben ist. Es ist zudem in diesem Fall nicht nötig, dass die Resultate standardisierbar sind. Beim halbstandardisierten Interview ist der Fragebogen standardisiert und der/die InterviewpartnerIn kann die Frage beantworten wie er/sie will. Diese Interviewform hat in der Forschungspraxis jedoch wenig Bedeutung. (Vgl. ebd.)

Beim nichtstandardisierten Leitfadeninterview gibt es dennoch gewisse Vorgaben für die interviewende Person. Der/die InterviewerIn richtet sich nach einem Gesprächsleitfaden, hat aber die Freiheit, Fragen umzuformulieren, oder sich ergebende Zusatzfragen zu stellen. Der Leitfaden ist eine systematische Richtschnur zur Gestaltung des Ablaufs und kann unterschiedlich gestaltet werden, enthält jedoch immer die unbedingt zu stellenden Fragen oder Stichworte für frei formulierbare Fragen. So ist das Interview nicht so weit von einem Alltagsgespräch entfernt und verfolgt dennoch konkrete Ziele. (Vgl. ebd.: 42) Für die vorliegende Arbeit ist dies die sinnvollste Variante, da zwar bestimmte Informationen eingeholt werden sollen, die genauen Ergebnisse der Arbeit aber durch die Offenheit der Fragestellung noch nicht bekannt sind.

*„Der Leitfaden beruht auf der bewussten methodologischen Entscheidung, eine maximale Offenheit (die alle Möglichkeiten der Äußerungen zulässt) aus Gründen des Forschungsinteresses oder der Forschungspragmatik einzuschränken. Die Erstellung eines Leitfadens folgt dem Prinzip ‚So offen wie möglich, so strukturierend wie nötig.‘“ (Helfferich 2014: 560)*

Der Leitfaden sollte nicht mehr als zwei Seiten umfassen und möglichst ausformulierte Fragen beinhalten. Dies gewährleistet eine weitgehende Vergleichbarkeit, da alle InterviewpartnerInnen die Frage in ähnlichem Wortlaut hören. Zum Einstimmen und zur Festlegung der Rollen sollte anfangs mindestens eine ‚Aufwärmfrage‘ gestellt werden. Zum Abschluss sollte nach wichtigen Aspekten gefragt werden, die aus Sicht des Interviewten noch nicht genannt oder zu wenig berücksichtigt wurden. (Vgl. Gläser/Laudel 2010: 144ff.)

Qualitative, leitfadengestützte Interviews sind in der Sozialforschung eine weit verbreitete Methode, um qualitative Daten zu erheben. Meuser und Nagel stellen das ExpertInneninterview als eine Variante des Leitfadeninterviews dar (vgl. Meuser/Nagel 2009: 465f.). Der Leitfaden strukturiert dabei das Interview, die Form des ExpertInneninterviews legt die Auswahl und den Status der befragten Personen fest (s. Kapitel 5.2.1) (vgl. Helfferich 2014: 559). Eine Interviewsituation konstruiert immer ein bestimmtes, in der Regel asymmetrisches Rollenverhältnis zwischen der interviewenden und der interviewten Person. Die methodische Ausgestaltung des leitfadengestützten ExpertInneninterviews bezieht daher neben Fragen des Ablaufs des Interviews auch Fragen der Positionierung der Rollen mit ein. (Vgl. ebd.)

Ziel des ExpertInneninterviews ist meist die Analyse von literaturbasierten Hypothesen (vgl. Wassermann 2015: 57), wie sie auch hier in Form von Thesen zum Einsatz von Pflanzkohle in der regenerativen Landwirtschaft aufgestellt wurden. Mit Hilfe von ExpertInneninterviews können aber auch die strukturellen Auswirkungen bestimmter Handlungen rekonstruiert werden, daher tragen sie dazu bei, praktikable Maßnahmen zu entwickeln (vgl. Meuser/Nagel 2009: 470). Die Überprüfung der theoretischen Analyse durch PraktikerInnen ist für diese Arbeit sehr wichtig, da wenn möglich praktikable Handlungsempfehlungen für die Landwirtschaft entwickelt werden sollen.

Um alle notwendigen Informationen sammeln zu können müssen meist mehrere ExpertInnen befragt werden, da sie „[...] *aufgrund ihrer spezifischen Stellung in dem zu rekonstruierenden Prozess jeweils über andere Informationen verfügen.*“ (Gläser/Laudel 2010: 117) Zudem berichtet jede/r InterviewpartnerIn aus seiner/ihrer persönlichen Perspektive, weshalb der Einfluss dieser Perspektive auf die Informationen beurteilt werden muss. Auch aus diesem Grund ist es sinnvoll, von mehreren InterviewpartnerInnen Informationen einzuholen. (Vgl. ebd.) Es sollten jedoch nur so viele Interviews geführt werden, wie im Rahmen der zeitlichen Kapazitäten auch ausgewertet werden können (vgl. ebd.: 118). Die Verfügbarkeit der InterviewpartnerInnen spielt neben den Faktoren der fachlichen Expertise ebenfalls eine nicht zu verachtende Rolle bei der Auswahl (vgl. ebd.: 117).

Das Vorgehen in der vorliegenden Arbeit war wie folgt: den InterviewpartnerInnen wurde als Vorbereitung auf das jeweilige Interview ein Handout mit den formulierten Definitionen für regenerative Landwirtschaft und Pflanzenkohle, sowie einigen Ausgangsthesen zugeschickt. So bestand die Möglichkeit, im Vorfeld bereits grundlegende Verständnisfragen zu klären und sich eine Meinung zu den Definitionen und Ausgangsthesen zu bilden. Es ist wichtig hier anzumerken, dass die interviewten Personen sich nicht zwangsweise zuvor mit regenerativer Landwirtschaft auseinandergesetzt haben mussten, da es vor allem um Meinungsabfragen zur Realisierbarkeit der jeweiligen Methoden, zur Sinnhaftigkeit und zum Effekt der jeweiligen Handlungen, zur finanziellen Machbarkeit etc. ging.

Zwei der Interviews (mit Susanne Veser und Jonas Gampe, s. Kapitel 5.2.4) wurden aufgrund der großen räumlichen Distanz per Skype geführt. Durch die Verwendung von Videotelefonie wurde versucht, möglichst ähnliche Bedingungen wie bei einem persönlichen Interview herzustellen. Im Anschluss an die Interviews wurden diese transkribiert. Die Transkripte wurden mit der Software MAXQDA12, die zur Auswertung qualitativer Daten sozialwissenschaftlicher Forschung dient, codiert (s. Kapitel 5.2.5). Die Transkripte befinden sich im Anhang. Die Verweise im Text sind mit den Abschnittsnummern des jeweiligen Transkripts gekennzeichnet.

### **5.2.3 Zur Auswahl der ExpertInnen**

Auf Grundlage der in Kapitel 5.2.1 festgelegten Definition des/der ExpertIn wurden Experten ausgewählt, die repräsentativ für die drei ausgewählten Anbauweisen stehen, sowie eine Expertin aus dem Bereich der Pflanzenkohleproduktion. Um eine gleichmäßige Gewichtung herzustellen und in Hinblick auf die zeitlichen Kapazitäten und den Umfang der Arbeit wurde je eine Person aus den genannten Bereichen interviewt.

Die jeweiligen Experten der Anbauweisen Permakultur, biologisch-dynamisch (Demeter) und organisch-biologisch (Bioland) sind Landwirte (oder Permakulturpraktiker) und verfügen vor allem über Betriebs- und Erfahrungswissen und begrenzt auch über Kontextwissen, weshalb sie in der Lage sind, anhand ihres Routinehandelns und ihrer subjektiven Wahrnehmungen die aufgestellten Thesen zu beurteilen (vgl. Wassermann 2015: 52f.). Auch die Expertin der Pflanzenkohleproduktion kann aufgrund ihres Betriebs- und Kontextwissens Einschätzungen zur technischen und finanziellen Machbarkeit der verschiedenen Aspekte geben (vgl. ebd.).

Bei der Auswahl der InterviewpartnerInnen wurde versucht, auf eine ausgeglichene Geschlechterverteilung zu achten, dies hing jedoch stark von der Verfügbarkeit der jeweiligen

Personen ab. Der landwirtschaftliche Bereich des Ackerbaus ist zudem noch stark männlich dominiert, sodass es sehr schwierig ist, Frauen mit Expertinnenwissen auf diesem Bereich zu finden (vgl. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft 2016: 9).

#### **5.2.4 Die ExpertInnen**

##### **Biologisch-dynamisch (Demeter)**

Ralf Weber ist seit 25 Jahren Landwirt auf dem Bauckhof in Amelinghausen bei Lüneburg (vgl. Weber 08.02.2018: 3). Der Bauckhof wurde 1959 auf die biologisch-dynamische Wirtschaftsweise umgestellt. Auf dem Bauckhof werden Kühe und Schweine gehalten, sowie Gemüse und Kartoffeln angebaut. Zudem wird im Rahmen von Landbaupraktika Pädagogik betrieben. Der Betrieb umfasst eine Gesamtgröße von ca. 200 Hektar, davon sind etwa 75 Hektar Wald. Auf dem Hof leben etwa 40 Menschen, wovon die Hälfte in verschiedenen Bereichen des Betriebs arbeitet (Landwirtschaft, Waldbau, Käserei, Hofladen, Pädagogik). Ralf Weber ist gelernter Bankkaufmann und Pächter des Hofes. Er ist für den Acker-, Gemüse- und Kartoffelbau verantwortlich. (Vgl. Bauckhof o. J.) Zur Landwirtschaft kam er vor 30 Jahren (vgl. Weber 08.02.2018: 3). Er absolvierte die staatliche Landwirtschaftsausbildung und anschließend die Meisterschule (vgl. ebd.: 15). Danach entschied er sich bewusst für den Anbauverband Demeter, da ihm der ganzheitliche Ansatz dort zusagte (vgl. ebd.: 9).

##### **Organisch-biologisch (Bioland)**

Marten Koch ist Landwirt im Familienbetrieb Hof Koch in Glüsing bei Lüneburg in Niedersachsen. Der Hof wird seit 1972 biologisch bewirtschaftet (vgl. Koch 22.12.2017: 3), seit es die ersten Richtlinien des organisch-biologischen Landbaus (Bioland) gab (vgl. Rathke et al. 2002: 456). Marten Kochs Vater war zu dieser Zeit mit den Gründern Hans-Peter Rusch und Hans Müller in Kontakt, um eine Landwirtschaft mit zu entwickeln, „[...] *die so funktioniert wie die Natur*“ (Koch 22.12.2017: 3). Der Hof war zuvor konventionell bewirtschaftet worden. Durch die Beschäftigung mit den Problematiken des Höfesterbens, sowie der Ernährung der wachsenden Bevölkerung, kam Marten Kochs Vater zu dem Schluss, dass es nur biologisch geht. (Vgl. ebd.: 3-9) Heute hat Marten Koch die Aufgaben des Ackerbaus bereits an seinen Sohn Lennart Koch weitergegeben (vgl. ebd.: 71) und beschäftigt sich unter anderem mit der Weiterentwicklung alternativer landwirtschaftlicher Methoden (vgl. ebd.: 24, 29). Er war beispielsweise beteiligt an der Entwicklung der Thesen zur aufbauenden Landwirtschaft, die beim Symposium aufbauende Landwirtschaft auf Schloss Tempelhof verfasst wurden (s. Kapitel 2) (vgl. ebd.: 24).

## Permakultur

Jonas Gampe ist Permakultur-Designer und Garten-Landschaftsbau-Techniker (vgl. Gampe 15.12.2017: 5). Er betreibt das kleine Planungsbüro ‚Kreislauf-Gärten‘ für ökologische Landschafts- und Gartengestaltung und Permakultur-Design in Bischbrunn, im Landkreis Main-Spessart in Bayern (vgl. Kreislauf-Gärten 2017). Nach der Schule absolvierte Jonas Gampe die Ausbildung zum Garten- und Landschaftsbauer mit anschließender Ausbildung zum Garten-Landschaftsbau-Techniker. Im Anschluss daran absolvierte er das berufsbegleitende Teilzeitstudium zum Permakultur-Designer bei der Permakultur Akademie<sup>20</sup>, wo er 2012 das international anerkannte ‚Diploma of Applied Permaculture‘ erhielt. (Vgl. Gampe 15.12.2017: 7-9)

## Pflanzenkohleproduktion

Dr. Susanne Veser ist die 1. Vorsitzende des Anfang 2017 gegründeten Fachverbands Pflanzenkohle e.V. Der Verein hat laut ihrer Satzung folgendes Ziel:

*Die „Förderung der stofflichen Verwendung von Pflanzenkohle, die zu einem Netto-CO2-Entzug aus der Atmosphäre führt. Stoffliche Verwendungswege sind insbesondere: Steigerung der Bodenfruchtbarkeit, Verbesserung degradierter Böden, Bodenschutz, Einsatz in der Tierhaltung. Die Identifikation von weiteren Anwendungsbereichen gehört ebenfalls zu den Zielen des Vereins.“ (Fachverband Pflanzenkohle e.V. 2017b)*

Weitere Arbeitsbereiche sind unter anderem die Förderung von technischen Entwicklungen im Pflanzenkohlenbereich, Schulungen und Beratungen, Herausgabe von Publikationen, das Erarbeiten von Qualitätsstandards für Karbonisierungsanlagen und die Anwendung in der Praxis, sowie das Einwirken auf rechtliche Rahmenbedingungen (vgl. Fachverband Pflanzenkohle e.V. 2017b).

Susanne Veser beschäftigt sich bereits seit ca. 10 Jahren mit dem Thema Pflanzenkohle. Sie ist gelernte Bauingenieurin mit dem Schwerpunkt Siedlungs- und Wasserwirtschaft. Sie hat sich lange Zeit mit verschiedenen Sanitär- Konzepten beschäftigt und kam dadurch beruflich zum Stoffstrommanagement. (Vgl. Veser 18.01.2018: 7) „[I]m Zuge der werterhaltenden Rezyklierung von biogenen Reststoffen [...]“ (ebd.) kam sie zum Thema Pflanzenkohle. Zu diesem Zeitpunkt war das wissenschaftliche Interesse an dem Thema noch nicht so groß, ist jedoch laut Vesers Beobachtung seitdem kontinuierlich gestiegen. (Vgl. ebd.)

---

<sup>20</sup> Die Permakultur Akademie ist eine Bildungseinrichtung des Permakultur Institut e.V. Der Verein wurde 1983 gegründet und hat sich laut eigenen Angaben zur beständigsten Organisation der Permakultur-Bewegung im deutschsprachigen Raum entwickelt. Seit 2003 wird eine Weiterbildung zum/zur Permakultur-DesignerIn angeboten. (Vgl. Permakultur Institut e.V. 2018)

### 5.2.5 Interviewauswertung durch qualitative Inhaltsanalyse

Bei der qualitativen Inhaltsanalyse werden dem transkribierten Interviewtext Informationen entnommen und zuvor festgelegten Kategorien (Codes) zugeordnet. Dadurch werden die theoretischen Vorüberlegungen strukturiert, sodass die Forschungsfrage beantwortet werden kann. Das Kategoriensystem kann jedoch im Laufe der Codierung, also der Zuordnung der Textstellen zu den Codes, noch angepasst werden, etwa wenn sich neue Codes ergeben. (Vgl. Gläser/Laudel 2009: 200f.) *„Damit wird die Extraktion an die Eigenart der theoretischen Variablen angepasst, komplexe Zustände zu beschreiben.“* (Ebd.: 200) Diese Daten werden anschließend zusammengefasst und nach bestimmten Kriterien sortiert. In der vorliegenden Arbeit wurden etwa die Aussagen der InterviewteilnehmerInnen zu einer bestimmten Kategorie zusammengefasst, um sie untereinander und mit den Ergebnissen der Literaturanalyse vergleichen zu können. Diese Informationsbasis wird also genutzt, um sie mit der Forschungsfrage zu verknüpfen. (Vgl. ebd.: 200f.)

Für die vorliegende Arbeit wurde die Methode der inhaltlich strukturierenden qualitativen Inhaltsanalyse nach Kuckartz gewählt. Diese wird in der Forschungspraxis besonders häufig angewendet. (Vgl. Kuckartz 2016: 48, 97) Sie eignet sich beispielsweise für die Analyse leitfadengestützter Interviews, da die Analysekategorien aus dem eingesetzten Leitfaden hergeleitet werden. Im Laufe des Prozesses werden diese Kategorien häufig noch anhand des Datenmaterials weiterentwickelt und ausdifferenziert. Das Datenmaterial (die Interviewtranskripte) werden anschließend kategorienbasiert ausgewertet und zur Beantwortung der Forschungsfrage aufbereitet. (Vgl. ebd.: 97) *„Bei der inhaltlich strukturierenden qualitativen Inhaltsanalyse wird mittels Kategorien und Subkategorien eine inhaltliche Strukturierung der Daten erzeugt.“* (Ebd.: 101) Diese Kategorien leiten sich meist aus den Themen der Befragung ab (vgl. ebd.), wie dies auch in der vorliegenden Arbeit der Fall ist. Anhand des Interviewleitfadens wurde ein Kategoriensystem (Codesystem) entwickelt (s. Abb. 21), welches während der Phase des Codierens des Materials um einige Kategorien erweitert wurde. Bei einer so durchgeführten thematischen Codierung können in einem Textabschnitt zugleich mehrere Themen angesprochen sein, sodass die Textstelle auch mehreren Kategorien zugleich zugeordnet wird (vgl. ebd.: 102f.).

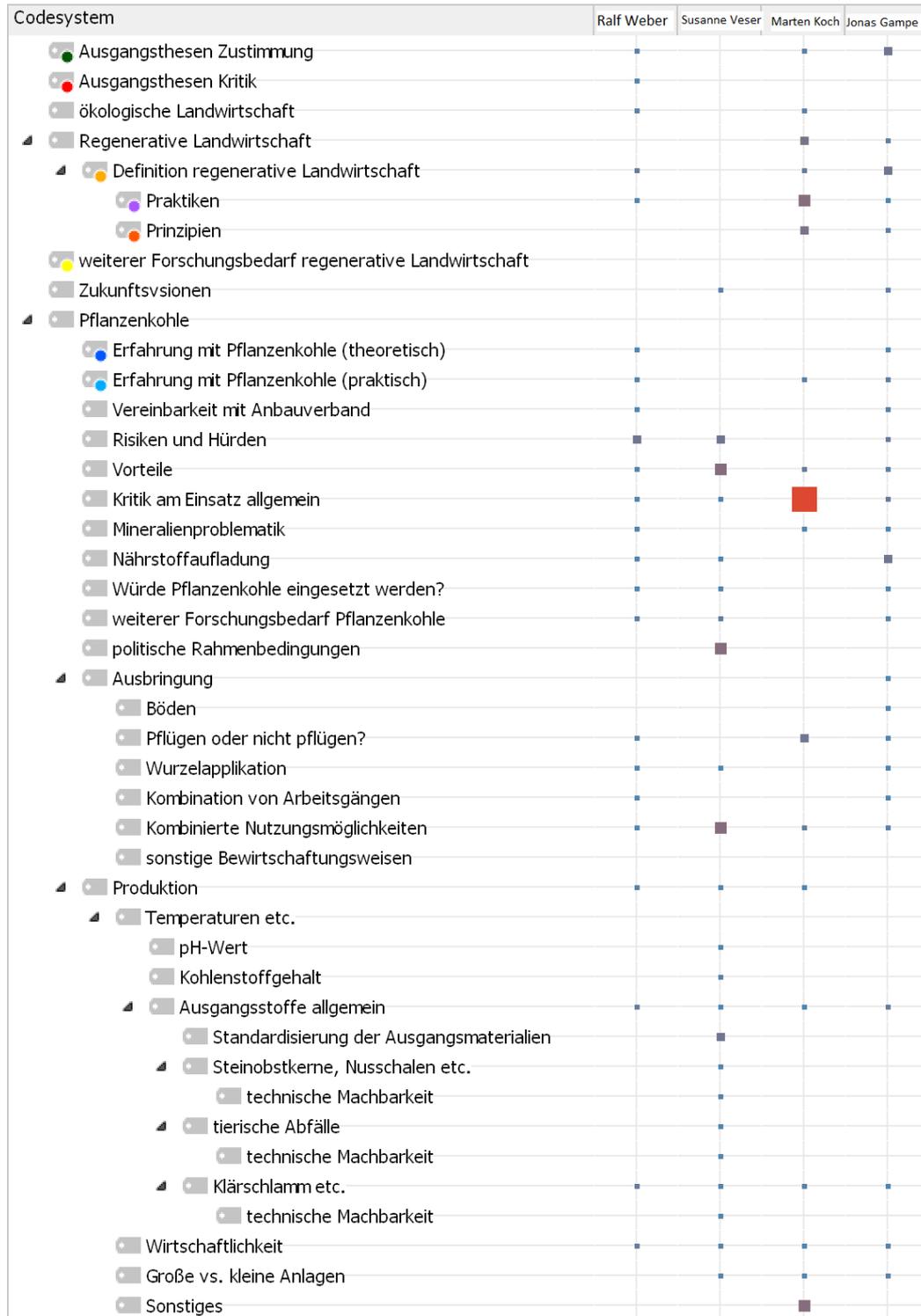


Abbildung 21: Im Programm MAXQDA12 erstelltes Codesystem mit Häufigkeit der Aussagen der InterviewpartnerInnen zu den jeweiligen Codes

Im Anschluss an den Codierungsprozess wurden fallbezogene thematische Zusammenfassungen erstellt, d.h. die einzelnen Interviews wurden zusammengefasst, um das Material zu komprimieren und auf die für die Forschungsfrage relevanten Aspekte zu reduzieren (vgl. ebd.: 111). So konnten die

verschiedenen Perspektiven der ExpertInnen einzeln dargestellt werden und anschließend „[...] *in Bezug auf ausgewählte Kategorien miteinander verglichen werden.*“ (Ebd.: 115)

Wie bereits erwähnt, wurde die Analyse mithilfe des Programms MAXQDA12 durchgeführt. Die Software hilft beispielsweise dabei, alle mit einer Kategorie codierten Textstellen zusammenzustellen (vgl. ebd.: 180).

## **6 Thesen zu Produktion und Verwendung von Pflanzenkohle in der regenerativen Landwirtschaft**

Wie in Kapitel 4.8 dargestellt, birgt die Pflanzenkohleverwendung im Ackerbau noch diverse Risiken, die im Folgenden in einigen Thesen zusammengefasst werden. Um diesen Risiken zu begegnen, sollte der Umgang mit Pflanzenkohle wohlüberlegt sein. Auf Grundlage der in den vorangegangenen Kapiteln diskutierten Sachverhalte werden daher im weiteren Verlauf des Kapitels ebenfalls ausgewählte Thesen dazu aufgestellt, wie Pflanzenkohle produziert, aufbereitet und eingesetzt werden müsste, um Bestandteil einer regenerativen Landwirtschaft in Deutschland sein zu können.

Die Thesen werden anhand der Ergebnisse der leitfadengestützten ExpertInneninterviews in den folgenden Kapiteln diskutiert.

### **6.1 Ausgangsthesen**

- 1) Die konventionelle Landwirtschaft schafft vielfältige Probleme. Beispielsweise wird jegliche organische Substanz durch die Mineraldüngung fast vollständig mineralisiert, der Boden mit Nitrat angereichert und durch den massiven Maschineneinsatz die CO<sub>2</sub> Produktion gesteigert. Durch den Einsatz von Bioziden und die intensive Bodenbearbeitung werden die für die dauerhafte Fruchtbarkeit wichtigen Bodenmikroorganismen zerstört.
- 2) Daher muss die Landwirtschaft regenerativer werden, um die organische Substanz im Boden wiederaufzubauen, Bodenbiodiversität wiederherzustellen und somit zugleich die Kohlenstoffspeicherkapazität und Wasserhaltekapazität des Bodens zu verbessern.
- 3) Die ökologische Landwirtschaft geht zwar in die richtige Richtung, ist jedoch nicht ausreichend, da dort zwar auf synthetische Düngemittel und chemische Pflanzenschutzmittel verzichtet wird, jedoch oftmals dieselben Bewirtschaftungspraktiken wie beim konventionellen Landbau

angewandt werden. Daher müssen neue Praktiken eingeführt, bzw. altbewährte wiedereingeführt werden. Die regenerative Landwirtschaft liefert Ansätze hierfür.

- 4) Die drei Anbauweisen biologisch-dynamisch, organisch-biologisch, sowie die Permakultur haben jeweils einen gewissen Anspruch regenerativ zu sein, daher werden sie in der vorliegenden Arbeit behandelt. Die jeweiligen Praktiken müssen jedoch nicht bereits denen der regenerativen Landwirtschaft direkt entsprechen, sondern die hier vorgestellten Vorschläge bzw. Thesen sollen aus der jeweiligen Perspektive betrachtet und bewertet werden, um evtl. zu gemeinsamen Handlungsempfehlungen gelangen zu können.
- 5) Der Einsatz von Pflanzenkohle im Ackerbau kann Bestandteil einer regenerativen Landwirtschaft in Deutschland sein, wenn gewisse Faktoren bei der Produktion, Aufarbeitung und Ausbringung beachtet werden, wie in den folgenden Thesen dargestellt wird.

## 6.2 Risiken und Hürden

- 6) Es besteht die Gefahr, dass Pflanzenkohle als Universallösung ohne ganzheitliches Konzept unabhängig von der Fläche, den Bodenbedingungen und anderen Faktoren angewendet wird, daher ist die Kombination mit Grundsätzen und Praktiken regenerativer Landwirtschaft wichtig.
- 7) Es besteht ähnlich wie bei der Biomasseerzeugung zur Bioenergieproduktion die Gefahr der Land- und Ressourcenaneignung, insbesondere wenn der Anbau zu diesem Zweck subventioniert werden würde. Daher müssen vor der großflächigen Anwendung von Pflanzenkohle im Ackerbau strenge Gesetze für Produktion und Verwendung entwickelt werden, beispielsweise dass nur hofeigene Abfälle pyrolysiert und ausgebracht werden dürfen.
- 8) Pflanzenkohle hat durch seine hohe Adsorptionsfähigkeit einen negativen Einfluss auf die Wirksamkeit von Bioziden (Fungizide, Herbizide, Insektizide), daher sollten sie nicht gleichzeitig angewendet werden. Eine Kombination mit Praktiken konventioneller Landwirtschaft ist also mäßig sinnvoll.
- 9) Zudem kann Pflanzenkohle durch ihre hohe Adsorptionsfähigkeit die Wurzelexudate der Pflanzen teilweise aufnehmen und so die Kommunikation zwischen Pflanzen und ihren wichtigen Symbiosepartnern, den Mykorrhizapilzen, beeinträchtigen. Zudem kann Pflanzenkohle auf die gleiche Art diejenigen Chemikalien aufnehmen, welche eine Pflanze zu ihrem Schutz produziert. In diesem Bereich ist also weitere Forschung nötig, um negative Effekte auszuschließen.

