

# Ithaka-Journal

für Terroirwein, Biodiversität und Klimafarming

2009

## Biokohle im Weinbau

Dokument II

von Claudio Niggli, Hans-Peter Schmidt

S.350-372

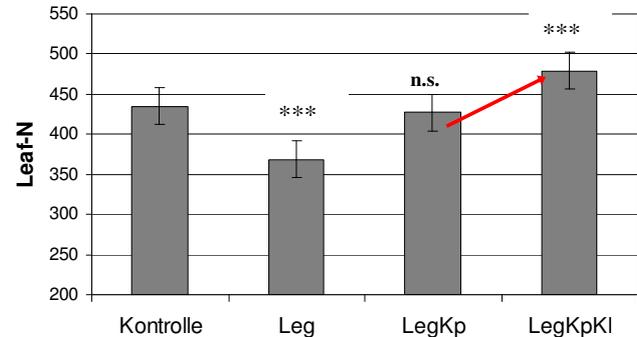
Zitierweise:

*Biokohle im Weinbau - Dokument II* von Claudio Niggli und Hans-Peter Schmidt, 2009, S.350-372, [www.ithaka-journal.net/73](http://www.ithaka-journal.net/73), ISSN 1663-0521

[www.ithaka-journal.net/73](http://www.ithaka-journal.net/73)

## Biokohle im Weinbau

Versuche am Delinat-Institut für Agrarökologie und Klimafarming



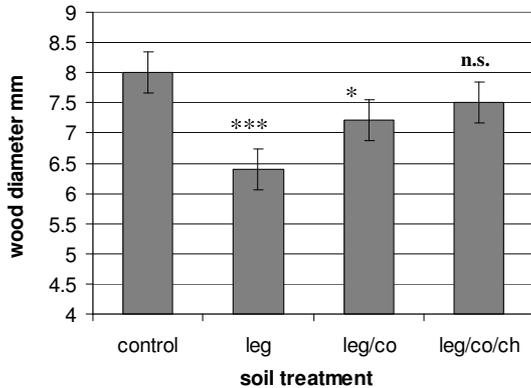
*Niggli et al. 2009*

**Abb.1** Blattstickstoff bei Pinot-Noir-Reben (12.08.09, véraison)

Leg = Leguminosenbegrünung (1.Jahr)

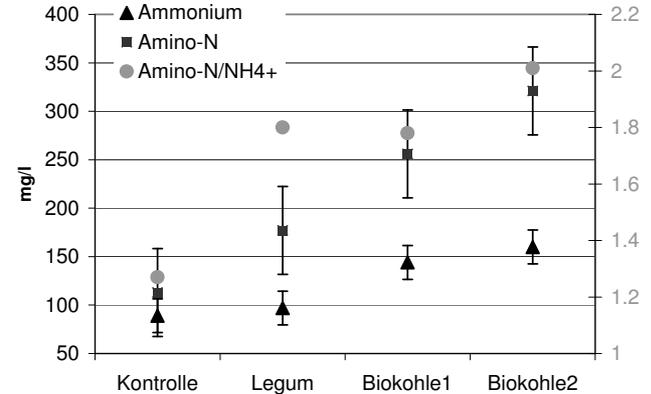
Kp = Kompost (1.Jahr) KI = Biokohle (1.Jahr)

Im Gegensatz zu Untersuchungen bei der Kuhbohne (siehe Abb. ) konnte in Versuchen mit Biokohle eine signifikante Steigerung der Stickstoffaufnahme durch Weinreben gezeigt werden. Die Biokohle wurde hierbei zwischen den Reihen in alten Pflanzungen von Pinot Noir eingebracht. Zusammen mit Kompost erweist sich Biokohle als wertvoller Bodenverbesserer im Reb-bau, welcher offenbar einen positiven Einfluss auf die Stickstoffernährung der Reben hat. Die Leguminosen-Dauerbegrünung erweist sich im 1.Standjahr noch als Stickstoffzehrer (Aufbau der Symbiose mit Bakterien), was durch Gaben von Kompost und Biokohle kompensiert wird. Die Gründüngungseffekte durch die Begrünung ohne Zusätze kommen erst ab dem 3.Jahr zu tragen, Bodenleben und Humusgehalt nehmen in dieser Zeit aber bereits kontinuierlich zu (NIGGLI et.al. 2009).



**Abb.2** Wuchskraft der Reben, gemessen am Triebdurchmesser (N = 30)  
leg: Leguminosenbegrünung, co: Kompost, ch: Biokohle

Die Wuchskraft der Reben wurde in derselben Parzelle bei verschiedenen Bodenbearbeitungsvarianten im 2.Jahr nach der Umstellung auf biologischen Anbau und Anlage der Versuchsfelder gemessen. Die Kontrollfläche wurde dabei offen gelassen, wobei sich eine spontane Flora mit geringer Deckung eingefunden hat. Die nur mit Leguminosen begrünte Variante zeigt im 2.Jahr einen Einbruch der Wuchskraft, was auf die Konkurrenz um mineralische Nährstoffreserven aus Zeiten konventionellen Anbaus zurückzuführen ist; die Fixierung von Stickstoff und die Schließung der Nährstoffkreisläufe scheint sich noch nicht etabliert zu haben. Im Vergleich dazu scheint die Wiederbelebung und Regeneration des Bodens mit Leguminosen bei Zugabe von Kompost und Biokohle beschleunigt zu werden: es ist nach zwei Jahren kein statistisch signifikanter Unterschied zur Kontrollfläche bezüglich Wuchskraft zu finden.



**Abb.3** Gehalt an Ammonium und Amino-N sowie Verhältnis Amino-N zu Ammonium (grau), in Pinot Noir Traubengut (Erntezeitpunkt)

Die Zugabe von Biokohle hat bei den untersuchten Reben zu einem erhöhten Gehalt an Aminosäuren in den Trauben geführt. Neben Kohlehydraten wie Zucker sind Aminosäuren als Teil des durch Mikroorganismen direkt assimilierbaren Stickstoffs wertvolle Nahrung für Hefen bei der Vergärung. Je mehr einfach gebaute Moleküle in pflanzlichem Gewebe vorhanden sind, umso einfacher ist dieses durch Pathogene besiedelbar und als Nahrungsgrundlage zu nutzen. Der höhere Anteil an Amino-N am löslichen Gesamt-N könnte so die Krankheitsanfälligkeit der Trauben am Stock vermindern, da Ammonium einfacher gebaut ist als Aminosäuren und durch gewisse Krankheitserreger wohl leichter verwertbar ist.

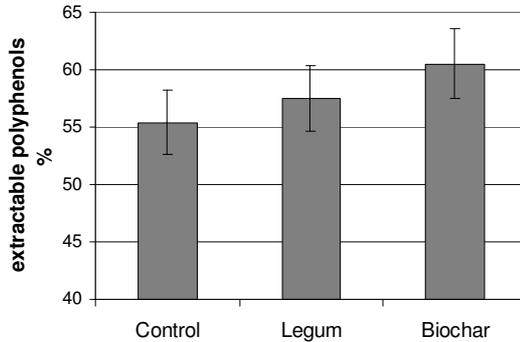


Abb.4 Gehalt an extrahierbaren Polyphenolen im Traubengut (Pinot Noir 6.Oktober 2009)

Zu den löslichen Polyphenolen gehören sowohl die **Tannine**, als auch die **Anthocyane**. Polyphenole sind antioxidativ und können deshalb im Körper eine positive Wirkung entfalten. Die Tannine sind eine wichtige Geschmackskomponente im Wein und tragen zur Haltbarkeit bei. Zu den Anthocyanen gehören verschiedene Verbindungen, welche für die Farbe des Weins verantwortlich sind. Während des Reifeprozesses der Traubenbeeren werden Polyphenol-Verbindungen synthetisiert und umgewandelt, die geschmackliche Qualität verfeinert sich. Neben dem Zuckergehalt (Oechsle-Grad) ist daher auch die sogenannte phenolische Reife von Bedeutung bei der Beurteilung der Qualität des Traubenguts. Bei der Flaschenreife verbinden sich Polyphenole und Anthocyane zu langkettigen Polymeren, was den Wein weicher macht.

## Weitere Auswirkungen von Biokohle

Zahlreiche der folgenden Studien (*Lehmann et al* und *Glaser et al*) wurden in den Tropen auf typischen Ferralsol-Böden durchgeführt, die Ergebnisse sind also nicht direkt auf mitteleuropäische Verhältnisse zu übertragen. Im Rahmen eines EU-weiten Projektes sollen in Zukunft gross angelegte Feldstudien die Effekte auf Böden der gemässigten Breiten erstmals untersucht werden.