- 10) Damit Pflanzenkohle in Deutschland überhaupt als Bodenhilfsstoff oder als Futtermittel für ökologische Anbauverbände zugelassen wird, müssen ProduzentInnen und AnwenderInnen beantragen, diese auf die FiBL-Betriebsmittelliste zu setzen.
- 11) Momentan gibt es nur ein Labor, welches die Zertifizierung nach EBC-Standards (European Biochar Certificate) vornimmt. Es müsste daher ein Netzwerk von Laboren zur Pflanzenkohleanalytik gegründet werden, um eine vermehrte Produktion, insbesondere wenn sie in vielen kleinen Anlagen erfolgt, überwachen zu können.

### **6.3 Positive Wirkung/Nutzen allgemein**

- 12) Die Pflanzenkohle, bzw. einzelne Bestandteile davon, können eine Verweildauer im Boden von einigen Jahren bis Jahrtausenden haben. Durch den Aufbau der organischen Bodensubstanz in dieser Zeit, bzw. die Speicherung von Kohlenstoff aus der Atmosphäre kann sie einen nicht zu verachtenden Beitrag zur Bekämpfung des Klimawandels bekämpfen, ohne teure Technologien zu benötigen (s. Wirtschaftlichkeit). Allerdings müssen negative Folgen auf Bodenfunktionen, sowie eine vorzeitige Freisetzung von CO<sub>2</sub> (durch allzu schnellen Abbau im Boden) ausgeschlossen werden können, da die Anwendung nicht rückgängig gemacht werden kann. Dafür ist noch mehr Forschung notwendig.
- 13) Pyrolysierte Biomasse (Pflanzenkohle) wird nicht so schnell remineralisiert wie die Ausgangsbiomasse und kann daher langfristig Kohlenstoff aus der Atmosphäre aufnehmen und speichern. Dies entspricht dem Ziel der regenerativen Landwirtschaft, möglichst zunehmende Systeme zu schaffen.
- 14) Die regenerative Landwirtschaft hat zum Ziel, Sonnenenergie und geologische Ressourcen in hochproduktive, vielfältige Ökosysteme umzuwandeln und das System somit möglichst in einen besseren oder höheren Zustand (wieder)herzustellen. Hierbei entsteht automatisch eine möglichst große Artenvielfalt. Pflanzenkohle kann dazu beitragen, indem sie die Bodenoberfläche vergrößert und somit die Wasserhaltekapazität, Belüftung und Nährstoffspeicherung verbessert und durch ihre Porenstruktur einen idealen Lebensraum für wichtige Bodenmikroorganismen schafft. Insbesondere für die Mykorrhizapilze, welche mit dem Feinwurzelsystem der Pflanzen in Symbiose leben und dort verschiedene wichtige Funktionen erfüllen, bietet Pflanzenkohle einen idealen Lebensraum.
- 15) Die Förderung der Bodenmikroorganismenaktivität ist ein zentrales Ziel der regenerativen Landwirtschaft. Pflanzenkohle trägt durch seine genannten physikalischen Eigenschaften dazu bei.

- 16) Wenn sich LandwirtInnen zusammentun, um gemeinsam ihre benötigte Menge Pflanzenkohle in einer Anlage zu produzieren, sich benötigte Geräte teilen, oder sich über geeignete Methoden austauschen, unterstützt dies auch das soziale Wohlbefinden der LandwirtInnen (soziale Regeneration) und damit eventuell auch der ländlichen Gemeinden.

#### 6.4 Produktion

- 17) Die hier verwendete grundsätzliche Definition für Pflanzenkohle lautet: Ein stark kohlenstoffhaltiges Material, pyrolytisch hergestellt aus allen möglichen Stoffen pflanzlichen Ursprungs, welches in der Tierhaltung oder Landwirtschaft primär zum Zweck der Schaffung von Kohlenstoffsinken eingesetzt werden kann.
- 18) Pflanzenkohle kann Teil einer Abfallmanagement-Strategie sein, bzw. lässt ‚Abfälle‘ gar nicht erst entstehen, sondern hilft bei der Bildung kleiner, lokaler Ressourcenkreisläufe. Dafür und zur Vermeidung weiter Transportwege sollte nur Biomasse verwendet werden, die auf dem Betrieb selbst anfällt. Die Pflanzenkohle sollte anschließend auch wieder im selben Betrieb ausgebracht werden. Dies entspricht dem Prinzip der regenerativen Landwirtschaft, dass das System seine eigenen Produktions-Grundvoraussetzungen reproduziert. In den Öko-Anbauverbänden ist zudem nur die Verwendung betriebseigener, bzw. nach dem jeweiligen Verbandssiegel zertifizierter Biomasse erlaubt (Mist, Gärreste, Erntereste etc.).
- 19) Bei der Erzeugung von Pflanzenkohle in industriellen Mengen sind die Transportwege oft zu weit, die Investitions- und Produktionskosten zu hoch und es besteht eine Abhängigkeit von standardisierten Ausgangsmaterialien. Dies ist analog zu Problemen anderer neuer Energieträger, beispielsweise von Pellets oder Hackschnitzeln, die für eine bestimmte Qualität erst passend produziert werden müssen. Die Produktion von Pflanzenkohle in großtechnischen Anlagen für den landwirtschaftlichen Einsatz ist derzeit also nicht sinnvoll und unwirtschaftlich (s. Wirtschaftlichkeit).
- 20) Die Aktivität der Bodenmikroorganismen hängt unter anderem vom pH-Wert der Umgebung ab. Je nach Ausgangsmaterial und Pyrolysetemperatur variiert der pH-Wert der Pflanzenkohle, wodurch also die Zusammensetzung der Mikroorganismen (z.B. das Verhältnis von Bakterien zu Pilzen) beeinflusst wird. Daher müssen diese Faktoren vor der Produktion auf die Ansprüche der jeweiligen Fläche und das Anwendungsziel angepasst werden.
- 21) Hohe Pyrolysetemperaturen (500-700°C) und eine geringe Sauerstoffzufuhr erzeugen Pflanzenkohle mit einem hohen Kohlenstoffgehalt und einer großen Oberfläche, was

- gleichbedeutend ist mit einer hohen Nährstoffspeicherkapazität- und Verfügbarkeit. Auch dies sollte vor der Produktion bedacht und an die Ansprüche der Fläche angepasst werden.
- 22) Die Pyrolysetemperatur sollte so geregelt werden, dass ein C/N-Verhältnis  $<25$  entsteht, da dies eine Voraussetzung für eine hohe Mikroorganismenaktivität und damit ein Zeichen für Fruchtbarkeit ist, da durch eine hohe Mikroorganismenaktivität erhöhte Mengen pflanzenverfügbaren Stickstoffes entstehen.
- 23) Ausgangsbiomassen wie Nussschalen und Steinobstkerne zerfallen als Pflanzenkohle nicht so schnell im Boden, da sie eine hohe mechanische Stärke aufweisen. Die Verwendung solcher ‚Abfälle‘ ist also sinnvoll, da auf diese Weise eine möglichst langfristige Wirkung erzielt werden kann.
- 24) Da die mineralischen Bestandteile des Bodens aus sich selbst heraus nicht in ausreichendem Umfang wiederhergestellt werden können, ist laut der regenerativen Landwirtschaft die Nutzung von Komposttoiletten oder Mist innerhalb des Betriebskreislaufes eine wichtige Möglichkeit, einen annähernden Mineralienkreislauf herzustellen.
- 25) Der direkte Nährstoffwert der Pflanzenkohle (Makro- und Mikronährstoffe) variiert je nach Ausgangsmaterial. Je nährstoffreicher das Ausgangsmaterial, desto nährstoffreicher die Pflanzenkohle. Zur Rückgewinnung von Mineralien wäre daher die Pyrolyse von Klärschlamm, menschlichen Fäkalien oder Mist sinnvoll (hoher Gehalt an Phosphor, Kalium und Kupfer). Diese Stoffe entsprechen jedoch nicht der hier genannten Definition für Pflanzenkohle und sind auch nicht in der Positivliste der verwendbaren Biomassen des Europäischen Pflanzenkohlezertifikates (EBC) aufgeführt. Eine Aufnahme sollte jedoch aufgrund der Mineralienproblematik nach jeweiliger Eignungsprüfung beantragt werden. Klärschlamm kann bereits mittels PYREG-Technologie pyrolysiert werden.
- 26) Tierische Abfälle wie Fell, Federn und Knochen sind auf der Positivliste des European Biochar Certificate zulässiger Biomassen zur Herstellung von Pflanzenkohlen gelistet. Dies widerspricht eigentlich der Definition von Pflanzenkohle, eröffnet aber Möglichkeiten der mineralischen Nährstoffrückgewinnung in einem lokalen Kreislauf.
- 27) Aufgrund ihrer dauerhaften Stabilität im Boden, sowie ihrer Poren, der Oberflächengröße ihrer Partikel, sowie ihrer Adsorptionsfähigkeit, ist Pflanzenkohle möglicherweise die einzige Möglichkeit, Mineralien und organische Substanz dauerhaft zu binden.
- 28) In Gegenden mit zu hohen Nährstoffwerten sollte Gülle pyrolysiert werden, um Eutrophierung zu vermeiden.

## 6.5 Wirtschaftlichkeit der Produktion

- 29) In den großen industriellen Anlagen lässt sich die bei der Pyrolyse entstehende Energie effizienter nutzen als in den kleinen, dezentralen Anlagen. Mit den kleinen Anlagen können LandwirtInnen ihre Pflanzenkohle dagegen kostengünstig selbst herstellen, so wird die Verwendung wirtschaftlich und in einen lokalen Kreislauf integriert. Im Sinne der regenerativen Landwirtschaft wäre es, die Variante zu bevorzugen, welche bei vergleichbarem Nutzen keine teuren Inputs benötigt, sondern intensivierte Lebensprozesse befördert. Dies wäre also die Nutzung kleiner, dezentraler Anlagen.
- 30) Für eine kleine Anlage wie dem Kon-Tiki Pyrolyseofen müssen die Ausgangsmaterialien im Gegensatz zu den meisten großtechnischen Anlagen nicht standardisiert sein. Dies bietet mehr Flexibilität in der Auswahl der Materialien und erfordert keine energieintensiven Zwischenschritte im Prozess.
- 31) Die günstigste in Deutschland zu erwerbende Anlage für die dezentrale Produktion kleinerer Mengen Pflanzenkohle ist der Kon-Tiki Pyrolyseofen. Er erzeugt von den günstigen, dezentralen Anlagen die Pflanzenkohle mit der höchsten Qualität (EBC Premium). An Möglichkeiten der energetischen Nutzung der Abwärme wird jedoch noch geforscht. Die Biomacon-Anlage, eine weitere kleine Anlage, erzeugt neben der Pflanzenkohleherstellung auch Heizwärme. Eine solche Anlage wäre also bei entsprechendem Preis-Leistungsverhältnis (Preis angefragt, aber noch unbekannt) eine sinnvolle Alternative unter den kleinen, dezentralen Anlagen.
- 32) Die Unwirtschaftlichkeit der großtechnischen Anlagen zeigt sich im Einkaufspreis für eine Tonne Pflanzenkohle. Bei der Ausbringung von 3 Tonnen Pflanzenkohle pro Hektar hätte der/die LandwirtIn Kosten von etwa dem siebzigfachen der Kosten für die Ausbringung konventioneller NPK-Düngemittel pro Hektar.

## 6.6 Aufbereitung der Pflanzenkohle

- 33) Unter anderem das Beispiel Terra-Preta zeigt, dass Pflanzenkohle in einer Mischung mit organischem Material und anderen nährstoffreichen Materialien am wirkungsvollsten ist.
- 34) Pflanzenkohle muss vor der Ausbringung mit Nährstoffen aufgeladen werden, da sie selbst meist kaum Nährstoffe enthält. In der regenerativen Landwirtschaft kann dies beispielsweise durch das Mischen mit Kompost (bzw. die gemeinsame Kompostierung von Pflanzenkohle und organischem Material), oder das Mischen mit Urin oder Mist geschehen. Die Verwendung von Kompost von den

eigenen Flächen ist aufgrund der zu produzierenden Mengen eher für kleinere Betriebe geeignet. Die Verwendung von Komposttees (flüssigen Kompostextrakten) auch für größere Betriebe.

- 35) Die Pflanzenkohle kann auch mit Klärschlamm, oder menschlichen Fäkalien gemischt werden (mit Klärschlamm nur in der konventionellen Landwirtschaft, zu menschlichen Fäkalien fehlen noch ein Konzept und die rechtlichen Rahmenbedingungen), um diese ‚Abfälle‘ und ihre enthaltenen Nährstoffe nutzen zu können. Dadurch kann unter anderem die Gefahr der Nährstoffauswaschungen, die durch die alleinige Klärschlammausbringung entsteht, begrenzt werden.
- 36) Pflanzenkohle sollte vor dem Transport und vor der oberflächlichen Ausbringung befeuchtet werden, um Staubbelastung und Winderosion zu vermeiden.
- 37) Möglicherweise kann die Aufbereitung von Pflanzenkohle mit Kompost oder anderen nährstoffhaltigen Abfällen synthetische Mineraldünger vollständig ersetzen, da durch die Pflanzenkohle die Mineralienaufnahme der Pflanzen erhöht wird. Dies muss in der Praxis weiter erprobt und wissenschaftlich ausgewertet werden.

## **6.7 Verwendung/Ausbringung**

- 38) Es lassen sich die Nutzungsmöglichkeiten bei der Pflanzenkohleherstellung kombinieren, beispielsweise kann die bei der Produktion entstehende Energie oder Abwärme genutzt werden und das Produkt kann im Boden angewendet werden. Dadurch ist die Pflanzenkohleproduktion effizienter als zum Beispiel die Biogasproduktion.
- 39) Die Wurzelapplikation, bei der die Pflanzenkohle direkt an die Wurzeln der Pflanzen gebracht wird, anstatt sie großflächig auszubringen, ist kostensparender und effektiver. Sie kann z.B. durch das Einschlitzen mithilfe spezieller Pflüge erfolgen, oder bei kleineren Flächen auch per Hand.
- 40) So wenig mechanische Störung des Bodens wie möglich, durch minimale bis komplett pfluglose Bodenbearbeitung, um das Bodenleben zu schonen, ist sowohl im Sinne der regenerativen Landwirtschaft, als auch des Biochar Science Network, welches Empfehlungen für die Anwendung von Pflanzenkohle herausgibt. Die Pfluglose Bodenbearbeitung kann auch gut mit mehrjährigen Systemen (eine häufige Bewirtschaftungsform der regenerativen Landwirtschaft) und der Wurzelapplikation von Pflanzenkohle kombiniert werden.
- 41) Eine Möglichkeit der minimalen Bodenbearbeitung bei der Ausbringung von Pflanzenkohle ist die Streifenbearbeitung, bei der nur schmale Streifen gepflügt werden, in die die Pflanzenkohle eingebracht wird.

- 42) Wenn das Bodenwenden nötig ist, dann sollte nur die oberste Bodenschicht gewendet werden, eine Tiefenlockerung kann mittels Tieflockerer, beispielsweise dem Keyline-Pflug erfolgen.
- 43) Ein positiver Ertragseffekt von Pflanzenkohle wurde in Versuchen nur bei der Ausbringung geringer Mengen (1-2t/ha) beobachtet, große Mengen (5-15t/ha) haben eher einen negativen Effekt. Die benötigten geringen Mengen können von der auf der Fläche entstehenden Biomasse produziert werden, was dem Prinzip der regenerativen Landwirtschaft entspricht, dass das jeweilige System an die lokalen Gegebenheiten angepasst sein muss. Große Mengen sind außerdem unwirtschaftlich und unverhältnismäßig im Ressourcenverbrauch- bzw. Einsatz.
- 44) Das Ausbringen kleiner Mengen (1-5t/ha) Pflanzenkohle ist relativ einfach technisch machbar und mit anderen Arbeitsgängen kombinierbar (z.B. mit der Aussaat, s. unten).
- 45) Stark degradierte oder kontaminierte Böden benötigen oft eine besondere Behandlung. In solchen Fällen ist das einmalige Einbringen auch größerer Mengen Pflanzenkohle mithilfe der konventionellen Pflugbearbeitung oftmals sinnvoll. Zum Gewässerschutz können auch große Mengen in Gräben gefüllt werden, um Auswaschungen aufzufangen.
- 46) Ebenso ist auch im Sinne der regenerativen Landwirtschaft die einmalige Zuführung mineralischer Dünger bei stark degradierten Böden unter Umständen sinnvoll, wenn anschließend nur noch Methoden der regenerativen Landwirtschaft angewendet werden.
- 47) Pflanzenkohle bietet insbesondere die Chance, durch die Verbesserung der Wasserhaltekapazität sandige und humusarme Böden zu verbessern.
- 48) In der regenerativen Landwirtschaft werden meist Tiere in das landwirtschaftliche System integriert, um den Nährstoffkreislauf weitestgehend zu schließen. Pflanzenkohle kann mithilfe von regenerativen Praktiken in das Weideland eingebracht werden. Beispielsweise kann mit dem Maulwurfspflug und dem Tieflockerer (subsoiler) die Pflanzenkohle direkt in die Wurzelzone der Grünlandpflanzen eingebracht werden. Dies kann gut mit Keyline Design kombiniert werden, welches besonders für große Grundstücke mit viel Weideland geeignet ist. Um den Bodenaufbau und das Pflanzenwachstum auf Weideland zu unterstützen können Methoden des Holistic Planned Grazing angewendet werden, bei dem die Tiere auf kleineren Weideparzellen nach einem bestimmten Muster rotieren. Auch kann dies mit dem Agroforst-System des ‚Silvopasture‘ kombiniert werden, bei dem Reihen mehrjähriger Pflanzen (z.B. Bäume) in das Weideland integriert werden.
- 49) Wenn Pflanzenkohle mit dem Tieflockerer in tiefere Bodenschichten eingebracht wird, wurzeln die Pflanzen tiefer, da sie an das in der Kohle gespeicherte Wasser wollen.

- 50) Um eine Erosion der Pflanzenkohle zu verhindern, sollte der Boden dauerbewachsen gehalten, oder zumindest gemulcht werden. Dies entspricht den Prinzipien der regenerativen Landwirtschaft für eine ständige Bodenbedeckung zu sorgen und lebende Wurzeln so lange wie möglich zu erhalten. Mögliche Praktiken sind hier die Agroforstsysteme des 'Strip-Intercropping' oder des 'Alley-Cropping' (der Reihemischkultur), bei der Bäume und einjährige Pflanzen (z.B. Getreide) in alternierenden Reihen gepflanzt werden. Mischkulturen (Polykulturen) sind generell eine gute Möglichkeit des dauerhaften Bodenbewuchses. Mulchen mit abgestorbener Vegetation (Stroh etc.) hält zumindest den Boden bedeckt.
- 51) Die Direktsaat ist eine Möglichkeit, den Boden ständig bedeckt und möglichst lange durchwurzelt zu halten. Mit der Drillmaschine können gleichzeitig das Saatgut und die Pflanzenkohle (feingemahlen) ausgebracht werden.
- 52) Pflanzenkohle kann auch unter Einstreu im Stall, oder in Gülle oder Silage gemischt werden, wo sie Nährstoffe bindet, die mikrobielle Aktivität verbessert, die Entstehung von Krankheitserregern verhindern kann und Gerüche minimiert. Geruchsbelastung und Nährstoffauswaschungen können auf diese Weise auch im Mist oder Kompost minimiert werden.
- 53) Pflanzenkohle als Futtermittel bewirkt einen Kaskadeneffekt, von der Förderung der Tiergesundheit bis zur Wirkung im Boden durch Ausbringen des Mistes. Bisläng ist dies in Deutschland rechtlich die einzige Möglichkeit, Pflanzenkohle auf das Feld zu bringen.
- 54) Eine Bodenqualitätsverbesserung durch regeneratives Wirtschaften kann auch ohne Biosiegel erfolgen. Mithilfe von Pflanzenkohle können alle Arten von Düngemitteln effizienter eingesetzt werden, da sie nicht so leicht ausgewaschen werden.
- 55) Da Pflanzenkohle je nach Ausgangsmaterial und Pyrolysebedingungen unterschiedliche Eigenschaften hat, müssen als Entscheidungsgrundlage dafür, wann und wo eine Anwendung welcher Pflanzenkohle mit welchen Eigenschaften sinnvoll ist, Zweck und Ziel der Anwendung zuvor festgelegt werden.

## 7 Ergebnisse der Interviews

Im Folgenden werden die jeweiligen Ergebnisse der leitfadengestützten ExpertInneninterviews zusammengefasst. Dies erfolgt zunächst möglichst interpretations- und wertungsfrei. Verglichen, analysiert und diskutiert werden die Ergebnisse in Kapitel 8.

## 7.1 Organisch-biologische Landwirtschaft: Hof Koch

Marten Koch vom Bioland-Hof Koch stimmt mit den meisten formulierten Ausgangsthesen (s. Kapitel 6) überein. Seiner Meinung nach ist die Arbeitsweise des biologischen Landbaus oftmals nicht ausreichend, um Boden langfristig aufzubauen. Oft würde es nur um den Erhalt von Subventionen gehen, jedoch würden sich die Praktiken nur minimal von denen des konventionellen Landbaus unterscheiden. (Vgl. Koch 22.12.2017: 29) Zur Definition regenerativer Landwirtschaft meint er, ein System müsse per Definition regenerativ sein, um überhaupt als ökologisch bezeichnet werden zu können (vgl. ebd.: 14). Aufgrund der intensiven Beschäftigung mit der Thematik verwendet er jedoch häufiger den Begriff der aufbauenden Landwirtschaft als den der regenerativen Landwirtschaft. Da er selbst an der Findung einer Definition für aufbauende Landwirtschaft beim Symposium aufbauende Landwirtschaft in der Gemeinschaft Tempelhof (s. Kapitel 2.1) beteiligt war, stimmt er mit den dort genannten Prinzipien und Praktiken dieser Form der Landwirtschaft überein (vgl. ebd.: 22-24). Die aufbauende Landwirtschaft bezeichnet seiner Meinung nach die Schaffung von Kulturökosystemen (vgl. ebd.: 91), also von landwirtschaftlichen Systemen, die so funktionieren wie die Natur (vgl. ebd.: 3). Das Wichtigste für den Landwirt/die Landwirtin ist hierbei, die Funktionsweise des Bodens und der Mikrobiologie im Boden zu verstehen, um danach handeln zu können (vgl. ebd.: 11). Der/die LandwirtIn muss „[...] Störfaktoren so gering wie möglich halten“ und „[...] Systeme anwenden, die diese Störungen irgendwie kompensieren ohne [...] das System biologisch zu manipulieren.“ (Ebd.: 11) Für Koch hat der Gedanke der regenerativen Landwirtschaft vor allem mit Energieflüssen zu tun. Das bedeutet, dass am Ende im landwirtschaftliche System mehr Energie übrig sein muss als anfangs vorhanden war. Zu dieser Energie zählt er sowohl den Humusaufbau als auch den Ertrag. (Vgl. ebd.: 24) Die jeweiligen Praktiken, die zu dieser Vermehrung von Energie führen, sind für Koch standortabhängig, z.B. wäre der Umgang mit dem Boden in südlichen Breiten, wo es keine biologische Ruhepause in Form von Winter gibt, ein grundlegend anderer als in Deutschland (vgl. ebd.: 16). Für ihn gehört zu einer funktionierenden Landwirtschaft immer das Tier. Er ist der Meinung, mit Tieren könne der Humusaufbau verzehnfacht werden.

*„Hildesheimer Börde, Magdeburger Börde, die Lösserdeböden in Ungarn und Ukraine, oder die Schwarzerdeböden in Amerika, das sind alles Böden, die durch die großen Wiederkäuerherden entstanden sind. Früher hat man gedacht das ist Verwehung und heute geht man ziemlich sicher davon aus, aufgrund der Untersuchungen, dass das eben keine Verwehungen sind, sondern dass die durch das Zusammenspiel der wilden Wiederkäuer und des natürlichen Weidemanagements entstanden sind.“*  
(Ebd.: 26)

Besonders wichtig ist für Koch auch die Bodenbedeckung, bzw. eine möglichst geringe Störung des Bodens. Dies erreicht er durch das Mulchen vieler Kulturen mit Klee gras (z.B. Tomaten), um die Mikroorganismen, insbesondere die Mykorrhiza-Pilze, zu füttern (vgl. ebd.: 75-79), sowie durch den Verzicht auf tiefe Bodenlockerungen, worauf im Folgenden noch weiter eingegangen wird.