### 1.Nährstoffgehalt

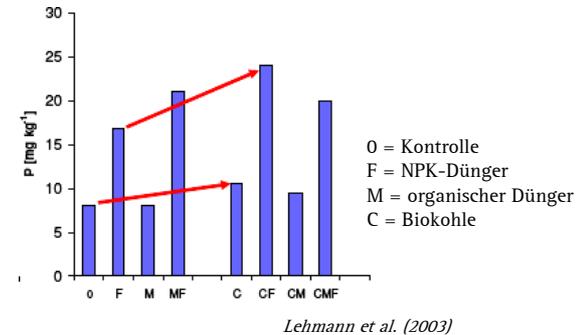
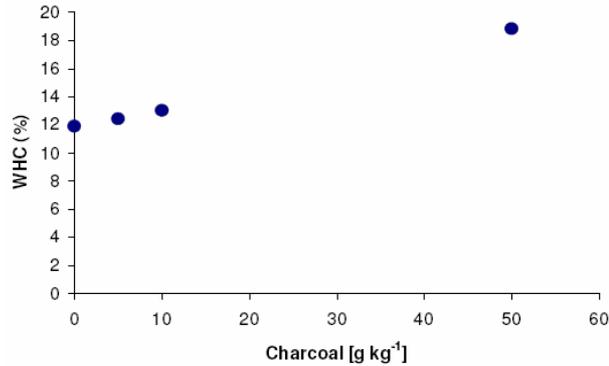


Abb.5 Phosphorgehalt im Boden

Phosphor ist neben Stickstoff ein zentral wichtiges Nährelement, welches in allen Zellen als Phosphat im Energiezyklus und als Baustein in Proteinen sowie im Erbgut DNA eine wichtige Rolle spielt. Oft ist eher die Verfügbarkeit von Phosphor und nicht diejenige von Stickstoff limitierend für das Pflanzenwachstum. Der Gehalt an Phosphor im Boden steigt durch die Zugabe von Biokohle an (Abb.6).

Auch die Konzentration von **Kalium**, einem weiteren wichtigen Nährelement, nimmt signifikant zu (LEHMANN et al. 2003).

## 2. Wasserspeicher

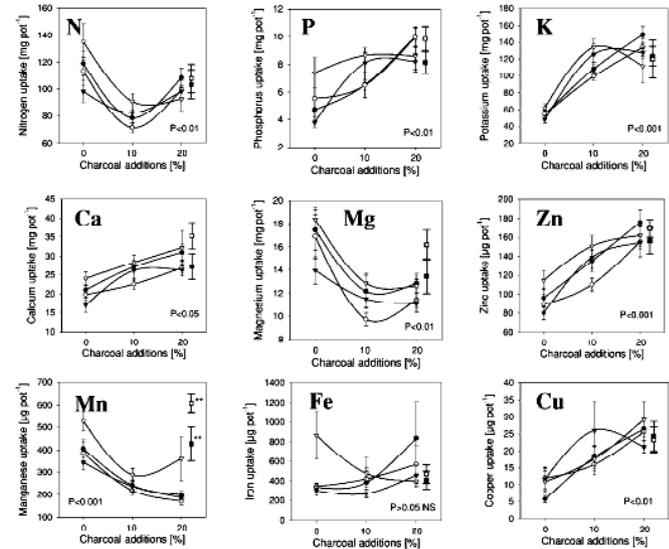


Briggs et al. (2005)

Abb.6 Wasserrückhaltekapazität in Abhängigkeit des Biokohleanteils

Immer mehr Gebiete, in denen Landwirtschaft betrieben wird, haben unter der Klimaerwärmung und ungebremstem Wasserverbrauch zu leiden. Bewässerung von landwirtschaftlichen Kulturen in ariden Gebieten verbrauchen enorme Mengen Wasser. Biokohle hat dank ihrer enormen Oberfläche und porösen Struktur je nach Ausgangsmaterial mehr oder weniger ausgeprägte Eigenschaften als Wasserspeicher. Eine ausreichende Bodenfeuchtigkeit ist nicht nur wichtig, damit die Pflanze genügend Wasser aufnehmen kann, sie ist auch Grundlage für aktives Bodenleben und eine ausreichende Nährstoffversorgung.

## 3. Nährstoffaufnahme



Lehmann et al. (2003)

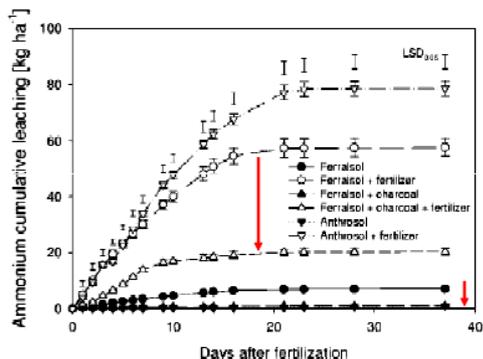
Abb.7 Nährstoffaufnahme in Abhängigkeit des Biokohle-Anteils (0%, 10% und 20% Anteil am Kultursubstrat)

Die Nährstoffaufnahme der Kulturpflanzen wird durch die Biokohle je nach Nährelement ganz unterschiedlich beeinflusst. Abb. zeigt die Aufnahme in Abhängigkeit der eingebrachten Menge Biokohle. Für Phosphor, Kalium, Calcium, Zink und Kupfer ist eine deutliche Zunahme der Aufnahme durch die Versuchspflanze Kuhbohne (*Vigna unguiculata*) zu verzeichnen. Für

Stickstoff, Phosphor, Magnesium und Mangan ist eine deutliche Verringerung der Aufnahme mit dem Biokohle-Eintrag zu verzeichnen. Die Versuche mit Reis (*Oryza sativa*) im Rahmen derselben Studie haben zu fast identischen Resultaten geführt.

Aufgrund der positiven Resultate mit Reis und Kuhbohne bei der Biomasseproduktion dürfen wir annehmen, dass die verringerte Aufnahme gewisser Elemente nicht zu einem Mangel derselben führt. Vielmehr wird offenbar der Stoffwechsel durch die Biokohle angeglichen und zu verstärktem Wachstum modifiziert.

## 4. Nährstoffauswaschung

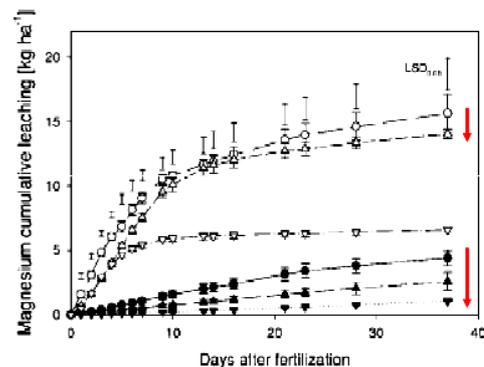


Lehmann et al. (2003)

**Abb.8** Kumulierte Auswaschung von Ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) kg/ha im Zeitverlauf (Tage nach der Zugabe von Dünger)

Die Auswaschung von Nährstoffen ist eine weit verbreitete Problematik in der Agrikultur. Es wird mehr Dünger benötigt und Grundwasser sowie Gewässer werden teilweise massiv belastet, was negative Folgen weit über die landwirtschaftliche Zone hat. Die Belastung des Grundwassers durch Nitrat ist gerade in Gebieten mit unzureichender Trinkwasseraufbereitung ein schwerwiegendes Problem.

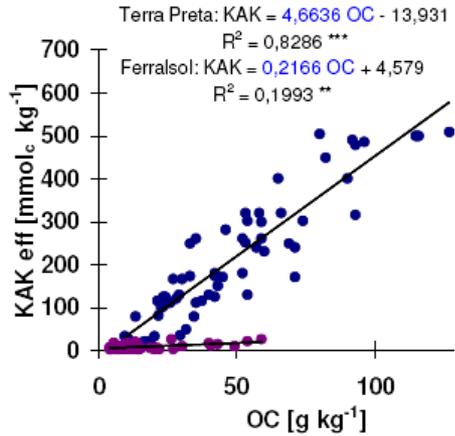
Durch Biokohle kann die Auswaschung von Ammonium und Magnesium verringert werden, was vor allem auf die besonderen Eigenschaften als Ionenaustauscher zurückzuführen ist.



Lehmann et al. (2003)

**Abb.9** Kumulierte Auswaschung von Magnesium ( $\text{Mg}^{2+}$ ) kg/ha im Zeitverlauf (Tage nach der Zugabe von Dünger)

## 5. Nährstoffspeicherung



Glaser et al (2004)

Abb.10 effektive KAK, Vergleich Terra Preta und Ferralsol

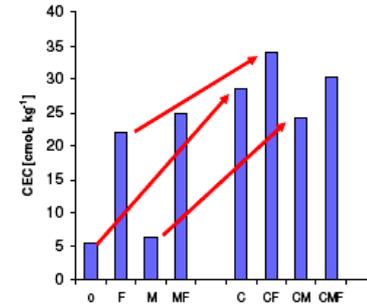
OC = Organische Substanz

**CEC = KAK = Kationenaustauschkapazität**

Bei hohem Gehalt an organischer Masse gilt:

$$KAK_{(Biokohle)} = 21 \times KAK_{(OC Ferralsol)}$$

Die **Kationenaustauschkapazität** ist das Vermögen einer Substanz, positiv geladene Teilchen vorübergehend zu binden und gegebenenfalls gegen andere auszutauschen. Je höher diese Kapazität ist, desto besser können Böden gewisse Nährstoffe speichern und vor Auswaschung ins Grundwasser bewahren. Die Pflanze kann im Wurzelbereich die gespeicherten Nährionen durch Ausscheidungen lösen und aufnehmen; eine hohe KAK ist also für gut funktionierende Nährstoffkreisläufe sehr wichtig. Durch die chemische Verwitterung sind Ferralsole nährstoffarm und haben schlechte Kationenaustauschkapazitäten. Durch Biokohle wird in der Terra Preta eine massive Verbesserung der Nährstoffspeicherfähigkeit erreicht (siehe Diagramm oben).