Ebenso genannt werden Methoden des Mischfruchtanbaus, beispielsweise des Milpa-Verfahrens, bei dem Leguminosen, Kartoffeln und Mais gemeinsam gepflanzt werden, damit sie sich gegenseitig unterstützen und ernähren können. Auf diese Weise wird Kochs Meinung nach sehr viel Humus aufgebaut, der in Monokulturen dagegen abgebaut werden würde. (Vgl. ebd.: 81-83)

Pflanzkohle wurde auf Hof Koch bislang lediglich in einem kleinen Terra-Preta-Versuch praktisch erprobt. In dem Versuch wurde gekaufte Holzkohle einer Kompostmiete hinzugefügt und das Substrat anschließend ausgebracht. Dabei wurde eine ertragssteigernde Wirkung beobachtet. (Vgl. ebd.: 29,47) Allgemein vertritt Koch jedoch eine ablehnende Haltung gegenüber der Pflanzkohleverwendung in der Landwirtschaft. Er ist der Meinung, dass eine regenerative Landwirtschaft besser mit anderen, biologischen Methoden funktioniert:

*„[...] wenn ich nicht vorher ein System habe was ökologisch funktioniert, dann habe ich den Effekt der heutigen konventionellen Landwirtschaft. Ich bringe was auf den Boden und halte mein schlecht funktionierendes System am Leben. Ich habe vielleicht auch noch höhere Erträge, aber letztendlich sind die Veratmungsprozesse viel viel höher, weil eben das System da nicht zu passt. Ich habe eine sehr gute Optimierung der Fläche und brauche nichts zu verändern.“ (Ebd.: 29)*

Seiner Ansicht nach sind die Kosten für die Produktion zu hoch und der Nutzen für die Standorte (im norddeutschen Raum) nicht groß genug. Die Pflanzkohleanwendung hält er für eine Behandlung der Symptome landwirtschaftlicher Probleme, jedoch nicht für die tatsächliche Lösung. Das unzulängliche Verständnis vom Boden würde lediglich über die technische Lösung Pflanzkohle kompensiert, was wiederum Abhängigkeiten schaffen würde. (Vgl. ebd.: 29, 39) Er hält die direkte Rückführung organischer Substanz, beispielsweise in Form von Kompost, für die bessere und energiesparendere Möglichkeit, den Boden zu verbessern (vgl. ebd.: 45, 33-35). Auch andere Ausgangsstoffe, wie beispielsweise menschliche Fäkalien, würde er eher direkt ausbringen (vgl. ebd.: 39). Dafür müssten wir seiner Meinung nach wieder hin zu einer dezentralisierten Abfallwirtschaft, wo jede/r selbst dafür sorgen müsste, dass die eigenen Abfälle nicht kontaminiert sind (vgl. ebd.: 37). Auch die Vorteile einer Verbindung von Pflanzkohleproduktion mit Energieproduktion sieht er nicht. Er meint, es wäre sinnvoller und kostengünstiger, z.B. eine Photovoltaikanlage zu besitzen und gleichzeitig biologisches Bodenmanagement ohne Pflanzkohle zu betreiben (vgl. ebd.: 67).

Den einzigen potenziellen Vorteil der Pflanzenkohleverwendung sieht Koch in der Möglichkeit, in einem ökologischen System Flächen schneller zu entwickeln. *„Wenn ich jetzt so Standorte hab wie bei uns, sehr humusarme Böden, wenn ich dann ein System habe was schon humusschonend arbeitet oder aufbauend arbeitet, dann kann ich das einsetzen, um schneller nach vorne zu kommen.“* (Ebd.: 29)

Für die langfristige Versorgung landwirtschaftlicher Systeme mit mineralischen Nährstoffen sieht Koch kein Problem, da er der Meinung ist, dass genug vorhanden sind. Auch eine Vermehrung dieser Bestandteile sieht er als unproblematisch an, sagt aber nicht, wie dies funktioniert. Die einzige Herausforderung sieht er darin, diese Bestandteile pflanzenverfügbar zu machen, was er wiederum durch eine funktionierende Mikrobiologie gewährleistet sieht. Dies würde lediglich etwas mehr Zeit brauchen, weil Wasser der begrenzende Faktor sei. Sobald das Wassermanagement funktionieren würde, sei auch dieses Problem gelöst. (Vgl. ebd.: 26)

Marten Koch ist der Meinung, dass die Bodenbearbeitung in Form des tiefwendenden Pflügens massiv Humus abbaut und dafür sorgt, dass die Bodenbiologie nicht mehr funktioniert. Er hält die Mulchschicht, die auf dem Boden aufliegt für einen wichtigen ‚Bodenhorizont‘ für Mykorrhiza-Pilze. Die darunterliegende oberste Bodenschicht (die ersten 15 Zentimeter) sei der Bereich der aeroben Mikroorganismen und der darunter liegende Bereich der anaeroben Mikroorganismen. Durch das Pflügen würde diese Schichtung und damit das Bodenleben zerstört.

*„Der Pflug hat den einzigen Vorteil, dass ich ein System habe was relativ leicht zu steuern ist. Wenn ich mit biologischen Systemen arbeite muss ich viel viel vorsichtiger mit dem System umgehen. [...] Wenn ich ein ökologisches System habe, dann muss ich eben genau aufpassen: wie spielt die Biologie, wie ist das Wetter, wie ist die Feuchtigkeit und was muss ich machen, damit das dann funktioniert? Ich muss mir viel mehr Kopf machen.“* (Ebd.: 71)

Zusammenfassend formuliert Koch seine Meinung zur Verwendung von Pflanzenkohle als Bodenhilfsstoff im Ackerbau folgendermaßen:

*„[W]enn ich ein nicht funktionierendes System am Laufen halten will, dann macht es Sinn. Weil ich dadurch die Lebenszeit nochmal verlängern kann. Aber in einem ökologischen System brauche ich es nicht. [...] Es macht einfach keinen Sinn, Energie zu verschwenden, die ich anders viel viel besser nutzen kann.“* (Ebd.: 95)

## 7.2 Biologisch-dynamische Landwirtschaft: Bauckhof Amelinghausen

Der Demeter-Landwirt Ralf Weber stimmt grundsätzlich mit den ersten vier formulierten Ausgangsthesen überein (vgl. Weber 08.02.2018: 32, 34). Lediglich bei der fünften These hat er Bedenken, ob Pflanzenkohle tatsächlich einen Beitrag zur regenerativen, bzw. ökologischen Landwirtschaft leisten kann (vgl. ebd.: 32). Hierauf wird im Folgenden noch weiter eingegangen.

Regenerative Landwirtschaft zu definieren fällt Weber schwer. Für ihn ist der Begriff der nachhaltigen Landwirtschaft leichter zu fassen. Darunter fasst er unter anderem Praktiken wie Zwischenfruchtanbau, sowie das Düngen mit eigenem Mist innerhalb des Betriebskreislaufs (vgl. ebd.: 19, 21). Seiner Ansicht nach können die Demeter- Bauckhöfe nicht mehr viel verbessern in Bezug auf die Bodenfruchtbarkeit, da sie mit ihren Methoden schon so lange Erfolg haben (vgl. ebd.: 23).

Manche Methoden der regenerativen Landwirtschaft, wie das Mulchen, funktionieren laut Weber nicht bei großflächigen Ackerkulturen. Da Kartoffeln beispielsweise einen Reihenabstand von 75 Zentimeter haben, ließe sich kein Mulchmaterial mit schwerem Gerät ausbringen (vgl. ebd.: 86).

Praktische Erfahrung mit Pflanzenkohle hat Weber nicht. Auf dem Betrieb wurde jedoch schon einmal ein theoretischer Workshop zum Thema gemacht und es gab Austausch mit anderen Landwirten, die an dem Thema interessiert sind (vgl. ebd.: 29).

Vorteile der Pflanzenkohleverwendung sieht Weber, bei hoher Qualität der eingesetzten Kohle, im verbesserten Boden- und Humusaufbau (vgl. ebd.: 38). Gleichzeitig sieht er jedoch die Gefahr, dass Pflanzenkohle als ein Allheilmittel bei schlechter Bewirtschaftung eingesetzt werden könnte. Seiner Meinung nach ist es wichtiger, „[...] ackerbaulich die richtigen Entscheidungen zur richtigen Zeit zu treffen und eine gute Fruchtfolge aufzustellen.“ (Ebd.: 29) Daher kann er sich einen Pflanzenkohleeinsatz erst dann vorstellen, wenn schon eine kompetente, nachhaltige Bewirtschaftung stattfindet (vgl. ebd.). LandwirtInnen würden sonst eventuell versuchen, Probleme damit zu lösen, die eigentlich ganz andere Ursachen haben und andere Maßnahmen erfordern. Außerdem sieht er die Gefahr, dass viel Geld in diese neue Technologie investiert wird, ohne dass die LandwirtInnen damit umgehen können. (Vgl. ebd.: 36) Bedenken hat er außerdem, dass stark zehrende Kulturen genügend Nährstoffe zu Verfügung hätten, da diese durch die Pflanzenkohle eventuell zu stark gebunden würden (vgl. ebd.: 66). Zudem seien die verwaltungstechnischen und hygienischen Hürden immer sehr hoch, sobald ein Produkt in die Lebensmittelherstellung eingreife. Darin sieht Weber eins der Hauptprobleme bei der Zulassung von Pflanzenkohle aus verschiedenen Ausgangsstoffen als Bodenhilfsstoff. (Vgl. ebd.: 42)

Damit der Pflanzenkohleeinsatz wirtschaftlich ist und auch von den LandwirtInnen unterstützt wird, muss es laut Weber verlässliche Zahlen zur tatsächlichen Ertragssteigerung im Verhältnis zum Preis einer Tonne Pflanzenkohle geben. Den Demeter-LandwirtInnen sei zwar bewusst, dass gewisse Prozesse sich erst nach einer längeren Zeit auszahlen, doch eine gewisse wirtschaftliche Sicherheit müsste für alle LandwirtInnen gewährleistet sein. (Vgl. ebd.: 48, 100) Bezüglich der dezentralen Produktion von Pflanzenkohle in einer eigenen, kleinen Anlage hat Weber Bedenken, ob sich dies tatsächlich wirtschaftlich auszahlen würde, da auch die Arbeitszeit und der eventuelle Einsatz, bzw. die Anschaffung anderer Maschinen, mit eingerechnet werden müssten (vgl. ebd.: 52).

Als Ausgangsmaterialien für die Pflanzenkohleproduktion hält Weber aufgrund der kurzen Logistikwege regional produzierte Materialien für sinnvoll. Zudem wäre die Verwendung von Rest- oder Abfallstoffen aus Anbau- oder Verarbeitungsprozessen zu favorisieren. Dies sollten möglichst Stoffe sein, die nicht anderweitig verwendet werden können. (Vgl. ebd.: 40) Einer der drei Baukhöfe produziere beispielsweise sehr viel Dinkelspelz, der nur teilweise verkompostiert würde, da er sich nicht gut kompostieren lasse. Dieser könne daher möglicherweise gut pyrolysiert werden. (Vgl. ebd.: 54-56)

Weber hat sich bislang noch nicht mit den Möglichkeiten der Nährstoffaufladung der Pflanzenkohle beschäftigt. Er könnte sich jedoch vorstellen, dass es sinnvoll wäre, die Kohle vor der Ausbringung mit Hähnchen- oder Rindermist zu kompostieren. (Vgl. ebd.: 60)

Die Ausbringung der Pflanzenkohle könne seiner Meinung nach am besten zusammen mit Mist, mithilfe des Breitstreuwerks des Miststreuers erfolgen. In pulverisierter Form wäre es auch möglich, die Kohle über einen pneumatischen Düngerstreuer auszubringen, nur würde dabei die Gefahr der Verwirbelung bestehen. Eine weitere Möglichkeit wäre die Ausbringung zusammen mit Gülle mithilfe eines Gülleinjektors. Allerdings hätte Weber bei dieser Option die Sorge, dass die sehr fein vermahlene Kohle nicht mehr so einen stark puffernden Effekt hätte. (Vgl. ebd.: 88) Zur Wurzelapplikation meint er, die Obstbauern würden bereits mit Miststreuern arbeiten, die ein Kompostband direkt an den benötigten Stellen ablegen. Eine Möglichkeit wäre es daher, diesen Kompost mit Pflanzenkohle zu mischen und mithilfe solcher Geräte direkt an den Kulturen auszubringen. (Vgl. ebd.: 90)

Zum Thema Bodenbearbeitung meint Weber, dass das Pflügen noch eine wichtige Unkrautbekämpfungsmaßnahme sei. Er glaubt allerdings nicht, dass auf einem Demeter-Betrieb mehr gepflügt werde als beispielsweise auf einem Bioland-Betrieb. Die pfluglosen Verfahren der konventionellen LandwirtInnen hält er für sinnlos, da dort stattdessen mit chemischen Unkrautbekämpfungsmitteln wie Glyphosat gearbeitet werde. Nur so sei dieses System relativ einfach

anwendbar. Es würden jedoch weiterhin Monokulturen ohne Fruchtfolge angebaut. Der durch die Herbizide verursachte Schaden ist seiner Meinung nach höher als der durch den Pflug verursachte Schaden. (Vgl. ebd.: 75-80) Weber meint auch, es wäre sehr von den angebauten Kulturen abhängig, ob ein pflugloses Verfahren funktioniert. Er kenne Biobetriebe, die erfolgreich pfluglos arbeiten, jedoch sei dies auf dem Sandboden der Lüneburger Heide, wo sich der Bauckhof befindet, nur schwer möglich. Dort würden vor allem Möhren und Kartoffeln angebaut, weil die Böden siebfähig seien. Bei einem pfluglosen System wäre zu viel organische Substanz an der Bodenoberfläche und die Unkrautbekämpfung wäre schwieriger. (Vgl. ebd.: 82-84) Weber meint jedoch auch: *„Das funktioniert, ich kenne auch Betriebe, die Möhren und Kartoffeln anbauen pfluglos, aber das ist schon eine Spezialität von Einzelbauern, die das sehr gut umsetzen. Und niemals so ohne weiteres reproduzierbar.“* (Ebd.: 84)

Weiteren Forschungsbedarf bezüglich der Pflanzenkohle sieht Weber bei der Wirkungsweise. Um ein Erfolgsmodell werden zu können, müssten die langfristig positiven Eigenschaften in den gängigen Agrarzeitschriften belegt werden. Die entsprechenden Versuche müssten von seriösen öffentlichen Instituten durchgeführt worden sein. (Vgl. ebd.: 98) Zudem müsste die Wirtschaftlichkeit der Pflanzenkohleverwendung nachgewiesen sein (vgl. ebd.: 100).

Weber würde Pflanzenkohle zumindest versuchsweise in seinem Betrieb einsetzen, wenn es einen regionalen Anbieter gäbe, der eine hohe Qualität der Pflanzenkohle gewährleisten könnte. Er würde seinen Betrieb außerdem gerne für wissenschaftlich begleitete Anbauversuche zur Verfügung stellen. (Vgl. ebd.: 96)

### **7.3 Permakultur: Kreislauf-Gärten**

Der Permakultur-Designer Jonas Gampe stimmt grundsätzlich mit den formulierten Ausgangsthesen überein (vgl. Gampe 15.12.2017: 32-33). Seiner Meinung nach ist die Regenerativität ein sehr wichtiger Aspekt der Permakultur. Daher sieht er die Permakultur auch als wichtigen Bestandteil regenerativer Landwirtschaft an (vgl. ebd.: 17). Auch geht ihm häufig die biologische Landwirtschaft, wie sie bisher praktiziert wird, nicht weit genug in ihren Ansprüchen. Regenerative Landwirtschaft soll in eine positive Richtung wirken anstatt neutral zu sein, oder gar Raubbau an der Natur zu betreiben. Dazu zählen seiner Meinung nach alle Faktoren, die durch die industrielle Landwirtschaft verschlechtert oder zerstört wurden. So soll sie beispielsweise Humusaufbau, Grundwasserreinigung, Grundwasserbildung, Klimamäßigung, CO<sub>2</sub>-Speicherung und Luftreinigung bewirken. (Vgl. ebd.: 25) Um dies in der Praxis umzusetzen und zu einer regenerativen Landwirtschaft zu gelangen, erachtet

Gampe ein Vorgehen in Etappen als sinnvoll. Beispielsweise könnten zunächst Agroforstsysteme angelegt werden und mehr mit Gründüngung gearbeitet werden, um die Stoffkreisläufe auf dem Hof sinnvoller zu gestalten. Er ist der Meinung, dass ein großer Betrieb nicht sofort in ein Permakultur-System überführt werden kann, sondern dass dieser Prozess in einzelnen Schritten Jahrzehnte dauern kann. (Vgl. ebd.: 81) Am Ende sollte dann ein „[...] *komplett funktionierendes, eigenständiges System* [...]“ stehen (ebd.: 81). Gampe hat sich bislang noch nicht mit den allgemeinen Definitionsansätzen zur regenerativen Landwirtschaft auseinandergesetzt (vgl. ebd.: 17, 23), doch würde er nach eigener Definition „[...] *die Permakultur sogar eher als momentan besten Endzustand der regenerativen Landwirtschaft sehen. Weil ich halt wirklich ein komplett vielschichtiges Ökosystem hab, was sich möglichst selbst erhält.*“ (Ebd.: 81)

Bezüglich der Verfügbarkeit und Vermehrung mineralischer Nährstoffe sieht Gampe für die regenerative Landwirtschaft keine Probleme. Seiner Meinung nach sei dies nur problematisch, wenn immer nur die obersten 20 Zentimeter des Bodens genutzt werden, also beispielsweise nur Weizen, Mais und Raps in Monokulturen angebaut wird. Wenn sich auch Bäume und Sträucher im landwirtschaftlichen System befänden, wie dies in der Permakultur der Fall ist, würden diese die Nährstoffe auch aus tieferen Schichten (beispielsweise Gesteinsschichten) aufspalten und über die Biomasse nach oben transportieren, wo sie auch für flachwurzeln Pflanzen zur Verfügung stünden. (Vgl. ebd.: 51)

Erste praktische Erfahrungen mit Pflanzenkohle hat Gampe in seinem Permakultur-Park durch das Herstellen von Terra-Preta gesammelt. Dafür hat er Reststoffe aus der Grillkohleproduktion mit vorkompostiertem, gehäckseltem Schnittgut und Pferdemist aufgeschichtet. Die Pflanzenkohle bildete dabei die unterste Schicht, um die Nährstoffauswaschungen aufzufangen. Diese Schichten bildeten ein Terra-Preta-Beet, in das direkt gepflanzt wurde. (Vgl. ebd.: 29, 77)

Vorteile der Pflanzenkohleverwendung sieht Gampe in der Möglichkeit der Verwertung von organischen Reststoffen, die nicht anderweitig verwendet werden. Zudem sieht er die Nährstoff- und Wasserspeicherkapazität als vorteilhaft an, sowie dass die Kohle dadurch Nitratauswaschungen ins Grundwasser vorbeugen kann. Zudem könne sie als Einstreu im Stall verwendet werden und dadurch Geruchsbelästigungen und Krankheiten vorbeugen. Außerdem könne sie allgemein als Puffer (Nährstoff- und Wasserpuffer) in der Landwirtschaft dienen. (Vgl. ebd.: 45) Weitere Vorteile sieht er in der Verwendung von Pflanzenkohle als ‚Starthilfe‘ für Pflanzen. „[...] *Sagen wir mal, ich fang jetzt an in der Sahara direkt irgendwas aufzubauen, dann kann ich das natürlich schon auch für die Gehölze, die ich pflanze, für die Bäume, die Späteren, als Starthilfe verwenden.*“ (Ebd.: 83)

Als Ausgangsstoffe sollten laut Gampe nur Reststoffe verwendet werden, die nicht anderweitig genutzt werden (können). Es sollte keinesfalls Biomasse extra angebaut werden, um Pflanzenkohle daraus zu produzieren. (Vgl. ebd.: 37) Zudem sollte nur Biomasse verwendet werden, die direkt vor Ort vorhanden ist. Das könnten je nach Situation verschiedene Materialien sein, beispielsweise Schnittgut oder Biomüll. (Vgl. ebd.: 49, 51) Pflanzenkohle aus menschlichen Fäkalien, Mist oder Klärschlamm würde Gampe zunächst auf Schadstoffe testen lassen, jedoch hat er auf diesem Gebiet noch keine Erfahrungen (vgl. ebd.: 50-51).

Die Pflanzenkohle sollte laut Gampe vor der Ausbringung mit Nährstoffen aufgeladen werden, wenn es nicht lediglich darum geht, sie als Puffer einzusetzen, um Nitratauswaschungen zu verhindern (vgl. ebd.: 59). Als nährstoffhaltiges Material würde er Ressourcen nutzen, die bereits in der Umgebung vorhanden sind, beispielsweise Mist, Grobkompost etc., jedoch sollte nichts extra dazugekauft werden (vgl. ebd.: 51). Das Material sollte vor der Ausbringung zunächst gemeinsam mit der Pflanzenkohle kompostiert werden (vgl. ebd.: 59).

Die Ausbringung auf dem Acker hält Gampe vor allem bei sandigen und schottrigen Böden für sinnvoll, wo die Wasserhaltekapazität gering und die Gefahr der Nährstoffauswaschungen hoch ist. Doch auch bei schweren Böden hält er die Anwendung für sinnvoll, da mithilfe der Pflanzenkohle mehr Bodenstruktur geschaffen werden könne und der Boden dadurch lockerer würde (vgl. ebd.: 65). Bei mehrjährigen Kulturen, beispielsweise Bäumen und Sträuchern würde er die Pflanzenkohle in Kombination mit nährstoffhaltigem Material direkt in den Wurzelbereich einbringen, „[...] sodass gerade nur diese eine Pflanze so eine Starthilfe hat.“ (Ebd.: 83)

Die Methode der Ausbringung hängt für Gampe wieder von den jeweiligen Eigenschaften des Bodens ab. Eine Möglichkeit wäre seiner Meinung nach eine Flächenkompostierung, also beispielsweise die Ausbringung von gehäckseltem Grünabfall gemeinsam mit der Pflanzenkohle mithilfe eines Miststreuers. Wenn das Material fein genug ist, wäre auch eine Ausbringung mit dem Düngerstreuer möglich. (Vgl. ebd.: 61) Eine Anwendung als Zusatz zur Einstreu im Stall erachtet Gampe als sinnvoll, da hierdurch die Tiergesundheit gefördert würde und bei anschließender Ausbringung auf dem Acker auch hier ein positiver Effekt erzielt werden könne (vgl. ebd.: 31).

*„[U]e länger die Nutzungskette ist, umso effektiver natürlich [...]. Also da gibt es ja noch die Idee, dass [die Pflanzenkohle] wirklich nur als vermeintliches Abfallprodukt, aber mit sehr hoher Güte in der Landwirtschaft oder im Gartenbau verwendet wird und davor schon vier, fünf Funktionen erfüllt hat. Klar, das ist natürlich am effektivsten.“ (Ebd.: 67)*

Vom tiefwendenden Pflügen hält Jonas Gampe nichts. Seiner Meinung nach sollte eine Gründüngung als Zwischenfrucht die Bodenlockerung übernehmen. Zudem sollte der Boden möglichst wenig verdichtet werden, durch die Arbeit mit leichten Maschinen mit geringem Reifendruck, bei gutem Wetter. Mechanisch gelockert werden sollte wenn dann nur die oberste Schicht mithilfe einer Egge. (Vgl. ebd.: 63) *„[D]ie Gründüngung so ein Bisschen einarbeiten, vielleicht 2 Wochen warten, verrotten lassen, nochmal darüber gehen mit der Egge und dann direkt reinsäen. Also nur die obersten 5 Zentimeter bearbeiten.“* (Ebd.: 63)

Als allgemeine Kritik an der Verwendung von Pflanzenkohle im Ackerbau führt Gampe an, dass der Humusaufbau auch sehr gut ohne solche Hilfsstoffe funktionieren würde (vgl. ebd.: 45-47). Als Starthilfe für einzelne Pflanzen wäre es seiner Meinung nach in Einzelfällen sinnvoll, Pflanzenkohle zu verwenden. Jedoch würden jegliche Hilfsstoffe überflüssig werden, wenn das System danach aus sich selbst heraus funktioniere. *„Weil irgendwann läuft das ganze System ja von selber, also dann habe ich Humusbildung durch den ganzen Laubfall und so weiter und auch genug Biomasse vor Ort zur Verfügung für alles Mögliche.“* (Ebd.: 83) Eine Gefahr sieht Gampe in der Verwendung nicht-nachhaltiger Ressourcen, wenn beispielsweise Wald gerodet werden würde, um aus dem Holz Pflanzenkohle herzustellen (vgl. ebd.: 37).

Zur Wirtschaftlichkeit der Pflanzenkohleproduktion gibt Gampe zu bedenken, dass die Entwicklung eines Terra-Preta-ähnlichen Bodens auf einer größeren Fläche viel Zeit benötige, da hierfür ca. ein bis zwei Schubkarren Kohle pro Quadratmeter benötigt würden, die nicht auf einmal hergestellt werden könne, ohne Biomasse eigens dafür anzubauen (vgl. ebd.: 37, 39). Eine Gefahr sieht er diesbezüglich in der allgemeinen Ungeduld der Menschen, da dies ein Prozess über mehrere Generationen wäre (vgl. ebd.: 37). Eine Möglichkeit, die Produktion wirtschaftlicher zu gestalten, wäre laut Gampe, die überschüssige Biomasse aus der näheren Umgebung abzunehmen und zu pyrolysieren, da teilweise für die Entsorgung in einem Kompostwerk Gebühren anfallen würden (vgl. ebd.: 57).

Gampe ist der Meinung, es wäre es kein Problem, weltweit großflächig Permakultur, bzw. regenerative Landwirtschaft zu betreiben. Dies sei nur von unserem derzeitigen politischen System nicht gewollt, bzw. würde sogar blockiert. Seiner Ansicht nach würde dies bedeuten, dass mehr Menschen ihre Lebensmittel wieder selbst anbauen würden, was ein Wegfallen von Arbeitskräften in anderen Bereichen zur Folge hätte. (Vgl. ebd.: 87-89) Zudem müssten LandwirtInnen umgeschult werden (vgl. ebd.: 91). Daher erachtet er es als sinnvoll, wenn die Umstellung ein *„[...] langsamer Prozess in eine sinnvolle Richtung [wäre], dass so die vorherrschenden Systeme momentan durch sinnvollere abgelöst werden über die Jahre.“* (Ebd.: 91) Permakultur-Systeme würden von ihrem Grundsatz her auch mehr

Zeit in der Etablierung brauchen, da das Wachstum der unterschiedlichen Pflanzenschichten hin zu einem sich selbst regulierenden System viel mehr Zeit benötigen würde, als das Anlegen einer kurzfristigen Monokultur (vgl. ebd.: 91).

#### **7.4 Pflanzenkohleproduktion: Fachverband Pflanzenkohle**

Susanne Veser vom Fachverband Pflanzenkohle sieht große Vorteile der Pflanzenkohleverwendung in der Reduzierung von Nitratauswaschungen, sowie von Gerüchen aus flüssigen Reststoffen, wie beispielsweise Gülle, sowie in deren Hygienisierung. Besonders positiv sieht sie die gleichzeitige Entstehung eines Langzeitdüngers, wodurch die LandwirtInnen mehrere Vorteile gleichzeitig hätten. (Vgl. Veser 18.01.2018: 31) Zudem könnten landwirtschaftliche Probleme wie die Ausbringungsunfähigkeit von Wirtschaftsdüngern in Starkregenzeiten gelöst werden, wenn Pflanzenkohle aus lokalen Quellen mit Gülle gemischt als Dünger ausgebracht werden würde (vgl. ebd.).