Lehmann et al. (2003)

Abb.11 Kationenaustauschkapazität eines Ferralsols

- 0 = Kontrolle
- F = mineralischer NPK-Dünger
- M = organischer Dünger
- C = Biokohle

## 6. Boden-pH

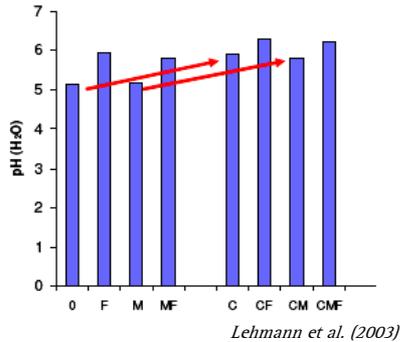


Abb.12 Boden-pH

0 = Kontrolle  
 F = mineralischer NPK-Dünger  
 M = organischer Dünger  
 C = Biokohle

Der Boden-pH ist ein entscheidender Faktor bei der Nährstoffaufnahme durch die Pflanzenwurzeln; ist der Boden zu sauer (pH unter ~5.5), sinkt die **Verfügbarkeit der Nährstoffe**. Zudem werden in ausgeprägt saurem Bodenmilieu Schwermetalle mobilisiert und können so durch die Pflanzen aufgenommen oder ins Trinkwasser ausgewaschen werden. Für die meisten Kulturpflanzen sind pH-Werte zwischen 6.3 und 6.8 optimal. Biokohle wirkt als Puffer und reguliert den Boden-pH, wodurch die Kulturpflanzen ihren Nährstoffhaushalt besser autonom steuern können.

## 7. Bodenleben

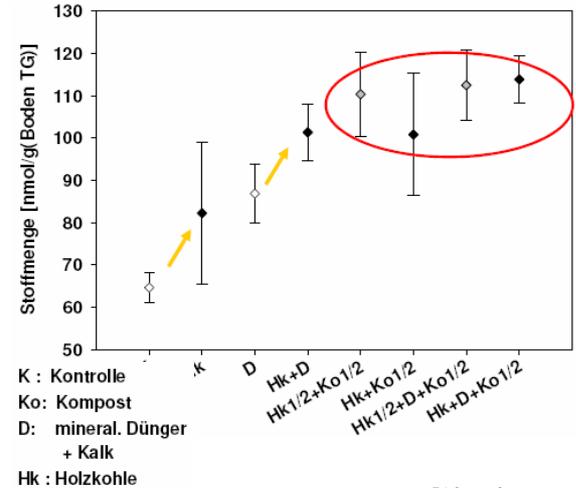
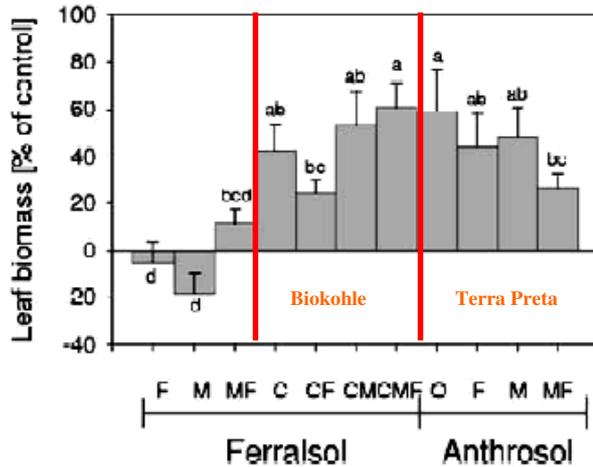


Abb.13 Mikrobielle Biomasse bei verschiedenen Bodenzusätzen

Ein reiches und gesundes Bodenleben ist eminent wichtig für den Humusaufbau und eine ausgeglichene Nährstoffversorgung der Pflanzen.

Pilze und Bakterien bilden eine wichtiges Glied bei der Umsetzung von Biomasse in pflanzenverfügbare Nährstoffe. Durch die Strukturverbesserung und die zusätzliche Oberfläche werden diese Mikroorganismen durch Biokohle gefördert. Die Oberfläche eines Gramms Biokohle beträgt etwa 300 Quadratmeter.