Die Schwammfunktion der Pflanzenkohle sieht Veser als hilfreich beim Wiederaufbau sowohl der ökologisch als auch der konventionell bewirtschafteten Böden an. So könnten zudem effektiv Flutkatastrophen verhindert werden. Auch der Verdichtung der Böden durch schweres Arbeitsgerät würde sie entgegenwirken, da sie sich nicht komprimieren lasse. Dadurch würden auch die Bodenlebewesen mehr Sauerstoff bekommen, was zur allgemeinen Fruchtbarkeit der Böden beitragen würde. (Vgl. ebd.: 47) Besonders in Deutschland sieht Veser als Begründung für die Verwendung von Pflanzenkohle nicht nur eine mögliche Ertragssteigerung an, sondern vor allem auch Eigenschaften wie beispielsweise die Nährstoffhaltekapazität und der damit einhergehende Grundwasserschutz, sowie die Wasserhaltekapazität und der damit einhergehende Schutz vor Bodenerosion. Diese Aspekte würden ihrer Meinung nach in Deutschland noch nicht genügend Beachtung finden. (Vgl. ebd.) Eine weitere, nicht zu vernachlässigende Begründung für die Pflanzenkohleverwendung im Ackerbau, ist ihrer Meinung nach das Potenzial zur Bekämpfung des Klimawandels, welches durch die Eigenschaft der Kohle, der Atmosphäre Kohlenstoff zu entziehen und dauerhaft in den Boden einzubringen, zustande kommt. Sie sieht dies als eine effektivere Maßnahme als andere bodenaufbauende Maßnahmen an. (Vgl. ebd.) Ihrer Ansicht nach betreibt die Erde bereits seit Jahrmillionen selbst eine aktive Kühlung der Atmosphäre durch Kohle, beispielsweise nach einem Vulkanausbruch oder einem großen Waldbrand. Die dabei entstandene Kohle würde die negativen Effekte wieder ausgleichen und gleichzeitig den Pflanzen helfen, sich wieder anzusiedeln. (Vgl. ebd.: 71)

Veser ist der Meinung, dass das Bodenmanagement und die landwirtschaftlichen Praktiken grundlegend verändert werden müssten. Beispielsweise müssten große Monokulturen abgeschafft werden. Dennoch sieht sie die genannten Argumente für die Pflanzenkohleverwendung bezogen auf alle Formen der Landwirtschaft als zusätzlichen Gewinn an, auf den trotz Veränderung landwirtschaftlicher Praktiken nicht verzichtet werden sollte. Beispielsweise würden auch biologische LandwirtInnen von der Langzeitdüngewirkung von mit Kohle vermischten Düngemitteln profitieren. (Vgl. ebd.: 49)

Jedoch sei gerade in Deutschland der Einsatz von Pflanzenkohle nicht unbedingt entscheidend, da in den meisten Regionen, von einigen Ausnahmen abgesehen, ein hoher Humusanteil in den Böden vorhanden sei, welcher gerade durch biologische Bewirtschaftung problemlos zu erhalten sei (vgl. ebd.: 47). In manchen Regionen der Erde sei die Pflanzenkohleproduktion aber besonders sinnvoll, beispielsweise in Almeria in Spanien, wo ein Großteil des europäischen Gemüses produziert wird, oder in großen Städten wie Shanghai oder Peking. Dort könnten mithilfe der Pyrolyse laut Veser die anfallenden riesigen Mengen organischen Materials sinnvoll verwertet werden. (Vgl. ebd.: 45)

Veser sieht die Verwendung von Pflanzenkohle trotz der vielen Vorteile durch die Politik in Deutschland stark behindert, da momentan in der Düngemittelverordnung verankert ist, dass nur unbehandeltes Holz für den landwirtschaftlichen Bedarf pyrolysiert werden darf und keine sonstigen biogenen Reststoffe. Dies führe laut Veser dazu, dass beispielsweise Holzkohle aus afrikanischen Ländern, die unter zweifelhaften Bedingungen produziert wurde, eingesetzt werden dürfe, auch in der biologischen Landwirtschaft. Die einzige Vorgabe des Gesetzgebers sei die Einhaltung eines Kohlenstoffgehalts von mindestens 80%, sowie die Schadstofffreiheit des Holzes, aus dem die Kohle hergestellt wird. (Vgl. ebd.: 11, 13, 57) Veser ist der Meinung: *„[...] das ist nicht nur sinnlos, weil selbst wenn die Kohle nur noch 73% anteilig an der Pflanzenkohle vorhanden ist und der Ascheanteil höher ist, dann macht das weder der Pflanze noch dem Boden irgendeinen Schaden.“* (Ebd.: 11) Ihrer Ansicht nach werde mit dieser Politik der Umwelt, dem Weltklima und der lokalen Wirtschaft geschadet, da die Kohle aus afrikanischen Urwäldern hergestellt werden und anschließend zu Billigpreisen nach Deutschland importiert werden dürfe. Auch müsse die Kohle vor Ort nicht auf PAK-Verunreinigungen untersucht werden, die auch durch die Pyrolyse von unbehandeltem Holz entstehen können. (Vgl. ebd.: 57) Den LandwirtInnen hier in Deutschland werde so zudem keinerlei Anreiz geboten, eigene Kohle aus eigenen Reststoffen zu produzieren (vgl. ebd.: 61). Das European Biochar Certificate würde laut Veser die Lösung bieten, da durch die Zusammenarbeit mit dem Analysebüro Eurofins, welches unter anderem eine verlässliche PAK-Analyse entwickelt hat, gewährleistet werden könne, dass nur

unbelastete Pflanzenkohle in der Landwirtschaft verwendet wird. Dies könne dann auch für andere Ausgangsmaterialien außer Holz gewährleistet werden. (Vgl. ebd.: 15, 55-57)

Veser ist der Ansicht, dass in den vorhandenen wissenschaftlichen Untersuchungen, die teilweise belegen, dass Pflanzenkohle im Boden keinerlei positiven Effekt hat, die Untersuchungsmethoden fragwürdig sind. Beispielsweise würde nicht oder zu wenig unterschieden zwischen Biochar und Hydrochar (Kohle aus Hydrothormaler Karbonisierung, s. Kapitel 4.1), oder die Ergebnisse aus beiden Kohleversuchen würden vermischt. (Vgl. ebd.: 15) Laut Veser ist es möglich, dass die Pflanzenkohleverwendung (aus sämtlichen biogenen Ausgangsmaterialien) aufgrund von anderen wirtschaftlichen Interessen in Europa blockiert werde, weshalb es so schwer sei, die politischen Rahmenbedingungen zu verändern (Vgl. ebd.: 13, 15, 53).

Die Ausgangsstoffe für die Pflanzenkohle sollten laut Veser, sowie dem gesamten Fachverband Pflanzenkohle, aus unbehandelten landwirtschaftlichen, oder biogenen Reststoffen, aus lokalen Quellen stammen (vgl. ebd.: 11). Technisch sei es möglich, aus fast allen Ausgangsstoffen Kohle herzustellen (vgl. ebd.: 30). Abfälle wie Nussschalen oder Steinobstkerne, die einen hohen Kohlenstoffgehalt aufweisen, könnten sehr gut pyrolysiert werden und würden eine sehr gute Kohle ergeben. Nur würden diese Abfälle importierter Nüsse oder Früchte meist in den Ursprungsländern verbleiben und in Deutschland würden sich teilweise Nutzungskonkurrenzen, beispielsweise zur Produktion von Kirschkernkissen, ergeben. Veser sieht auch wirtschaftliche Vorteile für die verarbeitenden Firmen, wenn diese ihre Abfälle zu Kohle verarbeiten würden, nur sei hierfür politisch noch kein Anreiz geboten. (Vgl. ebd.: 28-29) Auch die Karbonisierung tierischer Abfälle wie Fell, Federn und Knochen sei technisch unproblematisch und werde sogar in Deutschland teilweise schon gemacht (z.B. Knochenkohle), nur dürfe auch diese Kohle momentan in Deutschland nicht landwirtschaftlich eingesetzt werden (vgl. ebd.: 33). Die Pyrolyse menschlicher Fäkalien, Gülle, oder Mist, also eher flüssiger Reststoffe, erachtet Veser dagegen als weniger sinnvoll. Einen erhöhten Nährstoffwert der Kohle durch das mineralstoffhaltige Ausgangsmaterial sieht sie nicht als gegeben, da während des Pyrolyse-Prozesses die Nährstoffe in der Regel zerstört werden würden und diese somit auch nicht pflanzenverfügbar wären. Zudem sei der Kohlenstoffgehalt dieser Ausgangsmaterialien meist zu gering und der Trocknungsaufwand durch das eingeschlossene Wasser zu hoch, was sich negativ auf die CO<sub>2</sub>-Bilanz der Produktion auswirken würde. Es werde außerdem bereits an der Phosphatrückgewinnung aus Klärschlamm geforscht. Für sinnvoller hält Veser die Stabilisierung dieser flüssigen Reststoffe durch Pflanzenkohle. Somit würden auch die Nährstoffe erhalten bleiben. (Vgl. ebd.: 30-31)

Veser hält eine Beeinflussung des pH-Werts bei der Produktion nicht für entscheidend. Dieser würde sich bei der gemeinsamen Kompostierung mit organischem Material meist angleichen. Andersherum ließe sich aber der pH-Wert durch die Wahl des entsprechend eher sauren oder basischen Nährstoffaktivators beeinflussen, welcher der Kohle hinzugefügt wird. (Vgl. ebd.: 17)

Veser erläutert, der Kohlenstoffgehalt der Pflanzenkohle hänge davon ab, wie hoch der Sauerstoffeintrag während des Pyrolyseprozesses ist:

*„Je fluffiger das Material, umso mehr Sauerstoff kommt rein, umso mehr Verbrennung habe ich statt Karbonisierung und umso höher ist der Aschenanteil. Und das kann ich natürlich vermeiden, indem ich zum Beispiel Stroh zu Pellets presse, die dann eben auch sehr dicht sind und wenig Sauerstoff eingeschlossen haben und somit wird dann die Kohlenstoffausbeute wieder gesteigert.“* (Ebd.: 21)

Dies treffe auf alle Produktionsmethoden zu. In kleinen Anlagen wie dem KonTiki lasse sich die Sauerstoffzufuhr zwar nicht so einfach regulieren wie in einer großen Anlage, jedoch könne sie durch die Dichte des Ausgangsmaterials beeinflusst werden. (Vgl. ebd.: 21) Allerdings bräuchte man für die Pyrolyse von Ausgangsmaterialien mit geringer Dichte (z.B. Stroh) beispielsweise eine Pelletiermaschine, um das Material zu konfektionieren (vgl. ebd.: 23). Bei technisch weniger aufwändigen Verfahren, wie bei der Pyrolyse im KonTiki, sei die Konfektionierung je nach Ausgangsmaterial nicht so wichtig wie in den großen Anlagen. Das liege daran, dass Letztere größere Mengen produzieren und dadurch der Ascheanteil insgesamt erhöht wäre und die Kohleausbeute dementsprechend verringert (vgl. ebd.: 25, 43).

Bezüglich der Wirtschaftlichkeit der Pflanzenkohleproduktion sieht Veser die Problematik der hohen Kostenintensität der großtechnischen Verfahren. Wenn die rechtlichen Rahmenbedingungen verändert werden würden, würden ihrer Meinung nach mehr LandwirtInnen dazu motiviert werden, ihre eigene Pflanzenkohle zu produzieren und zu verwenden, zumal sie dadurch eventuell weitere Anreize hätten, wie die Möglichkeit, ihre überschüssige Gülle zu stabilisieren und auszubringen. Es komme da also sehr auf die jeweiligen Bedingungen und den Verwendungszweck der Kohle an. (Vgl. ebd.: 53)

Ob große oder kleine Anlagen sinnvoller sind, lässt sich jedoch laut Veser nicht pauschal sagen. Die kleinen dezentralen Anlagen hätten den Vorteil, dass sie kostengünstig und lokal eingesetzt werden könnten, die großen Anlagen wären jedoch in Gegenden mit großem Überschuss an organischem Material sinnvoller. (Vgl. ebd.: 44-45) Bei allen Verfahren ließe sich der Überschuss an entstehendem Pyrolysegas oder entstehender Wärme gleichzeitig für Energiekonzepte nutzen. Bei den kleinen Anlagen würde in der Regel die Abwärme genutzt werden, um direkt damit zu kochen, oder um

Lebensmittel zu trocknen. In den größeren Anlagen könne die Wärme in ein Fernwärmenetz oder direkt in die Heizungsanlage eingespeist werden. Die Kombination mit einer energetischen Nutzung sei aber in jedem Fall sinnvoll und erstrebenswert, um die Effizienz der Anlagen zu erhöhen. (Vgl. ebd.: 37) Ein weiterer Mehrfachnutzen bestünde durch die Beigabe von Pflanzenkohle zum Tierfutter. Die positive Wirkung auf die Tiergesundheit sei bereits ausreichend erwiesen (vgl. ebd.: 65). Jedoch bestünden hier dieselben Regularien wie bei der Verwendung als Bodenhilfsstoff, so dürfe beispielsweise nur Holz als Ausgangsmaterial verwendet werden. Vesper räumt jedoch ein, dass es möglicherweise auch sinnvoll sei, hier andere Maßstäbe anzusetzen (vgl. ebd.: 67). Bezogen auf die anschließende Wirkung auf den Boden sei dieser Kaskadeneffekt jedoch lediglich ein Vorteil für LandwirtInnen, die überhaupt Tierhaltung betreiben (vgl. ebd.: 68-69).

Bezüglich der Ausbringung sieht Vesper die Wurzelapplikation der Pflanzenkohle als die sinnvollste Methode an. Ihrer Meinung nach sei die großflächige Ausbringung auch nicht mehr die allgemein wissenschaftlich vertretene beste Methode für eine Ertragssteigerung. (Vgl. ebd.: 53)

Die positive Wirkung von Pflanzenkohle als Bodenhilfsstoff ist laut Vesper bereits wissenschaftlich ausreichend erwiesen. Daher sei sie in der Düngemittelverordnung überhaupt schon aufgeführt. Weiteren Forschungsbedarf sieht sie vor allem für die erweiterten Möglichkeiten der Pflanzenkohleverwendung und die Details der Verwendung. (Vgl. ebd.: 56) Beispielsweise wären folgende Fragen ungeklärt: „*Wie muss das optimale Mischungsverhältnis sein, um Auswaschungen aus der Gülleausbringung komplett zu reduzieren oder zu stoppen? [...] Wie wirken sich [...] Ascheanteile vielleicht sogar noch positiv aus [...]?*“ (Ebd.: 56) Forschungs- und Entwicklungsbedarf sieht sie außerdem konkret bei den unterschiedlichen Herstellungsverfahren, sowie bei den Eigenschaften unterschiedlicher Pflanzenkohlen aus unterschiedlichen Ausgangsmaterialien. Ein Problem sei, dass für diese Forschung kein Geld vorhanden sei, da der Gesetzgeber sich auf Holzkohlen fixiert habe und andere Pflanzenkohlen außer Acht lasse. (Vgl. ebd.: 27)

Für die Zukunft sieht Vesper Potenzial im Umbau von Biogasanlagen, bzw. Biomasseverbrennungsanlagen in Pyrolyseanlagen. Dabei würde sich zwar die energetische Ausbeute leicht verringern, jedoch hätte man anstatt der Asche ein zusätzliches, vermarktbares Produkt. (Vgl. ebd.: 11) Allgemein sieht sie vor allem eine Dringlichkeit, damit zu beginnen, weltweit die Vorteile der Pflanzenkohle in der Landwirtschaft zu nutzen. Ihrer Meinung nach ist dies eine entscheidende Methode, um die Bewohnbarkeit der Erde noch zu erhalten. (Vgl. ebd.: 71)

## 8 Diskussion

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Interviews zusammenfassend diskutiert. Dabei werden auch die in Kapitel 6 formulierten Thesen, sowie zusätzliche Aspekte der Literaturanalyse, in die Diskussion miteinbezogen, wenn Themen über die Thesen hinausgehend relevant sind. So entsteht ein Bild davon, ob und wie Pflanzkohle in der regenerativen Landwirtschaft eine Rolle spielen könnte. Die getroffenen Aussagen sind jedoch nicht als feste Handlungsempfehlungen zu bewerten, da es sich nicht um eine repräsentative Umfrage, sondern um Einzelmeinungen handelt. Hierauf wird im Fazit weiter eingegangen. Weitere Unterkapitel widmen sich zusammenfassend den politischen Rahmenbedingungen, die zurzeit die Pflanzkohleproduktion und -verwendung in Deutschland beeinflussen, sowie dem weiteren Forschungsbedarf, jeweils aus Sicht der befragten ExpertInnen und der in den vorangegangenen Kapiteln zitierten Literatur.

### 8.1 (Wie) soll Pflanzkohle innerhalb der regenerativen Landwirtschaft produziert und eingesetzt werden?

Im Folgenden werden die beiden interviewten Landwirte Marten Koch und Ralf Weber, sowie der Permakultur-Designer Jonas Gampe zusammenfassend als Praktiker bezeichnet, wenn sie in der Analyse von Aussagen Susanne Vesers zur Pflanzkohleproduktion abgegrenzt werden sollen. An vielen Stellen wird auf die Thesen verwiesen, da eine Wiederholung der Aussagen aus den ersten Kapiteln den Rahmen des Kapitels sprengen würde.

#### 8.1.1 Zu den Ausgangsthesen

Bezüglich der in Kapitel 6 formulierten ersten vier Ausgangsthesen stimmen die Befragten grundsätzlich überein. Sie sind alle der Meinung, dass die konventionelle Landwirtschaft vielfältige Probleme schafft, weshalb ein Umdenken in der Landwirtschaft in Richtung mehr Regenerativität nötig ist (s. Thesen 1 und 2). Die drei Praktiker stimmen ebenfalls darin überein, dass die ökologische Landwirtschaft oftmals sowohl in ihren Ansprüchen, als auch in der praktischen Umsetzung nicht weit genug geht, dass jedoch die drei untersuchten Anbauweisen biologisch-dynamisch, organisch-biologisch und Permakultur in Deutschland am ehesten die regenerative Landwirtschaft anstreben bzw. bereits praktizieren (s. Thesen 3 und 4). Wesentliche Unterschiede liegen jedoch in der Wirtschaftsweise der beiden Anbauverbände und der Permakultur. Bei Bioland und Demeter werden die meisten Ackerkulturen großflächig angebaut, wohingegen die Permakultur auf eine völlig andere

Struktur der angebauten Kulturen setzt, beispielsweise durch das Anlegen mehrerer übereinanderliegender Schichten (s. Kapitel 3.3), was von Gampe betont wird.

Beim Einsatz von Pflanzenkohle als Bestandteil der regenerativen Landwirtschaft gehen die Meinungen auseinander. Insbesondere Marten Koch vertritt eine ablehnende Haltung gegenüber der Pflanzenkohleverwendung in der Landwirtschaft. Aber auch Jonas Gampe und Ralf Weber haben gewisse Vorbehalte und Bedenken demgegenüber. Hierauf wird im Folgenden noch weiter eingegangen. Lediglich Susanne Veser stimmt voll damit überein, dass Pflanzenkohle, unter Beachtung bestimmter Rahmenbedingungen, einen wichtigen Beitrag in der Landwirtschaft leisten kann. (S. These 5)

### **8.1.2 Zur Definition und den Praktiken regenerativer Landwirtschaft**

Die drei Praktiker haben sich unterschiedlich stark mit dem Konzept der regenerativen Landwirtschaft und ihrer Definition auseinandergesetzt. Koch hat an der Definitionsfindung zur aufbauenden Landwirtschaft mitgewirkt. Den Begriff würde er als Synonym zur regenerativen Landwirtschaft bezeichnen. Koch und Gampe haben sich weniger mit der Thematik beschäftigt. Gampe formuliert jedoch konkrete Vorstellungen, was regenerative Landwirtschaft bedeutet, während Weber eine Definition schwerfällt. Er ist der Meinung, dass mit den im organisch-biologischen Landbau praktizierten Methoden bereits eine optimale Bewirtschaftung stattfindet, welche kaum verbessert werden kann. Diese sind jedoch arbeitsintensiv und werden auch bei anderen Bewirtschaftungsweisen angewendet, wie beispielsweise der Zwischenfruchtanbau und das Düngen mit eigenem Mist. Für Gampe stellt dagegen die Permakultur als vielschichtiges, sich selbst erhaltendes Ökosystem das Optimum der regenerativen Landwirtschaft dar.

Koch zählt einige Praktiken regenerativer Landwirtschaft auf, die in Kapitel 2.4 genannt werden, beispielsweise ein Weidemanagement ähnlich dem Holistic Planned Grazing, den Mischfruchtanbau (z.B. den Milpa-Anbau), sowie eine ständige Bodenbedeckung durch pfluglose Bodenbearbeitung und das Mulchen. Gampe beschreibt dagegen eher den Weg in Richtung einer regenerativen Landwirtschaft, die seiner Meinung nach über diese Praktiken hinausgeht und deren Aufbau Jahrzehnte dauern kann. So können beispielsweise Agroforstsysteme und Zwischenfruchtanbau einen Übergang hin zu sich selbst erhaltenden, regenerativen Systemen bilden. Weber ist von einigen Praktiken nicht überzeugt, das Mulchen funktioniere seiner Meinung nach aufgrund technischer Einschränkungen beispielsweise nicht auf großen Flächen. Auf dem biologisch-dynamisch bewirtschafteten Ringstedtenhof bei Lübeck wird das Mulchen von Kartoffeln jedoch beispielsweise bereits seit einer Weile praktiziert (vgl. Intelman 2016).

### **8.1.3 Erfahrung mit Pflanzenkohle**

Die drei Praktiker haben bislang wenig bis gar keine praktischen Erfahrungen auf dem Gebiet der Pflanzenkohleverwendung im Ackerbau gesammelt. Koch und Gampe haben jeweils kleine Versuche der Terra Preta- Herstellung unternommen, diese jedoch noch nicht großflächig angewendet. Weber hat noch keine praktischen Erfahrungen damit gemacht und bislang nur an einem theoretischen Workshop teilgenommen.

Die beiden Anbauverbände Bioland und Demeter unterscheiden sich nicht hinsichtlich potentieller Beschränkungen bei der Verwendung von Pflanzenkohle. Die Betriebsmittellisten beider Verbände ähneln sich stark. Für beide gilt, dass nach wie vor nur Pflanzenkohle aus Holz als Bodenhilfsstoff oder Futtermittel eingesetzt werden darf.

### **8.1.4 Vorteile, allgemeine Kritik und potenzielle Risiken der Verwendung von Pflanzenkohle**

Alle drei Praktiker sehen die Pflanzenkohleherstellung und -verwendung generell kritisch, sehen teilweise aber auch potenzielle positive Wirkungen. Koch sieht den einzigen Vorteil in dem Potenzial, degradierte Flächen schneller zu entwickeln (s. These 45). Dies bestätigt auch Gampe. Dieser sieht jedoch zusätzlich das Potenzial der Bindung überschüssiger Nährstoffe (z.B. bei der Verwendung als Einstreu im Stall) (s. These 52). Weber und Gampe sehen außerdem bei richtiger Anwendung und guter Qualität der Kohle Möglichkeiten eines verbesserten Humus- und Bodenaufbaus, sowie einer Ertragssteigerung (s. Thesen 13 und 14). Vesper stimmt all diesen Aspekten zu. Sie ist der Pflanzenkohleverwendung gegenüber sehr positiv eingestellt. Alle Thesen der Kategorie ‚Positive Wirkung/Nutzen allgemein‘ werden von mindestens einer oder einem Befragten bestätigt. Insbesondere die Aspekte der Förderung der Wasserhaltekapazität, der Belüftung, der Nährstoffspeicherung des Bodens, sowie der Bodenmikroorganismen, werden von drei Befragten (Vesper, Weber und Gampe) als potenziell große Vorteile für den Ackerbau angesehen (s. These 14). Vesper hebt zudem das Potenzial zur Bekämpfung des Klimawandels (s. These 12) und die Düngewirkung von mit Nährstoffen aufgeladener Pflanzenkohle hervor.

Alle drei Praktiker sind sich einig, dass zunächst ein in sich stabiles, ökologisch funktionierendes landwirtschaftliches System geschaffen werden muss, bevor Pflanzenkohle überhaupt eingesetzt wird. Ansonsten würden damit nur die Symptome eines umfassenderen Problems (beispielsweise ein unzureichendes Verständnis von der Bodenbiologie) bekämpft werden. Sie sind sich jedoch auch einig, dass der Einsatz von Pflanzenkohle (in Deutschland) grundsätzlich gar nicht nötig ist, wenn andere Prinzipien und Praktiken regenerativer Landwirtschaft angewendet werden, beispielsweise die

Biomasse direkt oder als Kompost auszubringen, anstatt sie zunächst zu pyrolysieren und dann auszubringen. Dieser technische Zwischenschritt würde unnötige Kosten und Abhängigkeiten verursachen (s. These 19) und die Gefahr bergen, als Allheilmittel für alle landwirtschaftlichen Probleme angesehen zu werden, ohne dass nach den wirklichen Ursachen gesucht würde (s. These 6). In Kapitel 4.8.2 wurde bereits die Vermutung geäußert, dass KritikerInnen teils durch den Enthusiasmus der PflanzenkohlebefürworterInnen eingeschüchtert seien, da diese eine Überlegenheit gegenüber traditionellen Methoden implizieren würden. Diese Vermutung wird hierdurch unterstützt. Zudem sind laut der befragten Praktiker die Böden in Deutschland generell nicht in einem so schlechten Zustand, dass sich die Fruchtbarkeit nicht mit anderen Methoden erhalten und verbessern ließe. Diese Ansicht teilt auch Susanne Veser. Sie erachtet die Pflanzenkohleverwendung besonders in anderen Regionen der Erde als sinnvoll, beispielsweise dort, wo aufgrund von großangelegter Produktion von Lebensmitteln (z.B. Almeria oder Shanghai) hohe Mengen organischer Substanz anfallen, die nicht anderweitig verwertet werden. Allerdings entspricht die Produktion beispielsweise in Almeria in Südspanien keinesfalls einer regenerativen Landwirtschaft, da dort Monokulturen mit erheblichem synthetischen Dünger- und Biozideinsatz angebaut werden (vgl. Sulzmann 2015). Daher kann die Pflanzenkohleverwendung dort nicht als Bestandteil einer regenerativen Landwirtschaft angesehen werden und müsste getrennt davon bewertet werden. Weber sieht abgesehen von der allgemeinen Kritik die Gefahr, dass Pflanzenkohle im Boden die Nährstoffe zu stark binden könnte und diese somit für die Pflanzen weniger leicht verfügbar wären. Dies wurde auch in Kapitel 4.3.4 thematisiert. Durch diese Aussage wird die Empfehlung bekräftigt, die Menge der ausgebrachten Pflanzenkohle so gering wie möglich zu halten, damit dieser negative Effekt möglichst gering ist (s. These 43). Alle drei Praktiker sehen ebenfalls die Gefahr, dass bei einer großflächigen Verwendung von Pflanzenkohle nicht-nachhaltige Ressourcen zur Produktion verwendet werden könnten, beispielsweise Holz aus eigens dafür angelegten Plantagen oder Regenwäldern, welches weite Transportwege zurücklegen muss (s. Thesen 7 und 19). Dies könnte durch das European Biochar Certificate verhindert werden, da hier die Herkunft der Ausgangsmaterialien genau geregelt ist.