## 8. Pflanzenwachstum



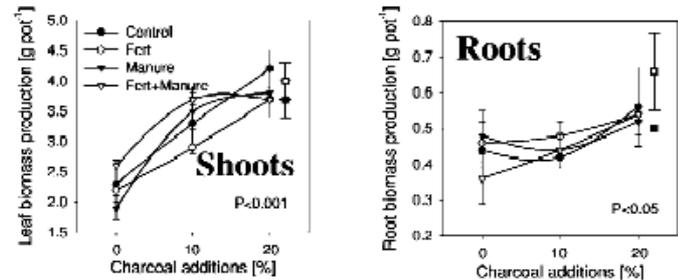
O = Kontrolle  
 F = mineralischer NPK-Dünger  
 M = organischer Dünger  
 C = Biokohle

Lehmann et al. (2003)

**Abb.14** Blattbiomasse in Abweichung zur Kontrolle (Niveau 0)  
 Kuhbohne (*Vigna unguiculata*)

Die Messung der gesamten Blattbiomasse bei Kulturpflanzen gibt Aufschluss über das Wachstum: je höher die Blattbiomasse, umso produktiver und wuchsfreudiger die Pflanze. **Ferralsole** sind meist gelbe oder rote, eisenhaltige Kaolinitböden (reich an Tonmineralen) und als Unterböden in den Tropen weltweit verbreitet.

Die untersuchten **Anthrosole** entsprechen alten, vom Mensch beeinflussten Kulturböden, die auch **Terra Preta** genannt werden. Im Vergleich zu einem unbehandelten Ferralsol (Referenz 0 auf der y-Achse) zeigen sowohl mit Biokohle behandelte Böden, wie auch die Terra Preta-Böden ein signifikant und deutlich erhöhtes Wachstum bei Kulturpflanzen der Kuhbohne (*Vigna unguiculata*). Das Wachstum der Sprosse und Wurzeln nimmt bei einem Anteil von 20 % Biokohle im Substrat im Vergleich zu 10 % noch weiter zu. Bei genügender Verfügbarkeit von Biokohle würde es sich also nicht nur mit dem Hintergedanken der C-Sequestrierung, sondern auch für die Steigerung des Ertrags lohnen, Mengen von bis zu 10 t/ha in den Boden einzuarbeiten.



Lehmann et al. (2003)

**Abb.15** Biomasseproduktion von Sprossen und Wurzeln in Abhängigkeit des Anteils Biokohle im Substrat, Kuhbohne (*Vigna unguiculata*)

## 9. Treibhausgasemission

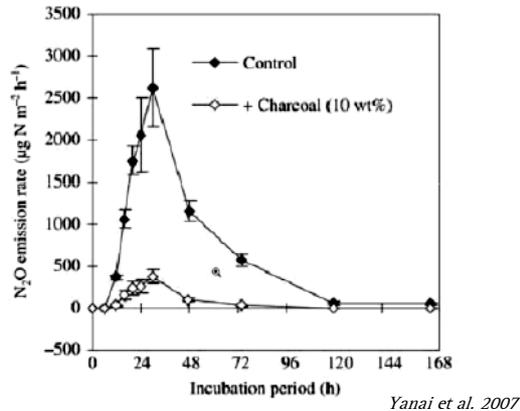


Abb.16 Lachgasemission im Zeitverlauf, 10% Biokohle im Substrat

Die Düngung von Anbauflächen ist für einen grossen Teil des Ausstosses von Distickstoffmonoxid (N<sub>2</sub>O) verantwortlich, welches einen enormen Treibhauseffekt hat. Alleine in Deutschland werden jährlich rund 74 Mt Lachgas aus solchen Pflanzenkulturen emittiert. Im Vergleich zu CO<sub>2</sub> ist es bei gleicher Konzentration 310 mal klimaschädlicher, wobei die Emissionen jedoch unter denen von Kohlendioxid liegen. Zusammen mit Methan, einem weiteren hochwirksamen Klimagas, entsprechen die gesamten Emissionen als Äquivalent umgerechnet mit Berücksichtigung der Wirkungsfaktoren einem Drittel des gesamten CO<sub>2</sub>-Ausstosses. Die Emission dieser beiden Gase kann durch Biokohle deutlich verringert werden. Auch die Methanemissionen können deutlich gesenkt werden. Die zitierte Studie (Abb.15) basiert auf Topfversuchen im Labor.

## Böden als Lebensgrundlage – Einsichten und Fakten

Veränderungen der Atmosphäre, Verlust der Artenvielfalt und Degradation fruchtbarer Böden bedrohen die Lebensgrundlagen einer wachsenden Weltbevölkerung. **Jährlich gehen derzeit durch Bodenerosion 24 Milliarden Tonnen Mutterboden und rund 41.000 km<sup>2</sup> landwirtschaftliche Anbaufläche verloren**; dies entspricht der Gesamtfläche der Schweiz.