#### **8.1.5 Mineralische Nährstoffe**

Gampe und Koch sehen keine Probleme bezüglich der Menge und Verfügbarkeit mineralischer Nährstoffe für die Pflanzen in gut funktionierenden landwirtschaftlichen Systemen in Deutschland. Sie halten die Pyrolyse tierischer und menschlicher Fäkalien zur Rückgewinnung dieser Nährstoffe nicht für sinnvoll, da diese auch direkt ausgebracht, bzw. andere Methoden zur Nährstoffrückgewinnung genutzt werden können. (S. These 24) Koch und Weber halten generell die Tierhaltung zum Zweck der Schließung des betriebseigenen Nährstoffkreislaufs für wichtig, womit sie These 48 unterstützen.

Klärschlamm sollte nach Meinung der Landwirte Weber und Koch aufgrund der Schadstoffbelastung gar nicht verwendet werden. Vesper hält die Pyrolyse flüssiger Bestandteile aufgrund verschiedener technischer Faktoren, wie dem Trocknungsaufwand, nicht für sinnvoll. (S. These 25) Die Stabilisierung von Gülle mit Pflanzenkohle findet sie sinnvoller. Damit widerspricht sie These 28, dass Gülle pyrolysiert werden sollte. Das sieht auch Gampe generell so, obwohl er auch nichts dagegen einzuwenden hätte, Kohle aus Gülle, Mist, oder Klärschlamm testen zu lassen und bei garantierter Schadstofffreiheit zu verwenden (s. These 25). Aus Sicht der regenerativen Landwirtschaft ist die Pyrolyse von Gülle oder Klärschlamm eher keine Option, da die Produktion dieser Ausgangsstoffe ein System voraussetzt, welches nicht in sich geschlossen ist, da es einen Überschuss produziert, der nicht vor Ort verwendet werden kann. Die Verwendung von Komposttoiletten oder Mist innerhalb des Betriebes wären jedoch denkbar. Ralf Weber führt mineralische Nährstoffe in Form von Geflügelmist zu, kauft jedoch das Geflügelfutter teilweise extern ein, was auch nicht im Sinne der regenerativen Landwirtschaft ist. Keine/r der Befragten konnte explizit beantworten, auf welche Weise mineralische Bestandteile, die nicht (wie Stickstoff) aus der Atmosphäre aufgenommen werden können, innerhalb eines geschlossenen Betriebskreislaufs vermehrt werden können.

#### **8.1.6 Produktion und Aufbereitung der Pflanzenkohle**

Drei der Befragten (Gampe, Weber und Vesper) halten als Ausgangsmaterialien für die Pflanzenkohle organische landwirtschaftliche Reststoffe aus lokalen Quellen für am sinnvollsten und ökologisch nachhaltigsten. Diese sollten keine anderweitige Verwendungsmöglichkeit haben. Damit stimmen sie These 18 zu. Marten Koch ist generell gegen die Pyrolyse organischer Reststoffe innerhalb eines Betriebskreislaufes, da er der Meinung ist, dass alle anfallenden Stoffe effektiver und kostensparender direkt ausgebracht oder kompostiert werden können.

Die Verwendung spezieller Ausgangsstoffe wie Steinobstkerne und Nussschalen wäre laut Vesper technisch gut machbar und würde eine sehr gute Kohle mit einer hohen mechanischen Stärke ergeben (s. Kapitel 4.3.1) (s. These 23). Da sich diese Stoffe aufgrund dieser Eigenschaft schlecht kompostieren lassen und auch sonst kaum anderweitig verwendet werden können, wäre dies eine Möglichkeit für regenerativ wirtschaftende Steinobst- und NussproduzentInnen, Ihre Abfallstoffe sinnvoll zu verwerten. Die Pyrolyse tierischer Abfälle, wie Fell, Federn, oder Knochen wäre laut Vesper ebenfalls möglich. Hierfür müsste allerdings im Sinne der regenerativen Landwirtschaft die Tierhaltung, sowie die Schlachtung, in einem lokalen Kreislauf stattfinden.

Vesper hält die Beeinflussung bestimmter Parameter bei der Pyrolyse (pH-Wert, Kohlenstoffgehalt) nicht für entscheidend. Entscheidend seien eher die zugefügten Nährstoffe, welche beispielsweise den

pH-Wert beeinflussen können (s. These 20). Für einen erhöhten Kohlenstoffgehalt müsste Material mit geringer Dichte (Stroh etc.) zunächst vorverarbeitet (z.B. pelletiert werden), was jedoch bei einer dezentralen Produktion der Pflanzenkohle, wie sie im Sinne der regenerativen Landwirtschaft zu bevorzugen wäre, vermutlich technisch schwierig machbar und wirtschaftlich nicht tragbar wäre (s. These 21).

Alle Befragten außer Koch halten es für sinnvoll, die Pflanzenkohle vor der Ausbringung gemeinsam mit nährstoffreichen organischen Materialien (Mist, Urin, Bioabfällen etc.) zu kompostieren, wenn sie als Bodenverbesserer eingesetzt werden soll. Eine Nährstoffaufladung sollte nach Meinung der Befragten in jedem Fall geschehen, sofern die Kohle nicht als Puffer gegen Nährstoffauswaschungen beispielsweise in Misthaufen eingesetzt werden soll. (S. Thesen 33 und 34) Sowohl aus der Literaturanalyse, als auch den Interviews geht demnach hervor, dass eine Nährstoffaufladung am besten geschieht, indem die Pflanzenkohle gemeinsam mit nährstoffreichem Material kompostiert wird (s. Kapitel 4.5). Weber ist der Meinung, dass sie, wenn sie vorher fein gemahlen oder zerstoßen wird, keinen puffernden Effekt mehr besitzt. Laut der Literaturanalyse (vgl. Gomez-Eyles et al. 2013: 106ff.) ist jedoch das Gegenteil der Fall. Je feiner das Material, desto besser die puffernden Eigenschaften bezüglich Wasser und Nährstoffen, da diese so am stärksten adsorbiert werden (s. Kapitel 4.3.6).

Gampe und Veser sind der Meinung, dass es von den jeweiligen Umständen (vor allem von der Menge an verwertbarer Biomasse) abhängt, ob eine große zentrale, oder eine kleine dezentrale Anlage zur Pflanzenkohleherstellung sinnvoller ist. Beide meinen jedoch, dass eine kleine Anlage sich sinnvoller und sehr viel kostengünstiger in einen lokalen Kreislauf integrieren lässt, womit sie These 29 unterstützen. In einer kleinen Anlage wie dem KonTiki muss laut Veser das Ausgangsmaterial auch nicht konfektioniert werden. Um die Sauerstoffzufuhr beeinflussen zu können, um bestimmte Eigenschaften zu erzielen (beispielsweise einen möglichst hohen Kohlenstoffgehalt), muss das Material jedoch bearbeitet, beispielsweise zerkleinert oder gepresst, werden (s. These 30). In den großen Anlagen kann laut Veser Energie für die Stromversorgung, oder Gas produziert und gespeichert werden, in den kleinen Anlagen lässt sich die entstehende Energie meist nur direkt zum Kochen oder Trocknen verwenden. Dass die großtechnischen Anlagen aufgrund der hohen Investitions- und Produktionskosten (noch) unwirtschaftlich sind, darin sind sich alle Befragten einig, womit sie These 32 unterstützen.

Der in Kapitel 4.4.2 beschriebene Kon-Tiki Pyrolyseofen ist ein Beispiel für die dezentrale Produktion jeweils geringer Mengen Pflanzenkohle. Laut einer Studie von Cornelissen et al. kann er relativ einfach

von LandwirtInnen gebaut und betrieben werden. Die Studie hat außerdem ergeben, dass die Qualität der erzeugten Pflanzenkohle mit den EBC-Kriterien übereinstimmt und dass Gas- und Aerosolemissionen sehr gering sind im Vergleich zu anderen kostengünstigen Produktionsmethoden (Vgl. Cornelissen et al. 2016: 13): *„Bei sorgfältigem Betrieb [sind] sowohl Feinstaub, NOX, CO und TOC Emissionen sehr niedrig und deutlich geringer als bei allen anderen Low-Tech Lösungen [...]“* (Ithaka-Institut o.J.). Labortests bestätigen auch, dass die Kon-Tiki Kohle das Biochar Certificate in Premium Qualität erreicht (vgl. ebd.).

Das Hauptziel der Entwicklung des Kon-Tiki Ofens war es, eine sehr günstige Technik anzubieten, mit der fast jede/r, der/die eigene Pflanzenkohle herstellen möchte, sich dies auch leisten kann. *„Die Investitionskosten zur Herstellung von 1 t Pflanzenkohle pro Tag konnten mit dieser so einfachen wie eleganten Technik um das über 100fache gesenkt werden, womit der Schritt zur Demokratisierung der Pflanzenkohle möglich gemacht wurde.“* (Ithaka-Institut o.J.) Dies unterstützt die Meinung der Befragten, lieber kleine, dezentrale Anlagen zu verwenden, da demnach sowohl Qualitäts-, wie auch wirtschaftliche Kriterien erfüllt werden.

Alle Befragten außer Koch, der sich dazu nicht geäußert hat, sehen noch verschiedene Unsicherheiten, was die Wirtschaftlichkeit der Pflanzenkohleproduktion betrifft. Weber hat Bedenken, ob die dezentrale Produktion auf dem eigenen Betrieb aufgrund der zusätzlichen Arbeitszeit und des Maschineneinsatzes wirklich kostengünstig ist. Gampe sieht die Problematik, dass es lange Zeit dauern kann, bis sich ein ertragssteigernder Effekt bemerkbar macht, der sich wirtschaftlich tatsächlich rentiert. Vesper meint, wenn die äußeren Rahmenbedingungen, die momentan den Pflanzenkohleeinsatz erschweren, verändert werden würden, würden mehr LandwirtInnen ihre eigene Pflanzenkohle kostengünstig produzieren.

### **8.1.7 Nutzung und Ausbringung der Pflanzenkohle**

Generell sind alle Befragten der Meinung, dass es sehr auf den jeweiligen Standort und die jeweiligen Bedingungen (Bodentyp, Bodenbedingungen, mögliche Kontamination des Bodens etc.), sowie das angestrebte Ziel (Bodenverbesserung, Remediation, Nährstoffpufferung etc.) ankommt, ob und wie Pflanzenkohle eingesetzt werden sollte (s. These 55). Jedoch könnten laut Gampe, Weber und Vesper insbesondere sandige Böden durch die erhöhte Wasserhaltekapazität davon profitieren, wodurch These 47 unterstützt wird. Bezüglich der technischen Möglichkeiten eines Einsatzes im Ackerbau sind Weber und Gampe der Meinung, dass dies am besten mit dem Miststreuer zu bewerkstelligen wäre, wenn die Kohle zuvor mit Kompost oder Mist gemischt wurde (s. These 44). Für besonders sinnvoll halten Gampe, Vesper und Weber jedoch die Wurzelapplikation, da auf diese Weise nur die jeweilige

Pflanze von der Pflanzenkohle profitiert und weniger Kohle benötigt wird (s. These 39). Dies widerspricht jedoch, als alleinige Maßnahme angewendet, gewissermaßen dem Ansatz der regenerativen Landwirtschaft, den Boden aufzubauen und zu regenerieren, anstatt die einzelnen Kulturen zu ernähren, insbesondere wenn die mit Nährstoffen aktivierte Pflanzenkohle als Düngerersatz verwendet wird. Als ein Bestandteil eines umfassenderen Konzeptes kann die Wurzelapplikation von Pflanzenkohle jedoch eine Möglichkeit der Verwendung in der regenerativen Landwirtschaft sein.

Bei der Thematik der Bodenbearbeitung durch das Pflügen gehen die Meinungen der Praktiker auseinander. Koch und Gampe sind der Meinung, dass das tiefwundene Pflügen die Humusschicht des Bodens abbaut und schädlich für die Bodenmikroorganismen ist. Besonders das Feinwurzelsystem der Mykorrhiza-Pilze werde dadurch zerstört. Laut der Literaturanalyse unterstützt die Pflanzenkohle durch ihre Porenstruktur eine Vermehrung der Mykorrhiza-Pilze (s. Kapitel 4.3.3). Eine minimale bis komplett pfluglose Bodenbearbeitung ist aus den genannten Gründen auch im Sinne der regenerativen Landwirtschaft (s. Kapitel 2.4.1). (S. These 40) Weber hält das Pflügen dagegen für eine wichtige Unkrautbekämpfungsmaßnahme und kritisiert die pestizidintensiven Direktsaatsysteme der konventionellen LandwirtInnen. Er kenne zwar auch biologisch wirtschaftende Betriebe, die dies erfolgreich umsetzen, jedoch seien dies Ausnahmen. Zudem hänge der Erfolg der Methode stark vom Boden und den angebauten Kulturen ab.

Auch was die kombinierten Nutzungsmöglichkeiten der Pflanzenkohle angeht, gehen die Meinungen auseinander. Vesper hebt vor allem die Nutzung der entstehenden Energie bei der Produktion als entscheidend hervor (s. These 38). Koch sieht diese Vorteile nicht. Seiner Meinung nach wäre es effizienter, beispielsweise eine Photovoltaikanlage zu installieren und biologisches Bodenmanagement zu betreiben, anstatt zu diesen Zwecken Pflanzenkohle zu produzieren. Gampe und Vesper betonen als weiteren positiven Effekt die Förderung der Tiergesundheit durch Beimischung von Pflanzenkohle zur Einstreu im Stall, sowie durch die Beimischung zum Futter. Dadurch entsteht zugleich ein Kaskadeneffekt, der sich schlussendlich positiv auf den Boden auswirkt (s. Thesen 52 und 53). Dies würde auch die Schaffung eines sich selbst erhaltenden Systems innerhalb der regenerativen Landwirtschaft fördern, sofern die Pflanzenkohle lokal mit eigenen Reststoffen produziert würde. Weber äußert diesbezüglich keine Meinung, da er keine Erfahrung auf dem Gebiet besitzt.

Zwei der Befragten wären bereit, Pflanzenkohle generell oder in ihrem Betrieb einzusetzen, die beiden anderen dagegen nicht. Weber würde gerne an der weiteren Erforschung der Wirkung von Pflanzenkohle mitwirken, indem er Flächen zur Verfügung stellt, wenn es einen regionalen Anbieter

von Kohle mit guter Qualität gäbe. Veser steht der Verwendung allgemein sehr positiv gegenüber und würde einzelnen LandwirtInnen in ländlichen Regionen zur Produktion kleine Anlagen wie den KonTiki empfehlen. Mit solch einer Anlage könnte auch der soziale Austausch innerhalb der Nachbarschaft gefördert werden, wenn beispielsweise gemeinsame Koch- oder Grillabende mit dem KonTiki organisiert würden. Wenn mehrere LandwirtInnen in einer Region Pflanzenkohle nutzen wollen, würde Veser eine mittelgroße Anlage, beispielsweise von Pyreg, empfehlen. In einem großen Anbaugbiet würde sie eine vollautomatisierte großtechnische Anlage mit maximalem Durchsatz empfehlen. Gampe und Koch würden selbst keine Pflanzenkohle einsetzen. Sie sind beide der Meinung, dass es bessere Methoden des Humusaufbaus, der Nährstoffspeicherung usw. gibt. Nur bei stark degradierten oder kontaminierten Flächen, oder in Wüstengegenden, würden sie möglicherweise Pflanzenkohle als Starthilfe oder zur Bioremediation nutzen (s. Kapitel 4.3.6) (s. These 45).

## **8.2 Politische und sonstige Rahmenbedingungen**

Susanne Veser, die sich aufgrund ihrer Mitgliedschaft im Fachverband Pflanzenkohle viel mit der Förderung der Produktion und Verwendung in Deutschland beschäftigt, sieht hierbei noch große Hürden innerhalb der Politik. Ihrer Meinung nach müsste die Düngemittelverordnung dahingehend geändert werden, dass auch andere biogene Reststoffe außer Holz als Ausgangsmaterial zugelassen werden und die strengen Vorgaben für den Kohlenstoffgehalt gelockert werden. Auch müsste gesetzlich geregelt sein, dass keine Pflanzenkohle aus anderen, weit entfernten Ländern oder Regionen importiert werden darf. Wie in Kapitel 4.7.1 beschrieben, ist eine Veränderung der Düngemittelverordnung auch die Voraussetzung für eine Veränderung der Betriebsmittelliste des Forschungsinstituts für biologischen Landbau (FiBL), welche auch die Grundlage für die Betriebsmittellisten der jeweiligen ökologischen Anbauverbände bildet. Erst dann könnte Pflanzenkohle also überhaupt, nach den in der vorliegenden Arbeit diskutierten Kriterien, innerhalb einer regenerativen Landwirtschaft in Deutschland eingesetzt werden. Auch die bereits produzierte Futterkohle darf teilweise nicht an Mitglieder eines Anbauverbandes verkauft werden, was die Nutzung des Kaskadeneffekts erschwert. Veser ist der Meinung, dass eine Möglichkeit und Förderung der Nutzung kleiner Anlagen die Hürden für LandwirtInnen senken würden. Dies entspricht auch der Meinung anderer WissenschaftlerInnen, wie in Kapitel 4.7.2 dargestellt. Das in diesem Kapitel ebenfalls beschriebene European Biochar Certificate (EBC) würde laut Veser dabei helfen, eine einheitliche Zertifizierung zu schaffen, mit der auch kleine Produktionsmengen zertifiziert werden können.

Hierdurch würden Schadstoffbelastungen ausgeschlossen und eine nachhaltige Herkunft der Ausgangsmaterialien sichergestellt.

Das schweizerische Biochar Science Network hat auch einen Richtlinienvorschlag für die Zertifizierung von Pflanzenkohle im biologischen Landbau formuliert (vgl. Biochar Science Network 2010). Dieser basiert auf einer älteren Version des für das European Biochar Certificate formulierten Richtlinien (vgl. Schmidt et al. 2012). Der größte Unterschied zwischen den Richtlinien liegt darin, dass für den ökologischen Landbau nur Reststoffe aus ökologischer Landwirtschaft als Ausgangsstoffe verwendet werden dürfen (vgl. ebd.: 18f.) und dass auch Richtlinien für die Ausbringung der Pflanzenkohle erarbeitet wurden (vgl. Biochar Science Network 2010: 358f.), welche es bei den allgemeinen Richtlinien nicht gibt. Es kann festgehalten werden, dass die Richtlinien für den ökologischen Landbau eine gute Grundlage für den Einsatz von Pflanzenkohle innerhalb der regenerativen Landwirtschaft darstellen. Beispielsweise hat die Produktion der Ausgangsstoffe so zu erfolgen „[...] *dass die Biodiversität und Stabilität des landwirtschaftlichen Ökosystems gewährleistet bleibt.*“ (Ebd.: 355) Dies wird auch von den befragten ExpertInnen unterstützt, die das Funktionieren des landwirtschaftlichen Systems vor den Einsatz der Pflanzenkohle stellen. Wie das umgesetzt werden soll, wird in den Richtlinien nicht genau genannt, jedoch werden beispielsweise Methoden der Agroforstwirtschaft und des Mischfruchtanbaus empfohlen (vgl. ebd.: 355f.). Zudem wird empfohlen, den Boden dauerbewachsen oder gemulcht zu halten und minimale Bodenbearbeitung einzusetzen. Auch darf der Bodeneintrag nur nach vorheriger Nährstoffaufladung durch organische Kohlenstoffe (Kompost etc.) erfolgen. (Vgl. ebd.: 358) Mineralreiche Biomassen wie Mist oder Klärschlamm sollten eher kompostiert oder fermentiert werden, um die Nährstoffe möglichst schnell wieder pflanzenverfügbar zu machen (vgl. ebd.: 357). Auch diese Aspekte werden von den Befragten unterstützt und entsprechen den genannten Grundlagen der regenerativen Landwirtschaft. Einige Aspekte wären aus Sicht der Befragten und der zitierten Literatur jedoch noch nicht ausreichend. Beispielsweise darf die Biomasse bis zu 80km zur Pyrolyseanlage transportiert werden (vgl. ebd.: 356). Dies entspricht nicht dem Gedanken eines lokalen Kreislaufs. Auch dürfen bis zu 15% der landwirtschaftlichen Nutzflächen einer Region zur Biomasseproduktion für die Pflanzenkohleherstellung genutzt werden. Damit wäre nicht gewährleistet, dass nur Reststoffe verwendet werden, die keinen anderweitigen Nutzen mehr haben. Diese Richtlinien werden in einem fortlaufenden Prozess weiter aktualisiert und werden aufgrund der genannten politischen Rahmenbedingungen, welche den Einsatz von Pflanzenkohle stark einschränken, noch nicht angewendet.

### **8.3 Weiterer Forschungsbedarf**

Weber ist der Meinung, dass verlässliche Daten zur tatsächlichen Wirksamkeit von Pflanzenkohle fehlen. Auch laut Gampe und Koch müssten noch mehr Praxisversuche durchgeführt werden, um für verschiedene Bodenverhältnisse und verschiedene Arten von Pflanzenkohle (aus verschiedenen Ausgangsmaterialien) Aussagen treffen zu können. Vesper ist dagegen der Meinung, dass es bereits genügend wissenschaftliche Belege für die allgemeine Wirksamkeit von Pflanzenkohle gibt und dass vor allem andere Verwendungsmöglichkeiten (außer der Verwendung als Bodenhilfsstoff), sowie die genauen Details der Verwendung weiter erforscht werden müssten, beispielsweise die für den jeweiligen Zweck benötigten Mengen oder Eigenschaften der Pflanzenkohle. Laut Weber müssten solche Forschungsergebnisse anschließend verstärkt in Agrarzeitschriften bekannt gemacht werden, damit sie die potenziellen AnwenderInnen der Pflanzenkohle auch erreichen. Wie in These 9 beschrieben (s. Kapitel 4.3.1) ist noch weitere Forschung bezüglich der Adsorptionsfähigkeiten der Pflanzenkohle nötig, da diese möglicherweise zu einer gestörten Kommunikation zwischen den Pflanzen und ihren Symbiosepartnern führen kann, oder Nährstoffe so stark binden kann, dass sie für die Pflanzen nicht mehr ausreichend verfügbar sind. Diese Gefahr sieht auch Weber und wäre daher insbesondere bei starkzehrenden Kulturen vorsichtig, Pflanzenkohle einzusetzen. Außerdem gibt es noch Unsicherheiten bezüglich der Verweildauer von Pflanzenkohle im Boden (die Angaben in der Literatur schwanken stark zwischen einigen Jahrzehnten und einigen Jahrtausenden), weshalb eine vorzeitige CO<sub>2</sub>-Freisetzung ausgeschlossen werden muss (s. These 12). Auch die Auswirkungen externer Faktoren (Bodendurchlässigkeit, Feuchtigkeit, pH-Wert etc.) auf den Abbauprozess sollten weiter erforscht werden. (S. Kapitel 4.3.7)

## **9 Fazit**

Im folgenden Kapitel werden die wichtigsten Erkenntnisse zur Beantwortung der Forschungsfrage zusammengefasst. Im Anschluss werden die Methodenwahl- und Umsetzung kritisch betrachtet.

### **9.1 Zur Forschungsfrage**

In der vorliegenden Arbeit wurden die Vor- und Nachteile der Pflanzenkohleproduktion und -verwendung innerhalb der regenerativen Landwirtschaft analysiert und diskutiert. Aus dieser Diskussion ergeben sich einige Aufschlüsse darüber, inwieweit und auf welche Art und Weise Pflanzenkohle ein Bestandteil der regenerativen Landwirtschaft sein kann. Da die durchgeführte

Befragung in Form der ExpertInneninterviews nicht repräsentativ war und sich gezeigt hat, dass die Meinungen zu verschiedenen Aspekten auseinander gehen, können hier keine Handlungsvorgaben formuliert werden. Die in Kapitel 6 formulierten Thesen können ebenfalls lediglich als ein Zwischenschritt innerhalb des Arbeitsprozesses angesehen werden, da sie nicht abschließend überprüft werden konnten, teilweise in Frage gestellt, oder gar nicht von den Befragten angesprochen wurden. Daher können im Rahmen dieser Arbeit keine konkreten Handlungsempfehlungen daraus abgeleitet werden. Dennoch haben sich aus der Literaturanalyse und den Interviews einige allgemeine Erkenntnisse ergeben, welche hier zusammenfassend dargestellt werden.

Die regenerative Landwirtschaft beinhaltet verschiedene, ineinandergreifende Ziele und Prinzipien, welche zur Entwicklung verschiedener Praktiken, den jeweiligen Umständen des landwirtschaftlichen Ökosystems entsprechend, geführt haben. Dies bedeutet zunächst für die Pflanzenkohleverwendung, dass sie nicht als alleiniges Mittel zur Lösung aller landwirtschaftlicher Probleme genutzt werden kann, sondern dass sie, sofern ihre Verwendung überhaupt sinnvoll ist, in ein ganzheitliches Management-System eingebettet sein muss. Allgemein hat sich gezeigt, dass Pflanzenkohle nur in kleinen, dezentralen landwirtschaftlichen Systemen eingesetzt werden und Teil einer Abfall-Management-Strategie sein sollte. Das bedeutet, dass nur biogene Reststoffe verwendet werden sollten, die lokal anfallen und keine anderweitige Verwendungsmöglichkeit besitzen. Auf keinen Fall darf eine Konkurrenz zur Lebensmittelproduktion entstehen. Dies ist nicht nur im Sinne der Schaffung von Kreisläufen, sondern auch der Wirtschaftlichkeit, da die zentrale Produktion großindustrieller Mengen Pflanzenkohle bislang für die LandwirtInnen wirtschaftlich nicht vertretbar ist. LandwirtInnen sollten sich also, sofern sie Pflanzenkohle verwenden wollen, eine kleine Pyrolyse- Anlage anschaffen (beispielsweise den KonTiki) und diese möglichst in Kooperation mit anderen LandwirtInnen aus der Nachbarschaft verwenden, um hofeigene Reststoffe zu verwerten. Die Herkunft der Materialien, sowie der Herstellungsprozess, sollten durch das European Biochar Certificate (EBC) geregelt sein, da dies eine gute Grundlage dafür bildet, eine nicht-nachhaltige Produktion zu vermeiden. Auch die Schadstoffkontrolle sollte am besten über das EBC erfolgen, da hier effektive und einheitliche Untersuchungen durch unabhängige Labors vorgesehen sind. Dies würde bedeuten, dass jede/r HerstellerIn jeweils einmal eine Charge aus einem bestimmten Ausgangsmaterial überprüfen lassen müsste.

Die vom Biochar Science Network formulierten Richtlinien für den Einsatz von Pflanzenkohle im biologischen Anbau bieten eine gute Grundlage, sind jedoch, wie sich gezeigt hat, für die regenerative Landwirtschaft nicht ganz ausreichend (s. Kapitel 8.2).

Generell müssen alle negativen Folgen auf die Bodenfunktionen ausgeschlossen werden, bevor Pflanzenkohle eingesetzt wird, da die Ausbringung nicht rückgängig gemacht werden kann. Es sollten alle physischen und chemischen Parameter der Pflanzenkohle bekannt sein, damit sie zielgerichtet eingesetzt werden kann, da die Wirkung der Pflanzenkohle abhängig von verschiedenen Parametern sehr unterschiedlich ist. Auch dies kann weitestgehend durch das EBC gewährleistet werden.

Die Menge der eingesetzten Pflanzenkohle sollte an die verfügbare Biomasse angepasst werden. Dies sind in der Regel 1-5 Tonnen/ha, die über einen Zeitraum von möglicherweise mehreren Jahren ausgebracht werden können, ohne auf externe Ressourcen angewiesen zu sein.

Die Nährstoffaufladung erfolgt am besten durch gemeinsames Kompostieren der Pflanzenkohle mit anderen organischen Abfällen. Dabei wird die Kohle zudem mit Mikroorganismen besiedelt, die so dem Boden zugeführt werden. Im größeren Maßstab kann eine Mischung mit Komposttee sinnvoll sein, da dies schneller geht und sich im Allgemeinen so größere Mengen Substrat herstellen lassen.

Eine entscheidende Erkenntnis ist, dass eine möglichst minimale mechanische Störung des Bodens bei der Ausbringung sowohl aus wissenschaftlicher, als auch aus Praxissicht wichtig ist. Dies bedeutet, möglichst eine ständige Bodenbedeckung durch Zwischenfruchtanbau, mehrjährige Kulturen, oder Mulch zu gewährleisten und möglichst nicht tiefwendend zu pflügen. Zur Pflanzenkohleausbringung eignen sich demnach besonders ökologische Direktsaatsysteme, sowie die Wurzelapplikation. Zur Remediation kontaminierter oder stark degradierter Böden kann jedoch eine einmalige Ausbringung größerer Mengen Pflanzenkohle in Verbindung mit intensiver Bodenbearbeitung sinnvoll sein. Dies haben sowohl die Literaturanalyse als auch die ExpertInneninterviews ergeben.

Es hat sich gezeigt, dass die Pflanzenkohleverwendung in vielen Fällen überflüssig ist, wenn andere Bodenbildungspraktiken eingesetzt werden. Gerade in Deutschland lassen sich in den meisten Fällen durch andere Praktiken regenerativer Landwirtschaft genauso hohe Erträge erwirtschaften, sowie die Böden regenerieren, Wasserkreisläufe verbessern und Kohlenstoff sequestrieren. Es besteht zudem die Gefahr, dass der Einsatz von Pflanzenkohle als Universallösung LandwirtInnen davon abhält, regenerativ zu wirtschaften und sich Wissen über die Bodenprozesse anzueignen, oder dass schlecht bewirtschaftete Systeme dadurch künstlich am Leben gehalten werden. Am sinnvollsten ist eine Verwendung jedoch allgemein vermutlich bei sandigen Böden, da so die Wasserhaltekapazität erhöht und Auswaschungen reduziert werden können.

Die Produktion von Pflanzenkohle in großen konventionellen, aber auch biologischen Anbaugebieten unterstützt nach Meinung der Autorin die nicht-nachhaltige Landwirtschaft, da dieses System dadurch

möglicherweise besser und wirtschaftlicher fortgeführt werden kann. Dies sollte daher politisch nicht unterstützt werden.

Forschungsergebnisse zur Pflanzenkohleproduktion und -verwendung sollten zugänglicher für LandwirtInnen gemacht werden (beispielsweise durch Veröffentlichungen in Agrar-Fachzeitschriften) und verständlich formuliert sein, damit diese sich selbst informieren und Entscheidungen treffen können.

Die drei untersuchten Anbauweisen sind gute Beispiele für Ansätze regenerativer Landwirtschaft in Deutschland. Es wurde jedoch deutlich, dass in der Praxis nicht unbedingt sehr zwischen den beiden Anbauverbänden Bioland und Demeter unterschieden werden kann. Die jeweiligen Ansprüche an die Regeneration haben in der Praxis wenig mit dem Anbauverband zu tun, sondern vielmehr mit den Überzeugungen des jeweiligen Landwirts oder der jeweiligen Landwirtin. So gelten zwar jeweils bestimmte Regeln und Grundsätze, diese können jedoch unterschiedlich ausgelegt und umgesetzt werden, sodass der Grad der Regenerativität stark von der jeweiligen Person, dessen Wissen und praktischer Umsetzung und weniger von der Anbauweise abhängt. Die Permakultur lässt sich noch schwieriger mit den anderen beiden Anbauweisen vergleichen, da diese von ihrem ganzheitlichen Konzept als Designansatz her über die Landwirtschaft hinausgeht und beispielsweise auch soziale Regeneration als Ziel beinhaltet. Bei den anderen beiden Anbauweisen spielt dies möglicherweise auch eine Rolle, es wird aber nicht so explizit genannt.

Die Frage, auf welche Weise die mineralischen Bestandteile des Bodens innerhalb der regenerativen Landwirtschaft vermehrt werden können, bleibt weitestgehend unbeantwortet. Laut der befragten Praktiker scheint ein Mangel dieser Nährstoffe auch innerhalb der ökologischen Landwirtschaft (ohne synthetische Düngemittel) in Deutschland kein Problem zu sein und die Pflanzenverfügbarkeit kann durch die richtigen Methoden verbessert werden. Jedoch findet keine selbstständige Vermehrung innerhalb des landwirtschaftlichen Systems statt, da immer ein Austrag durch die Ernteprodukte stattfindet und nur Stickstoff aus der Atmosphäre aufgenommen werden kann. Eine Nährstoffsicherheit wird momentan in der regenerativen Landwirtschaft vor allem durch den Einsatz von Mist gewährleistet, weshalb die Tierhaltung auch ein wichtiger Bestandteil dieser ist. Häufig wird auch die Rückführung menschlicher Fäkalien innerhalb der regenerativen Landwirtschaft diskutiert. Dies wäre ein konsequenter Ansatz, da laut Definition auch der Mensch Teil des Systems ist, jedoch gehen hier vorrangig aufgrund der potenziellen Schadstoff- und Keimbelastung die Meinungen häufig auseinander.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass der Pflanzenkohleeinsatz für jede Fläche gründlich überlegt werden muss. Es müssen sowohl das Ziel der Anwendung, als auch die Eigenschaften der eingesetzten Kohle bekannt sein und ein Einsatz sollte nur in einem System erfolgen, welches bereits im Sinne der formulierten Definition regenerativ bewirtschaftet wird.

## 9.2 Methodenreflexion

Anhand der Methode des leitfadengestützten Interviews konnten die aufgestellten Thesen nicht überprüft, sondern nur diskutiert werden, da keine Repräsentativität der Befragung bestand. Hierfür hätten sehr viel mehr verschiedene Personen mit weiterem theoretischen Wissen, sowie Praxis- und Erfahrungswissen auch aus anderen Bereichen befragt werden müssen. Beispielsweise fehlte hierfür ExpertInnenwissen zur regenerativen Landwirtschaft. Eine repräsentative Befragung war im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht möglich. Dies war jedoch zuvor bekannt und die Thesen können somit als zusammenfassende Grundlage für die Diskussion angesehen werden.

Durch die Wahl der drei verschiedenen Anbauweisen konnten drei vom Ansatz her scheinbar verschiedene Praxisansätze verglichen werden, auch wenn sich gezeigt hat, dass diese sich in vielen Aspekten gar nicht so stark unterscheiden, bzw. dass die theoretische Beschreibung einer Anbauweise nicht unbedingt mit der Umsetzung in der Praxis übereinstimmen muss.

Der Leitfaden war eine gute Stütze und bot eine hilfreiche Struktur, auch wenn er während der Gespräche oft stark verändert wurde. Es konnten bei Bedarf Zusatzfragen formuliert, oder Fragen ausgelassen werden, die bereits im Laufe des Gesprächs beantwortet wurden, führte aber dazu, dass kein Thema vergessen wurde.

Der Umgang mit den ExpertInnen war locker und entspannt. Auch die beiden Interviews, die per Internet-Telefonie geführt wurden, waren entspannt und locker. Ein persönliches Gespräch wäre natürlich zu bevorzugen gewesen, war jedoch aufgrund der großen räumlichen Distanz nicht möglich und hätte vermutlich nicht zu gravierend anderen Ergebnissen geführt.

Da wie bereits erwähnt die Landwirtschaft (besonders der Ackerbau) noch männlich dominiert ist, war es leider nicht möglich, innerhalb des zeitlich begrenzten Rahmens eine bessere geschlechtliche Durchmischung zu erreichen, welche möglicherweise noch andere Perspektiven aufgezeigt hätte.

Die befragten Praktiker hatten allgemein wenig Erfahrung mit Pflanzenkohle. Bereits bei der Suche nach InterviewpartnerInnen stellte sich heraus, dass es in Deutschland noch wenig LandwirtInnen mit

praktischer Erfahrung auf dem Gebiet der Pflanzenkohle gibt. Es wurde für die geführten Interviews nicht gezielt nach Menschen mit dieser Erfahrung gesucht, da hier der Schwerpunkt darauf lag, PraktikerInnen der regenerativen Landwirtschaft zu finden. Interviews mit ExpertInnen beider Themenbereiche hätten vermutlich noch andere Meinungen und Perspektiven aufgezeigt.

## 10 Ausblick

Die interviewten ExpertInnen nennen einige Aspekte, die weiterer Forschung bedürfen, wie die tatsächliche Wirksamkeit der Pflanzenkohle bei verschiedenen Bodenverhältnissen und verschiedenen physischen und chemischen Parametern. Wie bereits in den Grundlagenkapiteln deutlich wird, wird in diesen Bereichen schon recht intensiv geforscht, jedoch wird es wohl noch lange dauern, bis viele wichtige Fragen und Details geklärt sind, da diese Dinge in ihrem Zusammenspiel sehr komplex sind.

Auf dem Gebiet der Pflanzenkohleproduktion wird auch weiter an neuen Technologien gearbeitet. Beispielsweise wird die sogenannte ‚Pyro Power Plant‘ entwickelt, welche die Pyrolyse, die Dampfreformierung und die Vergasung miteinander verbindet. Dabei kann flexibel gesteuert werden, ob beispielsweise mehr Energie erzeugt, höher konzentrierte mineralische Nährstoffe, oder allgemein mehr Kohle gewonnen wird. Dies wird maßgeblich durch die Steuerung der Temperatur erreicht. Die ganze Einheit soll auf der Ladefläche eines LKW transportiert werden können, was Möglichkeiten der lokalen Nutzung eröffnet. Beispielsweise kann die Anlage auf diese Weise vermietet werden, was Ressourcen spart, da nicht jede/r LandwirtIn eine eigene Anlage benötigt. (Vgl. Schmid 2015) Auch wird beim Schweizer Ithaka-Institut an der Teilautomatisierung des Kon-Tiki, sowie der Wärmerückgewinnung gearbeitet. Forschungsanlagen für Universitäten zur Verbesserung des Prozessverständnisses und der Prozesssteuerung wurden ebenfalls entwickelt. (Ithaka-Institut o.J.) So können die oben genannten Aspekte in Zukunft direkt an den Universitäten erforscht werden. Eine Zusammenarbeit mit LandwirtInnen ist nach Ansicht der Autorin jedoch trotzdem sinnvoll, da nur so auch eine Akzeptanz für die Methode erreicht werden kann.

Das European Biochar Certificate entwickelt sich ebenfalls weiter. Bislang wurden über 15 Betriebe in sechs Ländern zertifiziert. Laut European Biochar Foundation hat sich das EBC bereits als europäischer Industriestandard etabliert. (Vgl. European Biochar Foundation 2017: 1) *„Für die Behörden in vielen Ländern ist die EBC das Maß, an dem neue Richtlinien und Verordnungen gemessen werden. Und die neue EU - Düngemittelverordnung, die den Einsatz von Biochar ab 2018 regeln wird, folgt quasi allen Grenzwerten und Vorgaben der EBC.“* (Ebd.) Die Preise für die Zertifizierung konnten Anfang 2017 um

durchschnittlich 20% gesenkt werden. Im Preis enthalten ist nun eine sogenannte Labelgebühr, welche zukünftig einige Zertifizierungskosten decken wird. (Vgl. ebd.)

Auch im Bereich der regenerativen Landwirtschaft ist einiges in Bewegung. Anfang 2018 hat auf Schloss Tempelhof zum zweiten Mal das Symposium aufbauende Landwirtschaft stattgefunden, welches von nun an auch jährlich stattfinden soll. PraktikerInnen und Interessierte der regenerativen Landwirtschaft aus dem deutschsprachigen Raum kamen dort zu Vorträgen und Diskussionen zusammen. (Vgl. Aufbauende Landwirtschaft 2018) Vor allem international gibt es jedoch viele Entwicklungen. Die Regenerative Agriculture Initiative und Regeneration International treiben als wichtige Organisationen die Forschung und Informationsverbreitung zu allen Aspekten der regenerativen Landwirtschaft voran (vgl. Regeneration International 2017; Regenerative Agriculture Initiative/The Carbon Underground 2017). Es gibt inzwischen sogar eine Online-Plattform, welche internationale Projekte vernetzt (vgl. The Regeneration Hub 2018). Wie in Kapitel 2.5 erwähnt, wurde im Februar 2018 vom Rodale Institute ein Siegel für regenerative biologische Betriebe entwickelt. Dieses gibt es in Bronze, Silber und Gold und es beinhaltet Richtlinien für Bodengesundheit, Landmanagement, Tierwohl, sowie gerechte Bezahlung für Landwirte und ArbeiterInnen. Als empfohlene Praktiken zur Erreichung eines Siegels werden die meisten der in Kapitel 2.4 vorgestellten Praktiken genannt. Das Siegel gibt es vorerst nur in den USA. (Vgl. Rodale Institute 2018)

Zwei der befragten ExpertInnen äußern recht konkrete Vorstellungen für die Zukunft, die hier zuletzt noch kurz zusammengefasst werden sollen. Jonas Gampe meint beispielsweise, es sei kein Problem weltweit großflächig regenerative Landwirtschaft zu betreiben, nur sei dies im derzeitigen politischen System nicht gewollt und werde nicht unterstützt. Hierfür müsste wieder mehr Subsistenzwirtschaft betrieben und LandwirtInnen müssten umgeschult werden. Dies sei daher ein Prozess über viele Jahre. Susanne Veser sieht vor allem eine große Dringlichkeit darin, weltweit mit der Verwendung von Pflanzenkohle in der Landwirtschaft zu beginnen, um dem Klimawandel und dem Verlust fruchtbaren Bodens noch entgegenwirken zu können.

## **Anlagen**

Anlage I: Interviewleitfaden LandwirtInnen

Anlage II: Interviewleitfaden Pflanzenkohleproduktion

Anlage III: Transkript Interview I Jonas Gampe (auf beigefügter CD)

Anlage IV: Transkript Interview II Marten Koch (auf beigefügter CD)

Anlage V: Transkript Interview III Susanne Veser (auf beigefügter CD)

Anlage VI: Transkript Interview IV Ralf Weber (auf beigefügter CD)

## Anlage I: Interviewleitfaden PraktikerInnen

### Einstieg/Allgemein

- 1) Wie lange sind Sie schon LandwirtIn/Permakultur-PraktikerIn?
  - Waren Sie schon immer in diesem Anbauverband (Bioland oder Demeter)? (Wann) haben Sie umgestellt?
  - Als Permakultur-PraktikerIn: haben Sie vorher schon landwirtschaftlich gearbeitet?
- 2) Warum wollten Sie gerade in diesem Anbauverband sein?
  - War es eine bewusste Entscheidung oder hat es sich so ergeben?
  - Wie sind Sie zur Permakultur gekommen?

Ca. 5 Minuten

### Regenerative Landwirtschaft

- 1) Hatten Sie zuvor bereits Kontakt mit dem Begriff oder dem Konzept der regenerativen Landwirtschaft?
  - Wenn ja, in welcher Form?
- 2) Was verstehen Sie unter regenerativer Landwirtschaft?
  - Welche Prinzipien und Praktiken beinhaltet sie Ihrer Meinung nach?
  - Würden Sie der in dieser Arbeit vorgestellten Definition zustimmen?

Ca. 5-10 Minuten

### Pflanzenkohle

- 1) Haben Sie schon mit Pflanzenkohle in der Landwirtschaft gearbeitet?
  - Wenn ja, in welcher Form?

Ca. 5 Minuten

### Thesen

- 1) Ausgangsthesen
  - Welchen Thesen würden Sie zustimmen?
  - Welchen Thesen würden Sie nicht zustimmen? Warum nicht?
  - Welche Thesen sind mit den Regeln (oder Richtlinien) Ihres Anbauverbandes unvereinbar? Warum?
- 2) Vor dem Hintergrund der Ziele der regenerativen Landwirtschaft:
  - a. Welche Risiken und Hürden sehen Sie bei der Pflanzenkohleproduktion und -verwendung?
  - b. Worin sehen Sie die Vorteile der Pflanzenkohleproduktion und -verwendung?
  - c. Wie müsste Pflanzenkohle produziert werden, um ökologisch nachhaltig zu sein?
    - Woraus müsste sie hergestellt werden?
    - Können Sie etwas zu den Details des Pyrolyseprozesses sagen? (Bzw. wie müsste der Pyrolyseprozess aussehen, um eine Pflanzenkohle herzustellen, die auf bestimmte Bodenbedingungen zugeschnitten ist?)
  - d. Wie müsste Pflanzenkohle produziert werden, um wirtschaftlich zu sein?
  - e. Sollte die Pflanzenkohle vor der Ausbringung mit Nährstoffen aufgeladen werden? Wenn ja, wie und womit?

- f. Wie sollte Pflanzkohle Ihrer Meinung nach im Ackerbau verwendet werden, bzw. wie sollte sie genau ausgebracht werden?
- Pflügen oder nicht?
  - Mehrere Arbeitsgänge kombinieren?
  - Nochmal in Thesen gucken, welche Themen wichtig sind.

Ca. 30 Minuten

#### **Ausblick**

- 1) Würden Sie in Ihrem Betrieb Pflanzkohle einsetzen?
  - Wenn ja, unter welchen Bedingungen?
  - Wenn nein, warum nicht?
  - Wenn ja, woher würden Sie sie beziehen, bzw. wie würden Sie sie herstellen?
- 2) Müssen noch weitere Dinge erforscht werden, damit Pflanzkohle im Ackerbau eingesetzt werden kann? Wenn ja, welche?
- 3) Welche wichtigen Aspekte wurden Ihrer Meinung nach noch nicht genannt? (Bezüglich des Themas)

Vielen Dank für das Gespräch!

## Anlage II: Interviewleitfaden Pflanzenkohleproduktion

### Einstieg/Allgemein

- 3) Wie lange beschäftigen Sie sich schon mit Pflanzenkohle?
  - In welchem Bereich sind Sie genau tätig? (Produktion, Forschung etc.)
- 4) Warum wollten Sie gerade in diesem Bereich arbeiten?

### Fragen zur Pflanzenkohleproduktion

- Welche Biomasse sollte vorzugsweise verwendet werden? Aus welchen Quellen?
- Vom pH-Wert im Boden hängt unter anderem die Aktivität der Bodenmikroorganismen ab. Inwieweit lässt sich der pH-Wert der Pflanzenkohle bei der Produktion beeinflussen?
- Verschiedene Pyrolysetemperaturen erzeugen unterschiedliche Kohlenstoffgehalte der Pflanzenkohle. Wie leicht lässt sich diese bei den verschiedenen Produktionsmethoden beeinflussen (z.B. KonTiki, Pyreg, BIOMACON)?
- Wie leicht ist es technisch und logistisch machbar, ‚Abfälle‘ wie Nussschalen oder Steinobstkerne zu verarbeiten?
- Was halten Sie von der Pyrolyse von Klärschlamm, menschlichen Fäkalien, Gülle oder Mist?
  - Wie leicht ist dies technisch machbar?
- Was halten Sie von der Pyrolyse tierischer Abfälle wie Fell, Federn und Knochen?
  - Wie leicht ist dies technisch machbar?
- Bei welchen Produktionsmethoden lässt sich die Produktion von Pflanzenkohle mit Energieerzeugung kombinieren?
- Bei welchen Produktionsmethoden müssen die Ausgangsmaterialien standardisiert werden?
  - Welche Vor- und Nachteile hat das Ihrer Meinung nach?
- Welche Anlage ist die günstigste in Deutschland zu erwerbende, die Pflanzenkohle in EBC-Qualität produziert?
- Zentrale, großtechnische Produktionsanlagen, oder kleine, dezentrale Produktionsanlagen? Was finden Sie
  - Sinnvoller?
  - Ökologisch nachhaltiger?
  - Wirtschaftlicher?
- Können Sie zu folgender These Stellung nehmen?

*Aufgrund ihrer dauerhaften Stabilität im Boden, sowie ihrer Poren, der Oberflächengröße ihrer Partikel, sowie ihrer Adsorptionsfähigkeit, ist Pflanzenkohle möglicherweise die einzige Möglichkeit, Mineralien und organische Substanz dauerhaft im Boden zu binden.*

### Ausblick

- 4) Wie würden Sie bevorzugt Pflanzenkohle produzieren?
- 5) Welche politischen Rahmenbedingungen müssen Ihrer Meinung nach noch geschaffen werden?
- 6) Welche Dinge müssen noch weiter erforscht werden, damit Pflanzenkohle sauber und wirtschaftlich produziert werden kann?

Welche wichtigen Aspekte wurden Ihrer Meinung nach noch nicht genannt?

**Eidesstattliche Erklärung**

„Hiermit versichere ich, dass ich die Arbeit selbständig verfasst habe und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt wurden, alle Stellen der Arbeit, die wortwörtlich oder sinngemäß aus anderen Quellen übernommen wurden, als solche kenntlich gemacht wurden und die Arbeit in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner Prüfungsbehörde vorgelegen hat.“

---

(Datum, Unterschrift)

## **Danksagung**

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen bedanken, die mich im Rahmen dieser Masterarbeit begleitet und unterstützt haben.

Zunächst einmal bedanke ich mich bei meinen BetreuerInnen Prof. Dr. Sabine Hofmeister und Dr.-Ing. Florian Bellin-Harder für ihre fachliche Unterstützung, ihre konstruktive Kritik und ihre Ermutigungen im Laufe des Prozesses.

Weiterhin bedanke ich mich bei meinem Urgroßvater, den ich leider nie kennengelernt habe, für seine finanzielle Unterstützung, die mein Studium erleichtert hat.

Ein besonderer Dank gilt außerdem meinen InterviewpartnerInnen dafür, dass sie mir ihre Zeit und ihr Wissen zur Verfügung gestellt haben und für ihre offenen Worte.

Danke möchte ich außerdem meiner Familie, die mich immer wieder mit Kinderbetreuung, Ratschlägen und ermutigenden Worten unterstützt hat.

## Literaturverzeichnis

- 4 POUR 1000 (2017): Understand the "4 per 1000" initiative. Online verfügbar unter <http://4p1000.org/understand>, zuletzt geprüft am 26.06.2017.
- ADAMS, ANN (2016): What is Regenerative Agriculture? Online verfügbar unter <https://holisticmanagement.org/featured-blog-posts/what-is-regenerative-agriculture/>, zuletzt geprüft am 13.03.2017.
- AGRARBÜNDNIS E.V. (Hg.) (2016): Kritischer Agrarbericht: 2016. Konstanz.
- AGRARHEUTE (2017): Marktpreise: Mehrnährstoffdünger. Online verfügbar unter <https://www.agrarheute.com/markt/duengemittel/mehrnaehrstoffduenger>, zuletzt geprüft am 09.08.2017.
- AGROKARBO (2016): Alles Definitionssache. Online verfügbar unter <http://www.agrokarbo.info/definition-aapfco/>, zuletzt geprüft am 12.06.2017.
- ANONYMOUS (1846): Verwandlung des Sägemehls in ein gutes Düngemittel. In: *Dinglers Polytechnisches Journal* (102).
- AUFBAUENDE LANDWIRTSCHAFT (2018): Aufbauende Landwirtschaft – Boden wieder gut machen. Methoden einer regenerativen Agrarkultur. Online verfügbar unter <http://aufbauende-landwirtschaft.de/>, zuletzt geprüft am 06.03.2018.
- BATES, ALBERT (2010): The Biochar Solution. Carbon farming and climate change. Gabriola Island, Canada.
- BAUCKHOF (o. J.): Willkommen in Amelinghausen. Online verfügbar unter <https://www.bauckhof.de/de/bauckhof-amelinghausen/wir-ueber-uns/wir-ueber-uns.html>, zuletzt geprüft am 03.02.2018.
- BENCO, NANCY L.; COWAN, C. WESLEY; WATSON, PATTY JO (2006): The origins of agriculture. An international perspective. Tuscaloosa, USA.
- BESTE, ANDREAS (2016): Der Boden, von dem wir leben. Zum Zustand der Böden in Europas Landwirtschaft. In: AgrarBündnis e.V. (Hg.): Kritischer Agrarbericht: 2016. Konstanz.
- BIOCHAR SCIENCE NETWORK (2010): Richtlinien für den Einsatz von Biokohle im biologischen Anbau. In: *Ithaka Journal* (1), S. 355–359. Online verfügbar unter [http://www.ithaka-journal.net/druckversionen/biokohle\\_richtlinien\\_v2.pdf](http://www.ithaka-journal.net/druckversionen/biokohle_richtlinien_v2.pdf), zuletzt geprüft am 24.05.2017.