Die Zerstörung der Böden fand bislang eine vergleichsweise geringe Beachtung. Dabei sind nach Angaben der Vereinten Nationen (UNEP) **allein in den Trockengebieten der Erde, die 40 % der Landoberfläche ausmachen, 70 % der Fläche von der Ausbreitung der Wüsten bedroht (Desertifikation)**. Die Lebensgrundlage von mehr als einer Milliarde Menschen ist gefährdet.

Managementmaßnahmen zur **nachhaltigen Nutzung der „ecosystem services“** des Bodens - wie **Bodenfruchtbarkeit, biogener Erosionsschutz, Wasserfiltration** und -speicherung, **Karbonsequestrierung** - sind zu entwickeln und umzusetzen. Dies steht im Einklang mit den völkerrechtlichen Verpflichtungen, die Deutschland mit der Unterzeichnung der Umweltkonventionen (Rio 1992) zu Biodiversität, Klima und Boden (Desertifikation) eingegangen ist.

**Bodenregeneration:** Aus für Pflanzenwachstum ungeeignetem Substrat soll mit Kompost, Bodenzuschlagstoffen wie Biokohle und anderen. mineralischen, oder organischen Wasserabsorbent und Bioaktivierung (Zusatz von Standort-typischen Pflanzensamen und Bodenorganismen) eine belebte Erde geschaffen.



Holz Kohle aus dem Jungpaläolithikum  
Alter: rund 25'000 Jahre

## Pyrolysereaktor „Pyreg 500“



Im Dezember 2009 wird der abgebildete Pyrolysereaktor in Belmont bei Lausanne regulär den Betrieb aufnehmen. Es sollen pro Jahr 500 Tonnen Biokohle produziert werden.

## Wirtschaftlichkeit – Pyreg 500

Die Delinat Ökologieforschung und der Kompostierer La Coulette werden im Dezember 2009 eine 500 KW Pyrolyseanlage in Dauerbetrieb nehmen. Im kontinuierlichen Betrieb kann diese Anlage etwa 1600 t Biomasse zu 500 t Biokohle pyrolysieren. Die Wärmeleistung liegt bei etwa 150 KW. Mit 500t Biokohle lassen sich etwa 5.000 t Kompost aktivieren, wobei eine Art Terra Preta entsteht. Die jährliche Sequestrierungsleistung liegt bei 800 t CO<sub>2</sub> pro Jahr.

Biomasse	Grünschnitt
Menge in t/a	1600
Kohle in t/a	500
Preis (300 FRS / t)	150.000
CO <sub>2</sub> -Sequestrierung	800
MWh/a (Wärme)	1275
Preis (0,05 CHF/KWh)	63.500
Einnahmen	213.000

Geht man davon aus, dass die Biomasse aus Tresterresten; Grünschnitt etc. praktisch kostenlos zur Verfügung steht und die Anlage quasi energieautonom arbeitet, sind die laufenden Kosten für den Unterhalt der Maschine relativ gering (20–23.000 CHF /a). Der Kaufpreis der Pyreg 500 Anlage beträgt ca. 450.000,00 CHF.

## Klimabilanz – Pyreg 500

Nr.	Bezeichnung Arbeitsschritt*	CO <sub>2</sub> -Emission In kg CO <sub>2</sub> / t Grüngut (tr)
1.	Bereitstellung, Ernte	2,4
2.	Transport zur Grüngutannahmestelle	2,6
3.	Aufbereitung durch Häcksler	9,4
4.	Pyrolyse - thermischer Verbrauch	1281
5.	Pyrolyse - elektrischer Verbrauch	31
6.	Transport zum Landwirt	1,2
7.	Ausbringen durch Landwirt	3
A	Summe CO <sub>2</sub> -Aufwand	1.330
B	CO <sub>2</sub> -Einlagerung Grüngut in der Wachstumsphase	1.830
C	CO <sub>2</sub> -Sequestrierung pro Tonne Grüngut	500

## Zwei Stoffströme

Durch Pyrolysierung von problematischen biologischen Abfällen wie Gülle, Klärschlamm, Methanisierungsrückständen, Schlachtabfällen, Knochenmehl etc. würde Energie und Biokohle entstehen, die allerdings zu hoch mit toxischen Stoffen verunreinigt wäre, um als Bodenverbesserer eingesetzt zu werden. Stattdessen könnte diese Biokohle aber als Vorfilter für die Klärung von Abwässern eingesetzt werden, um dann samt den gebundenen Giftstoffen in unterirdischen Endlagern dauerhaft sequestriert zu werden. Auf diese Weise gäbe es eine unbezweifelbar stabile und dauerhafte Karbonsenke und zugleich eine nachhaltige Lösung für den Problembereich kritischer biologischer Abfälle.