- BIOENERGIE-REGION MITTELHESSEN (o.J.): "Biokohle" - Brennstoff aus Biomasse. Online verfügbar unter <http://www.bioenergie-region-mittelhessen.de/projekte/biokohle-brennstoff-aus-biomasse/>, zuletzt geprüft am 12.06.2017.
- BIOLAND E. V. (2014): Sieben Prinzipien für die Landwirtschaft von morgen. Online verfügbar unter [http://www.bioland.de/fileadmin/dateien/HP\\_Dokumente/Flyer\\_und\\_Broschueren/Bioland\\_Brosch\\_A4\\_Download.pdf](http://www.bioland.de/fileadmin/dateien/HP_Dokumente/Flyer_und_Broschueren/Bioland_Brosch_A4_Download.pdf), zuletzt geprüft am 29.06.2017.
- BIOLAND E.V. (2013): Bioland-Satzung. Online verfügbar unter [http://www.bioland.de/fileadmin/dateien/HP\\_Dokumente/Allgemeine\\_Informationen/Satzung\\_2013.11.pdf](http://www.bioland.de/fileadmin/dateien/HP_Dokumente/Allgemeine_Informationen/Satzung_2013.11.pdf), zuletzt geprüft am 30.06.2017.
- BIOLAND E.V. (2017): Zahlen und Fakten. Online verfügbar unter <http://www.bioland.de/uebersichtsseiten/zahlen-und-fakten.html>, zuletzt geprüft am 11.09.2017.
- BIOLOGIE-SCHULE.DE (2017): Permakultur. Was ist Permakultur? Definition, Erklärung und Geschichte. Online verfügbar unter <http://www.biologie-schule.de/permakultur.php>, zuletzt geprüft am 12.09.2017.
- BIOMACON GMBH (2015): BIOMACON Kompaktconverter ein Werkzeug gegen den Klimawandel. Online verfügbar unter [http://www.biomacn.com/pdf/PDF/BIOMACON\\_Flyer\\_1.pdf](http://www.biomacn.com/pdf/PDF/BIOMACON_Flyer_1.pdf), zuletzt geprüft am 26.07.2017.
- BOGNER, ALEXANDER; LITTIG, BEATE; MENZ, WOLFGANG (2014): Wer ist ein Experte? Wissenssoziologische Grundlagen des Expertinneninterviews. In: Bogner, Alexander, Littig, Beate und Menz, Wolfgang (Hg.): Interviews mit Experten. Wiesbaden, S. 9–15.
- BREHM, AXEL (2009): Universität Oldenburg - Praktikum der Technischen Chemie. Adsorption. Online verfügbar unter <http://www.gmehling.chemie.uni-oldenburg.de/Praktikum/Adsorption.pdf>, zuletzt geprüft am 03.02.2018.
- BRINK, ANTJE (1988): Zusammenhänge zwischen landwirtschaftlicher Produktionsweise und Umweltqualität. In: Gödde, Hugo (Hg.): Für eine bäuerliche Landwirtschaft. Materialien zur Tagung in Bielefeld - Bethel vom 27.-30.1.1988. Kassel, S. 96–100.
- BRÜGGE, PETER (1984): Die Anthroposophen. Waldorfschulen, Biodynamischer Landbau, Ganzheitsmedizin, Kosmische Heilslehre. Reinbek.
- BRÜLL, ANJA (2015): Biomass - a renewable energy source? Sustainable complementary biomass (re)production through Landscape Quality Management. 1. Aufl. Herzogenrath.

- BÜHLER, LUKAS (2010): Biokohleerzeugung, eine Technologie mit Zukunft? Online verfügbar unter <http://www.ithaka-journal.net/1-deutsche-biokohle-symposium>, zuletzt geprüft am 26.07.2017.
- BUND ÖKOLOGISCHE LEBENSMITTELWIRTSCHAFT (2004): Regenerative Landwirtschaft ist Schlüsseltechnologie für Kohlenstoff-Festlegung. Online verfügbar unter <http://www.boelw.de/themen/zahlendatenfakten/zahlendatenfakten0/zdf-2016/oekolandbau-und-klimaschutz/>, zuletzt geprüft am 13.03.2017.
- BUNDESMINISTERIUM DER JUSTIZ UND FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ (26.05.2017): Verordnung über das Inverkehrbringen von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln. DüMV. Online verfügbar unter [https://www.gesetze-im-internet.de/d\\_mv\\_2012/BJNR248200012.html](https://www.gesetze-im-internet.de/d_mv_2012/BJNR248200012.html), zuletzt geprüft am 26.05.2017.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT (2016): Landwirtschaft verstehen. Fakten und Hintergründe. Online verfügbar unter [https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Broschueren/Landwirtschaft-verstehen.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Broschueren/Landwirtschaft-verstehen.pdf?__blob=publicationFile), zuletzt geprüft am 08.02.2018.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFTLICHE ZUSAMMENARBEIT UND ENTWICKLUNG (2016a): Bodenschutz als globales Nachhaltigkeitsziel. Online verfügbar unter [https://www.bmz.de/de/themen/boden/bodenschutz\\_international/nachhaltigkeitsziele/](https://www.bmz.de/de/themen/boden/bodenschutz_international/nachhaltigkeitsziele/), zuletzt geprüft am 03.03.2017.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFTLICHE ZUSAMMENARBEIT UND ENTWICKLUNG (2016b): Wir verlieren an Boden. Online verfügbar unter <http://www.bmz.de/de/themen/boden/hintergrund/index.html>, zuletzt geprüft am 03.03.2017.
- BUTTERFIELD, JODY; SAVORY, ALLAN; BINGHAM, SAM (2006): Holistic management handbook. Healthy land, healthy profits. Washington D.C.
- CAMBRIDGE ENGLISH DICTIONARY (2017): regenerate Meaning. Online verfügbar unter <http://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/regenerate>, zuletzt geprüft am 06.06.2017.
- CARBOCERT (2017): Kompostierungsverfahren. Online verfügbar unter <http://carbocert.com/kompostierung.html>, zuletzt geprüft am 07.02.2018.
- CESARIO, CHERYL (2017): Grazing Charts: An adaptable recordkeeping Tool. Online verfügbar unter [http://blog.uvm.edu/cvcrops/files/2017/03/Cesario\\_Chart.jpg](http://blog.uvm.edu/cvcrops/files/2017/03/Cesario_Chart.jpg), zuletzt geprüft am 01.02.2018.

- CHAN, K. YIN; XU, ZHIHONG (2010): Biochar: Nutrient Properties and Their Enhancement. In: Lehmann, Johannes und Joseph, Stephen (Hg.): Biochar for Environmental Management. Science and Technology. London [u.a.], S. 67–81.
- CORNELISSEN, GERARD; PANDIT, NABA RAJ; TAYLOR, PAUL; PANDIT, BISHNU HARI; SPARREVIK, MAGNUS; SCHMIDT, HANS PETER (2016): Emissions and Char Quality of Flame-Curtain "Kon Tiki" Kilns for Farmer-Scale Charcoal/Biochar Production. In: *PLoS one* 11 (5), 1-16.
- CREMER, HANS-DIEDRICH (1973): Justus von Liebig und die Entwicklung der Ernährungswissenschaft. In: *Gießener Universitätsblätter* (1), S. 20–45.
- CROY, VOLKER (2017): Frage zu Mineralien in der regenerativen Landwirtschaft, 05.10.2017. E-Mail an Annika Drews-Shambroom.
- CUMMINGS, STEPHEN P. (Hg.) (2010): Bioremediation. Methods and protocols. New York.
- CUMMINS, RONNIE (2017): Regeneration: The Next Stage of Organic Food and Farming—And Civilization. Online verfügbar unter <http://regenerationinternational.org/2017/05/31/regeneration-next-stage-organic-food-farming-civilization/>, zuletzt geprüft am 12.06.2017.
- DEMETER E.V. (2017a): Allgemeine Regelungen Erzeugung. Richtlinien für die Anerkennung der Demeter-Qualität (Erzeugung). Online verfügbar unter [https://www.demeter.de/sites/default/files/richtlinien/richtlinien\\_7-allgemeine-regelungen-erzeugung.pdf](https://www.demeter.de/sites/default/files/richtlinien/richtlinien_7-allgemeine-regelungen-erzeugung.pdf), zuletzt geprüft am 02.02.2018.
- DEMETER E.V. (2017b): Die Demeter Historie. Online verfügbar unter <https://www.demeter.de/verbraucher/%C3%BCber%20uns/was%20ist%20demeter/die-demeter-historie>, zuletzt geprüft am 12.06.2017.
- DOLDER, C. (2017): Kosten für einen Kon-Tiki Farm, 27.10.2017. E-Mail an Annika Drews-Shambroom.
- DOWNIE, ADRIANA; CROSKY, ALAN; MUNROE, PAUL (2010): Physical Properties of Biochar. In: Lehmann, Johannes und Joseph, Stephen (Hg.): Biochar for Environmental Management. Science and Technology. London [u.a.], S. 13–29.
- DUDEN (2017): Re-ge-ne-ra-ti-on. Rechtschreibung, Bedeutung, Definition, Synonyme, Herkunft. Online verfügbar unter <https://www.duden.de/rechtschreibung/Regeneration>, zuletzt geprüft am 23.11.2017.
- DÜNGER UND ERDE (2015): Gesteinsmehl. Online verfügbar unter <http://www.duenger-und-erde.de/zuschlagstoffe/gesteinsmehl.html>, zuletzt geprüft am 10.10.2017.

- DUNST, GERALD (2011): Humusaufbau. Chance für Landwirtschaft und Klima. 1. Aufl. Kaindorf.
- DUNST, GERALD (2017): Pflanzekohle Herstellung. Online verfügbar unter <http://www.sonnenerde.at/index.php?route=common/page&id=1254>, zuletzt geprüft am 26.07.2017.
- DZEYK, JULIAN (2017): Frage zu Mineralien in der regenerativen Landwirtschaft, 05.10.2017. E-Mail an Annika Drews-Shambroom.
- ELLIOTT, CATHERINE (2016): Carbon Farming: Fighting Climate Change with Regenerative Agriculture. Online verfügbar unter <http://matteroftrust.org/14195/carbon-farming-fighting-climate-change-with-regenerative-agriculture>, zuletzt geprüft am 25.05.2017.
- EUROPÄISCHE UNION (2007): Verordnung (EG) Nr. 834/2007 des Rates vom 28. Juni 2007 über die ökologische/biologische Produktion und die Kennzeichnung von ökologischen/biologischen Erzeugnissen und zur Aufhebung der Verordnung (EWG) Nr. 2092/91. Online verfügbar unter [http://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Landwirtschaft/OekologischerLandbau/834\\_2007\\_EG\\_Oeko-Basis-VO.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](http://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Landwirtschaft/OekologischerLandbau/834_2007_EG_Oeko-Basis-VO.pdf?__blob=publicationFile), zuletzt geprüft am 26.05.2017.
- EUROPEAN BIOCHAR CERTIFICATE (2012): Positivliste zulässiger Biomassen zur Herstellung von Pflanzekohlen. Online verfügbar unter <http://www.european-biochar.org/biochar/media/doc/1370383494539.pdf>, zuletzt geprüft am 26.10.2017.
- EUROPEAN BIOCHAR CERTIFICATE (2013): EBC-Partner-Labore für Pflanzekohle Analytik. Online verfügbar unter <http://www.european-biochar.org/de/laboratories>, zuletzt geprüft am 09.08.2017.
- EUROPEAN BIOCHAR FOUNDATION (2017): EBC Brief an die Hersteller 2017. Online verfügbar unter [http://fachverbandpflanzekohle.org/wp-content/uploads/2017/08/EBC-Brief-an-die-Hersteller\\_2017.pdf](http://fachverbandpflanzekohle.org/wp-content/uploads/2017/08/EBC-Brief-an-die-Hersteller_2017.pdf), zuletzt geprüft am 26.10.2017.
- FACHVERBAND PFLANZENKOHLE E.V. (2017a): Einsatz von Pflanzekohlen. Online verfügbar unter <http://fachverbandpflanzekohle.org/definition-pflanzekohle/einsatz-von-pflanzekohlen/>, zuletzt geprüft am 12.06.2017.
- FACHVERBAND PFLANZENKOHLE E.V. (2017b): Satzung. Online verfügbar unter <http://fachverbandpflanzekohle.org/ueber-den-fachverband/satzung/>, zuletzt geprüft am 22.12.2017.
- FEHSE, KAY-UWE (2004): Zur Sorption von Zink-Ionen an natürliche und technische Sorbentien unter Berücksichtigung des Feststoff:Lösung-Verhältnisses. Dissertation. Martin-Luther-Universität-Halle-Wittenberg, Halle. Institut für Agrartechnik und Landeskultur.

- FORSCHUNGSINSTITUT FÜR BIOLOGISCHEN LANDBAU (2016): FiBL-Produktanmeldung. Besonderheiten bei der Anmeldung für die Betriebsmittelliste 2018. Online verfügbar unter <http://www.betriebsmittelliste.ch/de/betriebsmittel/produktanmeldung.html>, zuletzt geprüft am 08.08.2017.
- FORSCHUNGSINSTITUT FÜR BIOLOGISCHEN LANDBAU (2017a): Betriebsmittelliste. Details zum Produkt Palaterra® PKS Profi-A (torffrei). Online verfügbar unter [http://www.betriebsmittelliste.de/de/bml\\_suche.html](http://www.betriebsmittelliste.de/de/bml_suche.html), zuletzt geprüft am 12.06.2017.
- FORSCHUNGSINSTITUT FÜR BIOLOGISCHEN LANDBAU (2017b): Biologisch gärtnern. Düngen. Online verfügbar unter <http://www.biologischgaertnern.de/biogarten-duengen.html>, zuletzt geprüft am 26.05.2017.
- GAMPE, JONAS (2017): Frage zu Mineralien in der regenerativen Landwirtschaft, 05.10.2017. E-Mail an Annika Drews-Shambroom.
- GAMPE, JONAS (15.12.2017): Pflanzenkohleverwendung im Ackerbau als Bestandteil regenerativer Landwirtschaft. Interview geführt von Drews-Shambroom, Annika. Skype-Interview. Interviewtranskript.
- GARATERRA (2017): Pflanzenkohle für den landwirtschaftlichen Einsatz. Beschreibung garaTerra. Online verfügbar unter <http://www.gara.de/produkte-fuer-wasserbelebung2/garatererra/beschreibung.html>, zuletzt geprüft am 12.06.2017.
- GEMEINSCHAFT TEMPELHOF (2017): Symposium Aufbauende Landwirtschaft. Boden wieder gut machen. Wege zu einer regenerativen Agrarkultur. Online verfügbar unter <http://lebensraum-permakultur.de/wp-content/uploads/2017/01/Symposium-22Aufbauende-Landwirtschaft22-ausf%C3%BChrliche-Informationen.pdf>, zuletzt geprüft am 01.03.2018.
- GERBER, HELMUT (2010): Überblick Biokohle-Technologien. In: Glaser, Bruno (Hg.): Abstractband Biochar Symposium 2010. Biochar Symposium. Bayreuth, 08.-09.07.2010. Universität Bayreuth.
- GIEßENER ANZEIGER (2015): Dr. Claudia Kammann von der JLU stellt ihre Forschungsergebnisse vor. In: *Gießener Anzeiger* 2015, 07.04.2015. Online verfügbar unter [http://www.giessener-anzeiger.de/lokales/hochschule/dr-claudia-kammann-von-der-jlu-stellt-ihre-forschungsergebnisse-vor\\_15163150.htm](http://www.giessener-anzeiger.de/lokales/hochschule/dr-claudia-kammann-von-der-jlu-stellt-ihre-forschungsergebnisse-vor_15163150.htm), zuletzt geprüft am 04.05.2017.
- GLASER, BRUNO (Hg.) (2010): Abstractband Biochar Symposium 2010. Biochar Symposium. Bayreuth, 08.-09.07.2010. Universität Bayreuth. Online verfügbar unter <http://www.bayceer.uni->

- bayreuth.de/biochar2010/de/program/5001/tagungsband\_ohne\_teilnehmerliste.pdf, zuletzt geprüft am 26.07.2017.
- GLASER, BRUNO; HAUMAIER, LUDWIG; GUGGENBERGER, GEORG; ZECH, WOLFGANG (2001): The 'Terra Preta' phenomenon. A model for sustainable agriculture in the humid tropics. In: *Naturwissenschaften* 88 (1), S. 37–41.
- GLASER, BRUNO; WOODS, WILLIAM I. (Hg.) (2010): Amazonian Dark Earths. Explorations in Space and Time. 1. Aufl. Berlin.
- GLASER, BRUNO; ZECH, WOLFGANG; WOODS, WILLIAM I. (2010): History, Current Knowledge and Future Perspectives of Geoecological Research Concerning the Origin of Amazonian Anthropogenic Dark Earths (Terra Preta). In: Glaser, Bruno und Woods, William I. (Hg.): Amazonian Dark Earths. Explorations in Space and Time. 1. Aufl. Berlin.
- GLÄSER, JOCHEN/LAUDEL, GRIT (2009): Experteninterviews und qualitative Inhaltsanalyse als Instrumente rekonstruierender Untersuchungen. 3. Aufl. Wiesbaden.
- GLÄSER, JOCHEN/LAUDEL, GRIT (2010): Experteninterviews und qualitative Inhaltsanalyse als Instrumente rekonstruierender Untersuchungen. 4. Aufl. Wiesbaden.
- GLS BANK (2015): Regenerative Landwirtschaft. Zukunftsstiftung Landwirtschaft. Online verfügbar unter <http://www.zukunftsstiftung-landwirtschaft.de/zukunftsstiftung-landwirtschaft/aktuelles/termine/regenerative-landwirtschaft/>, zuletzt geprüft am 28.02.2017.
- GOMEZ-EYLES, JOSE L.; BEESLEY, LUKE; MORENO-JIMENEZ, EDUARDO; GHOSH, UPAL; SIZMUR, TOM (2013): The Potential of Biochar Amendments to Remediate Contaminated Soils. In: Ladygina, Natalia und Rineau, Francois (Hg.): Biochar and Soil Biota. London, New York, S. 100–134.
- GORDEN, RAYMOND LOWELL (1975): Interviewing. Strategy, techniques, and tactics. 2. Aufl. London.
- GRABER, E. R.; ELAD, Y. (2013): Biochar Impact on Plant Resistance to Disease. In: Ladygina, Natalia und Rineau, Francois (Hg.): Biochar and Soil Biota. London, New York, S. 41–69.
- GRAVES, DON (2013): A Comparison of Methods to Apply Biochar into Temperate Soils. In: Ladygina, Natalia und Rineau, Francois (Hg.): Biochar and Soil Biota. London, New York, S. 202–260.
- GRAVES, DON; BAKER, C. JOHN; STOKKERMANS, THIERRY (2013): A Comparison of Conservation Tillage Methods to apply Biochar into Soils. Online verfügbar unter [https://www.researchgate.net/publication/245535985\\_A\\_COMPARISON\\_OF\\_CONSERVATION\\_TILLAGE\\_METHODS\\_TO\\_APPLY\\_BIOCHAR\\_INTO\\_SOILS](https://www.researchgate.net/publication/245535985_A_COMPARISON_OF_CONSERVATION_TILLAGE_METHODS_TO_APPLY_BIOCHAR_INTO_SOILS), zuletzt geprüft am 11.10.2017.

- GRUNWALD, ARMIN/KOPFMÜLLER, JÜRGEN (2012): Nachhaltigkeit. Eine Einführung. 2. Aufl. Frankfurt am Main.
- HAMMOND, JIM; RÖDGER, JAN-MARKUS (2013): Herstellung von Pflanzenkohle mittels Pyreg-Technologie. Online verfügbar unter <http://www.ithaka-journal.net/herstellung-von-pflanzenkohle-mittels-pyreg-technologie>, zuletzt geprüft am 26.07.2017.
- HAUBOLD-ROSAR, M.; HEINKELE, T.; RADEMACHER, A.; KERN, J.; DICKE, C.; FUNKE, A. ET AL. (2016): Chancen und Risiken des Einsatzes von Biokohle und anderer "veränderter" Biomasse als Bodenhilfsstoffe oder für die C-Sequestrierung in Böden. Hg. v. Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau. Online verfügbar unter [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte\\_04\\_2016\\_chancen\\_und\\_risiken\\_des\\_einsatzes\\_von\\_biokohle.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte_04_2016_chancen_und_risiken_des_einsatzes_von_biokohle.pdf), zuletzt geprüft am 06.06.2017.
- HELFFERICH, CORNELIA (2014): Leitfaden- und Experteninterviews. In: Baur, Nina und Blasius, Jörg (Hg.): Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung. Wiesbaden, S. 559–574.
- HOLMGREN, DAVID (2002): Permaculture. Principles and pathways beyond sustainability. Hepburn, Victoria.
- HORVATH, WILLIAM (2018): New Forest Farm - Mark Shepard. 106 Broadacre Perennial Agricultural Savannah. Online verfügbar unter <https://permacultureapprentice.com/permaculture-profiles/new-forest-farm-mark-shepard-100-acre-15-years-of-establishment/>, zuletzt geprüft am 01.02.2018.
- IFOAM (2014): The IFOAM NORMS for Organic Production and Processing. Online verfügbar unter [http://www.ifoam.bio/sites/default/files/ifoam\\_norms\\_july\\_2014\\_t.pdf](http://www.ifoam.bio/sites/default/files/ifoam_norms_july_2014_t.pdf), zuletzt geprüft am 26.05.2017.
- INGHAM, ELAINE R. (2005): The Compost Tea Brewing Manual. 5. Aufl. Corvallis, Oregon.
- INTELMAN, PETER (2016): Kartoffel-Experiment: Mulch soll die „Linda“ größer machen. Online verfügbar unter <http://www.ringstedtenhof.de/webyep-system/programm/image-detail.php?DETAIL=10-gl-Galerie-9596.jpg&ALTTEXT=%28c%29+L%FCbecker+Nachrichten&DEMOCONTENT=>, zuletzt geprüft am 02.02.2018.
- INTERNATIONAL BIOCHAR INITIATIVE (2017): Open Source Technology. Online verfügbar unter <http://www.biochar-international.org/technology/opensource>, zuletzt geprüft am 02.08.2017.

- ITHAKA-INSTITUT (o.J.): Kon-Tiki kaufen. Online verfügbar unter <http://www.ithaka-institut.org/de/ct/112>, zuletzt geprüft am 09.08.2017.
- ITHAKA-INSTITUT (2015): Kon-Tiki Anleitung. Online verfügbar unter [http://www.ithaka-institut.org/ithaka/media/doc/Kon-Tiki\\_Anleitung.pdf](http://www.ithaka-institut.org/ithaka/media/doc/Kon-Tiki_Anleitung.pdf), zuletzt geprüft am 26.10.2017.
- ITHAKA-INSTITUT (2017): Kon-Tiki - Die Demokratisierung der Pflanzenkohle-Produktion. Online verfügbar unter <http://www.ithaka-institut.org/de/ct/101>, zuletzt geprüft am 26.07.2017.
- JANKE, D. (2016): Holzkohleerzeugung in genossenschaftlicher Bürgerhand. Online verfügbar unter <http://www.altaussee-wesentlich-gesund.at/category/gegen-bodendegradation-und-klimawandel-ideen-zur-regenerativen-landwirtschaft/terra-preta-holzkohleerzeugung/>, zuletzt geprüft am 12.06.2017.
- JONES, CHRISTINE (2002): Building new topsoil. Stipa Native Grasses "Changing Landscapes" Forum. Armidale, NSW, Australia. Online verfügbar unter <http://renewablesoil.com/pdf/JONES-BuildingNewTopsoil.pdf>, zuletzt geprüft am 18.04.2017.
- JONES, CHRISTINE (2015): SOS: Save our Soils. Dr. Christine Jones Explains the Life-Giving Link Between Carbon and Healthy Topsoil. In: *ACRES - The Voice of Eco-Agriculture* 45 (3), S. 1–9. Online verfügbar unter [http://www.amazingcarbon.com/PDF/Jones\\_ACRES\\_USA%20\(March2015\).pdf](http://www.amazingcarbon.com/PDF/Jones_ACRES_USA%20(March2015).pdf), zuletzt geprüft am 12.04.2017.
- JOSEPH, STEPHEN; VAN ZWIETEN, LUKAS; CHIA, CHEE; KIMBER, S.; MUNROE, PAUL; LIN, YUN ET AL. (2013): Designing Specific Biochars to Address Soil Constraints. A Developing Industry. In: Ladygina, Natalia und Rineau, Francois (Hg.): *Biochar and Soil Biota*. London, New York, S. 165–202.
- KEHRES, BERTRAM (2011): „Biokohle“ -Perspektiven werden überschätzt. In: *H&K aktuell* (11), 1-4. Online verfügbar unter [https://www.kompost.de/fileadmin/news\\_import/Biokohle\\_\\_HuK\\_11\\_11.pdf](https://www.kompost.de/fileadmin/news_import/Biokohle__HuK_11_11.pdf), zuletzt geprüft am 26.07.2017.
- KENNEDY, DECLAN (2016): Blick zurück nach vorn. Wie die Permakultur nach Europa kam, und welche Rolle David Holmgren dabei spielte. In: *Oya* (39), S. 84–87.
- KENT, RHAMIS (2013): TERA (Tracked Earth Repair Apparatus) For Large Scale Earth Repair. Online verfügbar unter <https://permaculturenews.org/2014/07/30/tera-tracked-earth-repair-apparatus-for-large-scale-earth-repair/>, zuletzt geprüft am 21.09.2017.