Man sollte bei der eventuellen Zertifizierung von Biokohle daher zumindest zwei verschiedene Stoffkreisläufe in Betracht ziehen:

1. Pyrolyse vegetative Biomasse, deren hochwertige Biokohle als Bodenverbesserer eingesetzt wird, wobei noch eine Reihe wissenschaftlicher Untersuchungen über deren Bodenverhalten durchgeführt werden muss.
2. Pyrolyse verunreinigter Abfallstoffe, deren Biokohle zunächst als Filter und sodann in innerer Endlagerung als Karbonsenke fungiert. Für diesen Prozess sind die wissenschaftlichen Grundlagen sämtlich gegeben, so dass sie eigentlich in die Zertifizierung aufgenommen werden könnten. Biokohle, die als Schadstofffilter verwendet wurde und insbesondere Schwermetalle fixiert, könnte auch sauerstoffarm verbrannt werden, wobei aus der dabei entstehenden Schlacke die Schwermetalle rezykliert werden könnten.

## Vorschläge für Bedingungen für Klimazertifizierung von Biokohle

1. Bodeneintrag nur in Mischung mit Kompost (Bodenaktivierung, Humusaufbau etc).
2. Einbringung nur in bewachsene bzw. dauerbegrünte Böden, da sonst durch Erosion die Biokohle abgebaut und zum Teil als Aerosol in die Luft gelangt.
3. Kontrolle der Bodentypen, Bewachsung, Bodenbearbeitung für effektive biologische Kohlebindung und Humusaufbau.
4. Falls Bodeneintrag nicht in Verbindung mit staubverhindernden Bindestoffen wie Kompost, Erde usw. stattfindet: Granulatgröße > 5 mm (Verhinderung von Aerosolbildung (Aerosole: 500-800 x CO<sub>2</sub> – Wirksamkeit in Atmosphäre (BOND & SUN 2005).
5. Herstellung der pyrolysierten Biomasse:
  - a. aus Reststoffen wie Hausabfälle, Gärreste, Mist, Grünschnitt, Fäkalien etc.
  - b. aus landwirtschaftlichen Rohstoffen die ohne Pestizide und Herbizide erzeugt wurden.
  - c. Reine Biomasseproduktion max. 10% der landwirtschaftlichen Nutzfläche.
  - d. Nicht aus genveränderten Pflanzen.
6. Pyrolyse Technologie:
  - a) Strenge Abgasvorschriften (insb. Stickoxyde)
  - b) Reststoffkontrolle (PAK (Teer), Schwermetalle)
  - c) C-Gehaltsbestimmung (d.h. insbesondere Abzug von Asche)
  - d) Nachhaltige Nutzung der Abwärme

## Literaturangaben

BIRK J.J., STEINER C.C., TEIXEIRA W.C., ZECH W. and GLASER B. 2009. Microbial Response to Charcoal Amendments and Fertilization of a Highly Weathered Tropical Soil. Springer Netherlands. pp309-324. ISBN 978-1-4020-9030-1.

BOND T.C. & SUN H. 2005. *Can Reducing Black Carbon Emissions Counteract Global Warming?* Environmental Science & Technology 39: 5921-5926.

BRIGGS C.M., BREINER J.M., and GRAHAM R.C. 2005. Contributions of *Pinus Ponderosa* Charcoal to Soil Chemical and Physical Properties. Poster at 2005 Soil Science Society of America Annual Meetings. Salt Lake City, UT.

GLASER B., HAUMAIER L., GUGGENBERGER G. & ZECH W. 1998. Black carbon in soils: the use of benzenecarboxylic acids as specific markers. Organic Geochemistry, 29, 811-819.

LEHMANN J., DA SILVA JR. J.P., STEINER C., NEHLS T., ZECH W. and GLASER B. 2003. Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: Fertilizer, manure and charcoal amendments. Plant and Soil, vol 249, pp343-357.

NIGGLI C., SCHMIDT H.-P., TUDOR J. 2009. Leguminosebegrünung im Weinberg - ein Zwischenbericht, Ithaka-Journal, pp269-290, www.ithaka-journal.net/62, ISSN 1663-0521.

PIETIKÄNEN J., KIIKKILA O. & FRITZE H. 2000. Charcoal as a habitat for microbes and its effect on the microbial community of the underlying humus. Oikos, vol 89, pp231-242.

YANAI Y., TOYOTA K. and OKAZANI M. 2007. Effects of charcoal addition on N<sub>2</sub>O emissions from soil resulting from rewetting air-dried soil in short-term laboratory experiments. *Soil Science and Plant Nutrition* 53, 181-188.