- KOCH, MARTEN (22.12.2017): Pflanzkohleverwendung im Ackerbau als Bestandteil regenerativer Landwirtschaft. Interview geführt von Drews-Shambroom, Annika. Glüsing. Interviewtranskript.
- KOEPF, HERBERT H.; PETTERSSON, BO D.; SCHAUMANN, WOLFGANG (1980): Biologisch-dynamische Landwirtschaft. Eine Einführung. 3. Aufl. Stuttgart.
- KOLBE, HARTMUT (2016): Nährstoff - und Humusversorgung im Ökolandbau. Über die unterschiedlichen Entwicklungstendenzen bei der Bodenfruchtbarkeit. In: AgrarBündnis e.V. (Hg.): Kritischer Agrarbericht: 2016. Konstanz, S. 168–174.
- KORCAK, RONALD (2015): Bone Char made in Central Park, New York. Hg. v. The Biochar Journal. Online verfügbar unter <https://www.biochar-journal.org/en/ct/70-Bone-Char-made-in-Central-Park-New-York>, zuletzt geprüft am 08.08.2017.
- KREISLAUF-GÄRTEN (2017): Kreislauf-Gärten und Akademie im Grünen. Online verfügbar unter <http://www.kreislauf-gaerten.de/>, zuletzt geprüft am 22.12.2017.
- KUCKARTZ, UDO (2016): Qualitative Inhaltsanalyse. Methoden, Praxis, Computerunterstützung. 3. Aufl. Weinheim. Basel.
- KULLIK, NIKLAS (2016): Entwicklungsszenario der landwirtschaftlichen Flächennutzung durch ein Keyline Kultivierungsmuster. Die Gemeinschaft Schloss Tempelhof in Deutschland. Bachelorarbeit. Leuphana Universität Lüneburg, Lüneburg.
- LADYGINA, NATALIA; RINEAU, FRANCOIS (Hg.) (2013): Biochar and Soil Biota. London. New York.
- LEAVY, PATRICIA (2017): Research design. Quantitative, qualitative, mixed methods, arts-based, and community-based participatory research approaches. New York. London.
- LEHMANN, JOHANNES (2009): Testimony of Dr. Johannes Lehmann. Before the House Select Committee on Energy Independence and Global Warming. Online verfügbar unter [http://www.biochar-international.org/sites/default/files/Written\\_Testimony\\_Lehmann\\_final.pdf](http://www.biochar-international.org/sites/default/files/Written_Testimony_Lehmann_final.pdf), zuletzt geprüft am 26.05.2017.
- LEHMANN, JOHANNES; JOSEPH, STEPHEN (2010a): Biochar for Environmental Management. An Introduction. In: Lehmann, Johannes und Joseph, Stephen (Hg.): Biochar for Environmental Management. Science and Technology. London [u.a.], S. 1–9.
- LEHMANN, JOHANNES; JOSEPH, STEPHEN (Hg.) (2010b): Biochar for Environmental Management. Science and Technology. London [u.a.].

- LYLE, JOHN TILLMAN (1994): *Regenerative Design for Sustainable Development*. New York.
- MAJOR, JULIE; Steiner, Christoph, Downie, Adriana; LEHMANN, JOHANNES (2010): Biochar Effects on Nutrient Leaching. In: Lehmann, Johannes und Joseph, Stephen (Hg.): *Biochar for Environmental Management. Science and Technology*. London [u.a.], S. 271–282.
- MARTÍNEZ-BALLESTA, M. C.; DOMINGUEZ-PERLES, R.; MORENO, D. A.; MURIES, B.; ALCARAZ-LÓPEZ, C.; BASTÍAS, E. (2011): Minerals in Plant Food. Effect of Agricultural Practices and Role in Human Health. In: Lichtfouse, Eric, Hamelin, Marjolaine, Navarrete, Mireille und Debaeke, Philippe (Hg.): *Sustainable Agriculture Volume 2*. Dordrecht, Heidelberg, London, New York, S. 112–128.
- MASSHOLDER, FRANK (2009): Biologischer Anbau. Online verfügbar unter <https://www.lebensmittellexikon.de/b0000430.php>, zuletzt geprüft am 29.06.2017.
- MAUK, URS (2012): Pflanzenernährung durch Bodenfruchtbarkeit. Bachelorarbeit. Universität Kassel, Witzenhausen. Fachbereich Ökologische Agrarwissenschaften.
- MAZOYER, MARCEL/ROUDART, LAURENCE (2006): *A history of world agriculture. From the neolithic age to the current crisis*. New York.
- MEUSER, MICHAEL; NAGEL, ULRIKE (2009): Das Experteninterview. konzeptionelle Grundlagen und methodische Anlage. In: Pickel, Susanne, Jahn, Detlef und Lauth, Hans-Joachim (Hg.): *Methoden der vergleichenden Politik- und Sozialwissenschaft. Neue Entwicklungen und Anwendungen*. Wiesbaden, S. 465–479.
- MOESENBICHLER, CHRISTIAN (2012): Permakultur für landwirtschaftliche Flächen. In: *Permakultur Austria* (48), S. 9–11.
- MÖLLER, ANDREAS (o.J.): Biokohle. Vielfältige Eigenschaften machen verallgemeinerte Aussagen zur Wirkung auf Bodenfunktionen kaum möglich. Online verfügbar unter [https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Boden/Stoffeigenschaften/Biokohle/biokohle\\_node.html](https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Boden/Stoffeigenschaften/Biokohle/biokohle_node.html), zuletzt geprüft am 25.05.2017.
- MÖLLER, ANDREAS; HÖPER, HEINRICH (2014): Bewertung des Einsatzes von Biokohle in der Landwirtschaft aus Sicht des Bodenschutzes. Online verfügbar unter [https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Boden/Stoffeigenschaften/Biokohle/biokohle\\_node.html](https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Boden/Stoffeigenschaften/Biokohle/biokohle_node.html), zuletzt geprüft am 25.05.2017.
- MORSE, G. K.; BRETT, S. W.; GUY, J. A.; LESTER, J. N. (1998): Review. Phosphorus removal and recovery technologies. In: *The Science of The Total Environment* 212 (1), S. 69–81.
- OTT, KONRAD/DÖRING, RALF (2008): *Theorie und Praxis starker Nachhaltigkeit*. 2. Aufl. Marburg.

- OTT, KONRAD; MURACA, BARBARA; BAATZ, CHRISTIAN (2011): Strong Sustainability as a Frame for Sustainability Communication. In: Godemann, Jasmin und Michelsen, Gerd (Hg.): Sustainability Communication. Dordrecht, S. 13–25.
- PALATERRA (2017): Wir machen Boden gut. Online verfügbar unter <http://palaterra.eu/>, zuletzt geprüft am 12.06.2017.
- PANAGOS, PANOS; BORRELLI, PASQUALE; POESEN, JEAN; BALLABIO, CRISTIANO; LUGATO, EMANUELE; MEUSBURGER, KATRIN ET AL. (2015): The new assessment of soil loss by water erosion in Europe. In: *Environmental Science & Policy* 54, S. 438–447.
- PERKINS, RICHARD (2016): Making Small Farms Work. A pragmatic whole systems approach to profitable regenerative agriculture. Sunne, Schweden.
- PERMAKULTUR AUSTRIA (o.J.): Permakultur - naturnahe Gestaltung von Lebensräumen. Online verfügbar unter [http://web9.160123.vserver.de/?mdoc\\_id=1000849](http://web9.160123.vserver.de/?mdoc_id=1000849), zuletzt geprüft am 12.06.2017.
- PERMAKULTUR INSTITUT E.V. (2018): Über uns. Online verfügbar unter <https://permakultur.de/ueber-uns/>, zuletzt geprüft am 08.03.2018.
- PIELOW, HAIKO; SCHMIDT, HANS-PETER (2017): World-CharDay 2017. Online verfügbar unter <http://www.ithaka-journal.net/world-charday-2017>, zuletzt geprüft am 21.07.2017.
- PYREG (2017a): Der PYREG® 500: Der kompakte Alleskönner. Online verfügbar unter <http://www.pyreg.de/biomasse/pyreg-anlage.html>, zuletzt geprüft am 26.07.2017.
- PYREG (2017b): Pflanzenkohle kaufen. Online verfügbar unter <http://www.pyreg.de/pflanzenkohle-kaufen.html>, ZULETZT GEPRÜFT AM 28.10.2017.
- QUICKER, PETER; WEBER, KATHRIN (Hg.) (2016): Biokohle. Herstellung, Eigenschaften und Verwendung von Biomassekarbonisaten. Wiesbaden.
- RATHKE, KURT-DIETRICH; WEITBRECHT, BRITTA; KOPP, HEINZ-JOACHIM (HG.) (2002): Ökologischer Landbau und Bioprodukte. Der Ökolandbau in Recht und Praxis. München.
- REFERTIL (2014): Biochar Policy. Online verfügbar unter <http://www.refertil.info/biochar-policy>, zuletzt geprüft am 12.06.2017.
- REGENERATION INTERNATIONAL (2017): Regeneration International. Online verfügbar unter <http://regenerationinternational.org/>, zuletzt geprüft am 20.02.2017.
- REGENERATION INTERNATIONAL (23.02.2017): Companies, NGOs and Scientists Come Together Behind New Definition For “regenerative agriculture”. Online verfügbar unter

<http://regenerationinternational.org/2017/02/24/companies-ngos-scientists-come-together-behind-new-definition-regenerative-agriculture/>, zuletzt geprüft am 02.03.2017.

REGENERATIVE AGRICULTURE INITIATIVE; THE CARBON UNDERGROUND (2017): What is Regenerative Agriculture? Online verfügbar unter <http://2igmzc48tf4q88z3o24qjfl8.wpengine.netdna-cdn.com/wp-content/uploads/2017/02/Regen-Ag-Definition-2.23.17-1.pdf>, zuletzt geprüft am 02.03.2017.

REGENERATIVE AGRICULTURE UK (2017): Holistic Management Farming & Grazing. Online verfügbar unter <http://www.regenerativeagriculture.co.uk/index.php/82-methods/87-holistic-management>, zuletzt geprüft am 21.09.2017.

RIDGEDALE PERMACULTURE (2017a): Welcome to the northernmost Permaculture farm on the planet. Online verfügbar unter <http://www.ridgedalepermaculture.com/>, zuletzt geprüft am 10.08.2017.

RIDGEDALE PERMACULTURE (2017b): What is holistic management & how do you manage holistically? Online verfügbar unter <http://www.ridgedalepermaculture.com/holistic-management.html>, zuletzt geprüft am 10.08.2017.

RITTL, TATIANA FRANCISCHINELLI (2015): Challenging the claims on the potential of biochar to mitigate climate change. Dissertation. Wageningen Universität, Wageningen, Niederlande.

ROBERT, KARL-HENRIK (1991): Educating A Nation: The Natural Step. A remarkable nation-wide program unites Sweden in moving from linear to cyclic processes - the hallmark of sustainability. In: *In Context* (28), 10ff. Online verfügbar unter <http://www.context.org/iclib/ic28/robert/>, zuletzt geprüft am 08.06.2017.

RODALE INSTITUTE (2014a): Organic no-till basics. Online verfügbar unter [https://www.google.de/search?q=no+till&client=firefox-b&dcr=0&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiAnrq0xv\\_YAhVQFOWKHRxCD0YQ\\_AUIDCgD](https://www.google.de/search?q=no+till&client=firefox-b&dcr=0&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiAnrq0xv_YAhVQFOWKHRxCD0YQ_AUIDCgD), zuletzt geprüft am 30.01.2018.

RODALE INSTITUTE (2014b): Regenerative Organic Agriculture and Climate Change. A Down-to-Earth Solution to Global Warming. Online verfügbar unter <https://rodaleinstitute.org/regenerative-organic-agriculture-and-climate-change/>, zuletzt geprüft am 03.03.2017.

RODALE INSTITUTE (2015): The Farming Systems Trial. Online verfügbar unter <http://rodaleinstitute.org/assets/FST-Brochure-2015.pdf>, zuletzt geprüft am 12.06.2017.

- RODALE INSTITUTE (2018): Regenerative Organic Certification. Online verfügbar unter <https://rodaleinstitute.org/regenerativeorganic/>, zuletzt geprüft am 30.01.2018.
- RURAL AGRI-INNOVATION NETWORK (RAIN) (2017): keyline design. Online verfügbar unter [https://www.google.de/search?q=keyline+design&client=firefox-b&dcr=0&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiTuveHmLbWAhVKfxoKHeewBjcQ\\_AUI CigB#imgsrc=NWZ60QNhR1UKgM:](https://www.google.de/search?q=keyline+design&client=firefox-b&dcr=0&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiTuveHmLbWAhVKfxoKHeewBjcQ_AUI CigB#imgsrc=NWZ60QNhR1UKgM:), zuletzt geprüft am 21.09.2017.
- RUSCH, HANS-PETER (1991): Bodenfruchtbarkeit. Eine Studie biologischen Denkens. 6. Aufl. Heidelberg.
- SCHUEB, UTE; PIELOW, HAIKO; SCHMIDT, HANS-PETER; DRAPER, KATHLEEN (2016): Terra Preta. How the World's Most Fertile Soil Can Help Reverse Climate Change and Reduce World Hunger. München.
- SCHMID, MARTIN (2015): Pulpa Pyro Peru - Clean generation of biochar and energy from coffee pulp. Online verfügbar unter [http://web537.136.hosttech.eu/wordpress/wp-content/uploads/2016/03/Pulp-Pyro-Peru-final-report\\_Blaser\\_%C3%96kozentrum\\_Schmid\\_20151229.pdf](http://web537.136.hosttech.eu/wordpress/wp-content/uploads/2016/03/Pulp-Pyro-Peru-final-report_Blaser_%C3%96kozentrum_Schmid_20151229.pdf), zuletzt geprüft am 26.10.2017.
- SCHMIDT; HANS PETER; ABIVEN, SAMUEL; GLASER, BRUNO; KAMMANN, CLAUDIA; BUCHELI, THOMAS ET AL. (2012): Richtlinien für die Produktion von Pflanzenkohle. European Biochar Certificate. Online verfügbar unter <http://www.european-biochar.org/biochar/media/doc/1344950537329.pdf>, zuletzt geprüft am 01.06.2017.
- SCHMIDT, HANS-PETER (2012): 55 Uses of Biochar. In: *Ithaka-Journal für Terroirwein, Biodiversität und Klimafarming* (1), S. 286–289. Online verfügbar unter <http://www.ithaka-journal.net/druckversionen/e082012-55-uses-of-bc.pdf>, zuletzt geprüft am 12.06.2017.
- SCHMIDT, HANS-PETER (2013): Schweiz bewilligt Pflanzenkohle zur Bodenverbesserung. In: *Ithaka-Journal für Terroirwein, Biodiversität und Klimafarming*. Online verfügbar unter <http://www.ithaka-journal.net/schweiz-bewilligt-pflanzenkohle-zur-bodenverbesserung>, zuletzt geprüft am 12.06.2017.
- SCHMIDT, HANS-PETER (2016): Wurzelapplikation von Pflanzenkohle – hohe Ertragssteigerung mit wenig Pflanzenkohle. In: *Ithaka-Journal für Terroirwein, Biodiversität und Klimafarming*, S. 395–402. Online verfügbar unter <http://www.ithaka-journal.net/wurzelapplikation>, zuletzt geprüft am 24.05.2017.

- SCHOTTDORF, BERND (2010): Industrielle Produktion von Biochar. In: Glaser, Bruno (Hg.): Abstractband Biochar Symposium 2010. Biochar Symposium. Bayreuth, 08.-09.07.2010. Universität Bayreuth.
- SEIFERT, ALWIN (1971): Gärtnern, Ackern- ohne Gift. München.
- SHACKLEY, SIMON; RUYSSCHAERT, GREET; ZWART, KOR (Hg.) (2016): Biochar in European soils and agriculture. Science and practice. New York.
- SHEPARD, MARK (2013): Restoration agriculture. Real-world permaculture for farmers. Austin, Texas.
- SINGH, ABHISHEK (2017): Techniques for Regenerative Agriculture to Increase Farm Productivity and Crop Yield. Online verfügbar unter <http://www.myfarminfo.com/blog/techniques-regenerative-agriculture-increase-farm-productivity-crop-yield/>, zuletzt geprüft am 03.10.2017.
- SKIBA, CHRISTIAN (2017): Frage zu Mineralien in der regenerativen Landwirtschaft, 05.10.2017. E-Mail an Annika Drews-Shambroom.
- SMITH, PETE; BUSTAMANTE, MERCEDES (2014): Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU). In: Edenhofer, Ottmar (Hg.): Climate change 2014. Mitigation of climate change : Working Group III contribution to the Fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge.
- SOLOVIEV, ETHAN ROLAND; LANDUA, GREGORY (2016): Levels of Regenerative Agriculture. Online verfügbar unter <http://www.terra-genesis.com/wp-content/uploads/2017/03/Levels-of-Regenerative-Agriculture-1.pdf>, zuletzt geprüft am 12.04.2017.
- SONNENERDE GERALD DUNST KULTURERDEN GMBH (2017): Preisliste. Online verfügbar unter <http://www.sonnenerde.at/preisliste.1223.html>, zuletzt geprüft am 09.08.2017.
- SRU (2002): Umweltgutachten 2002. Für eine neue Vorreiterrolle. Stuttgart.
- STEINER, REGULA (2009): Spuren des Biolandbaus. Wie verschiedene Anbaumethoden in der Landschaft sichtbar werden. München.
- SULZMANN, DANIEL (2015): Pestizide satt? Die Anbaubedingungen in der südspanischen Provinz Almeria. Online verfügbar unter [http://www.deutschlandfunkkultur.de/pestizide-satt-die-anbaubedingungen-in-der-suedspanischen.979.de.html?dram:article\\_id=314750](http://www.deutschlandfunkkultur.de/pestizide-satt-die-anbaubedingungen-in-der-suedspanischen.979.de.html?dram:article_id=314750), zuletzt geprüft am 28.02.2018.

- SWISS BIOCHAR (2014): Pflanzenkohle aus Pflanzen, für Pflanzen. Online verfügbar unter <http://www.swiss-biochar.com/pflanzenkohle.php>, zuletzt geprüft am 09.08.2017.
- SYMPOSIUM AUFBAUENDE LANDWIRTSCHAFT (2017): Aufbauende Landwirtschaft. Boden wieder gut machen. Methoden einer regenerativen Agrarkultur. Online verfügbar unter <http://aufbauende-landwirtschaft.de/>, zuletzt geprüft am 12.06.2017.
- SYMPOSIUM AUFBAUENDE LANDWIRTSCHAFT (2018): Aufbauende Landwirtschaft. Boden wieder gut machen. Methoden einer regenerativen Agrarkultur. Online verfügbar unter <http://aufbauende-landwirtschaft.de/>, zuletzt geprüft am 02.02.2018.
- TERRA MAGICA (2017): Kon-Tiki. Hochwertige Pflanzenkohle - jetzt selbst herstellen! Online verfügbar unter <http://terra-magica.info/index.php/terra-magica-kontiki>, zuletzt geprüft am 26.07.2017.
- THE CARBON UNDERGROUND (2017): Definition. Online verfügbar unter <https://thecarbonunderground.org/definition/>, zuletzt geprüft am 13.03.2017.
- THE REGENERATION HUB (2018): Connecting the global regeneration movement. Discover inspiring projects and individuals. Online verfügbar unter <http://www.regenerationhub.co/en/>, zuletzt geprüft am 06.03.2018.
- THIES, JANICE E.; RILLIG, MATTHIAS C. (2010): Characteristics of Biochar. Biological Properties. In: Lehmann, Johannes und Joseph, Stephen (Hg.): Biochar for Environmental Management. Science and Technology. London [u.a.], S. 85–102.
- TOENSMEIER, ERIC/HERREN, HANS RUDOLF (2016): The carbon farming solution. A global toolkit of perennial crops and regenerative agriculture practices for climate change mitigation and food security. White River Junction, Vermont.
- TOLEDO, IÑIGO ÁLVAREZ de (2015): Regeneration von Böden und Ökosystemen. Ein Weg zur Begrenzung des Klimawandels. Grundlagen für die erforderliche Klima- und Agrarpolitik. Online verfügbar unter <http://www.db.zs-intern.de/uploads/1448956812-RegenerationBoedenOekosystemen.pdf>, zuletzt geprüft am 01.06.2017.
- ULBRICHT, AXEL (2017): Analytik von Pflanzenkohle, 10.08.2017. E-Mail an Annika Drews-Shambroom.
- UMWELTBUNDESAMT (2015): Bodenzustand in Deutschland. Zum „Internationalen Jahr des Bodens“. Online verfügbar unter [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/bodenzustand\\_in\\_deutschland\\_0.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/bodenzustand_in_deutschland_0.pdf), zuletzt geprüft am 19.01.2017.

- UMWELTBUNDESAMT (2017): Beitrag der Landwirtschaft zu den Treibhausgas-Emissionen. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/daten/land-forstwirtschaft/beitrag-der-landwirtschaft-zu-den-treibhausgas>, zuletzt geprüft am 08.12.2017.
- UMWELTINSTITUT MÜNCHEN E.V. (2014): Unterschiede zwischen der EU-Verordnung Ökologischer Landbau und den Richtlinien der Anbauverbände Bioland, Naturland und Demeter. Online verfügbar unter [http://www.umweltinstitut.org/fileadmin/Mediapool/Downloads/07\\_FAQ/Lebensmittel/vergleich\\_richtlinien.pdf](http://www.umweltinstitut.org/fileadmin/Mediapool/Downloads/07_FAQ/Lebensmittel/vergleich_richtlinien.pdf), zuletzt geprüft am 11.09.2017.
- UNFCCC (2015): Lima Paris Action Agenda. Primer. Online verfügbar unter <http://newsroom.unfccc.int/media/509508/lpaa-primer.pdf>, zuletzt geprüft am 02.02.2018.
- VAN STRAATEN, PETER (2004): Rocks for crops. Agrominerals of sub-saharan Africa. Nairobi, Südafrika.
- VAN STRAATEN, PETER (2006): Farming with rocks and minerals. Challenges and opportunities. In: *An. Acad. Bras. Ciênc.* 78 (4), S. 731–747.
- VERORA GMBH (o.J.): Bestellung. Online verfügbar unter <http://www.verora.ch/page/de/verora-pflanzenkohle/bestellung>, zuletzt geprüft am 09.08.2017.
- VESER, SUSANNE (18.01.2018): Pflanzenkohleproduktion. Interview geführt von Drews-Shambroom, Annika. Skype-Interview. Interviewtranskript.
- VOGEL, INES; WAGNER, ROBERT; WORZYG, FLORIAN; PIEPLOW, HAIKO (2011): Terra Preta. Entstehungsgeschichte, Nutzungsmöglichkeiten und Perspektiven. Online verfügbar unter [https://www.bfn.de/fileadmin/MDB/documents/themen/erneuerbareenergien/terrapreta\\_vogel.pdf](https://www.bfn.de/fileadmin/MDB/documents/themen/erneuerbareenergien/terrapreta_vogel.pdf), zuletzt geprüft am 24.07.2017.
- VOLLDÜNGER (o.J.): NPK-Werte - Erklärung und Umrechnung. Online verfügbar unter <http://www.vollduenger.com/npk-werte.php>, zuletzt geprüft am 09.08.2017.
- VON KOERBER, HELLMUT (2017a): Wie funktioniert Bodenaufbau? 4 Interviews zum Bodenaufbau, 14.03.2017. E-Mail an GLS Treuhand. Word-Dokument.
- VON KOERBER, HELLMUT (2017b): Definition Regenerative Landwirtschaft, 31.03.2017. E-Mail an FiBL - Forschungsinstitut für biologischen Landbau. Word-Dokument.
- WASSERMANN, SANDRA (2015): Das qualitative Experteninterview. In: Niederberger, Marlen und Wassermann, Sandra (Hg.): Methoden der Experten- und Stakeholdereinbindung in der sozialwissenschaftlichen Forschung. Wiesbaden, S. 51–69.

- WEBER, RALF (08.02.2018): Pflanzkohleverwendung im Ackerbau als Bestandteil regenerativer Landwirtschaft. Interview geführt von Drews-Shambroom, Annika. Amelinghausen. Interviewtranskript.
- WEBSTER, JANE; WATSON, RICHARD T. (2002): Analyzing the Past to prepare for the Future. Writing a Literature Review. In: *MIS Quarterly* 26 (2), S. xiii–xxiii.
- WEBSTER'S DICTIONARY (2017): Definition of REGENERATE. Online verfügbar unter <https://www.merriam-webster.com/dictionary/regenerate>, zuletzt geprüft am 06.06.2017.
- WENZ, FRIEDRICH (2017): Schlüsselfaktoren für optimalen Humusaufbau. Online verfügbar unter <http://www.eco-dyn.de/index.php/humusaufbau/bodenbiologie>, zuletzt geprüft am 04.10.2017.
- WHITEFIELD, PATRICK (2016): Permakultur kurz & bündig. Schritte in eine ökologische Zukunft. 5. Aufl. Kevelaer, Niederlande.
- WIEDNER, KATJA; GLASER, BRUNO (2013): Biochar-Fungi Interactions in Soil. In: Ladygina, Natalia und Rineau, Francois (Hg.): *Biochar and Soil Biota*. London, New York.
- WILSON, KELPIE (2014): Justus von Liebig and the birth of modern biochar. Hg. v. *The Biochar Journal*. Online verfügbar unter <https://www.biochar-journal.org/en/ct/5-Justus-von-Liebig-and-the-birth-of-modern-biochar>, zuletzt geprüft am 25.05.2017.
- ZIMMERMANN, ANDREW R.; GAO, BIN (2013): The Stability of Biochar in the Environment. In: Ladygina, Natalia und Rineau, Francois (Hg.): *Biochar and Soil Biota*. London, New York.
- ZUKUNFTSSTIFTUNG LANDWIRTSCHAFT (2013): Wege aus der Hungerkrise. Die Erkenntnisse und Folgen des Weltagrarberichts: Vorschläge für eine Landwirtschaft von morgen. Online verfügbar unter [http://www.weltagrarbericht.de/fileadmin/files/weltagrarbericht/Neuaufgabe/WegeausderHungerkrise\\_klein.pdf](http://www.weltagrarbericht.de/fileadmin/files/weltagrarbericht/Neuaufgabe/WegeausderHungerkrise_klein.pdf), zuletzt geprüft am 09.06.2017.