

# **Anforderungen an Bio-Kohle für die Verwendung als Substrat und Bodenverbesserer**

B.Sc. Volker Croy  
31.08.2011

# Inhaltsverzeichnis

1 Zusammenfassung.....	3
2 Einleitung.....	4
3 KAK / AAK.....	4
4 Porenvolumen und Porenverteilung.....	5
5 Abbaubarkeit.....	5
6 Strukturstabilität.....	6
7 pH-Wert.....	6
8 Nährstoffe .....	6
8.1 Nährstoffe, mineralisch .....	7
9 Schadstoffe.....	7
9.1 Schadstoffe, mineralisch.....	8
9.2 Schadstoffe, organisch.....	8
10 Messverfahren.....	9
Quellen.....	10

# 1 Zusammenfassung

## Anforderungen an Biokohle als Substrat oder Bodenverbesserer

**KAK:** > 5 mol<sub>C</sub> / kg Trockenmasse (TM)

**AAK:** > 5 mol<sub>C</sub> / kg TM

**Porenvolumen:** 60 - 80 % des Gesamtvolumens

**Porenverteilung:** 30 % Grobporen (10 % weit, 20 % eng) und > 60% Mittelporen

**Abbaubarkeit:** mindestens 5 Jahre stabil oder mit nur geringem Abbau

**Strukturstabilität:** hoch über die gesamte Lebensdauer, entsprechend der Abbaubarkeit

**pH-Wert:** 5,5 - 6,5

**Nährstoffe:** entsprechend Bedarf sorbiert an der Kohle, gesamte KAK und AAK belegt  
(hauptsächlich mit Ionen der Hauptnährelemente)

**Schadstoffe:** möglichst nicht sorbiert an der Kohle, sondern in ihr befindlich, gesamt:

AOX	< 500 mg / kg TM,
PAK	< 6 mg / kg TM,
PCB	< 1 mg / kg TM,
Dioxin	< 50 mg / kg TM,
Phenol	so wenig wie möglich,
Selen	< 1 mg / kg TM,
Thallium	< 0,5 mg / kg TM,
Vanadium	< 50 mg / kg TM,
Chrom (VI)	< 2 mg / kg TM

pH-Wert-abhängige Schadstoffe (Minimum bei pH < 5,5 Maximum bei pH < 6,5):

Blei	< 50...100 mg / kg TM,
Cadmium	< 0,5...1,5 mg / kg TM,
Chrom	< 50...100 mg / kg TM,
Kupfer	< 40...200 mg / kg TM,
Nickel	< 100...200 mg / kg TM,
Quecksilber	< 0,2...1 mg / kg TM,
Zink	<100...200 mg / kg TM

## 2 Einleitung

Das Ziel dieser Schrift ist es, die gewünschten Eigenschaften von Bio-Kohle (egal ob aus Pyrolyse oder hydrothermalen Karbonisierung) für den Pflanzenbau festzulegen.

Die Werte stammen aus einschlägiger Fachliteratur und sind hauptsächlich an Humus oder Schluff angelehnt.

Dies ist ein Wunschzettel der wahrscheinlich nicht vollständig eingehalten werden kann. Er verschafft allerdings einen Überblick und die Bio-Kohle die diese Werte einhält, kann wahrscheinlich gefahrlos im Pflanzenbau verwendet werden. Die Schadstoffgrenzwerte sind jedoch die gesetzlich festgelegten Grenzen, die es einzuhalten oder zu unterschreiten gilt.

Sollten die Werte von Porenvolumen, KAK und AAK unter den angegebenen Werten liegen, ist die Haltbarkeit sehr wichtig. Ist diese ebenfalls unter den erwünschten Werten, sollte auf die Verwendung von Biokohle verzichtet und auf Humus zurückgegriffen werden. Dieser entsteht bei der Verrottung von organischem Material "von allein" und ohne aufwendige technische Verfahren, hat aber die angegebenen Werte.

Diese Schrift soll vor allem als Verständigungs- und Diskussionsgrundlage fungieren.

## 3 KAK / AAK

Die Kationenaustauschkapazität gehört zu den wichtigsten Eigenschaften eines Substrates / Bodenverbessers, sie begrenzt wieviel Nährstoffkationen die Substanz zwischenspeichern und vor Auswaschung und anderen Verlusten schützen kann. Eine KAK, die gutem Humus entspricht, liegt bei  $5 \text{ mol}_c / \text{kg}$  Trockenmasse. Ein solcher Wert ist für Biokohle anzustreben oder zu überbieten.

Die Anionenaustauschkapazität ist vor allem auf sauren Böden von Bedeutung (Blume, et. al., 2010). Sie verhindert analog zur KAK die Auswaschung von Nährstoffanionen. Auch hier bei der AAK wäre ein Wert von wenigstens  $5 \text{ mol}_c / \text{kg}$  anzustreben.

## 4 Porenvolumen und Porenverteilung

Das Porenvolumen beschreibt den Anteil von luft- oder wasserführenden Poren am Gesamtvolumen. Es sollte zwischen dem von Hochmoortorf und Schluff liegen. Ein anzustrebendes Porenvolumen wären 60 - 80 % des Gesamtvolumens.

Die Porenverteilung ist wichtig. Dabei sollten die weiten Grobporen (Größe > 50 µm; pF > 1,8; Saugspannung > -60 hPa) 10 %, die engen Grobporen (Größe 50...10 µm; pF 1,8...2,5; Saugspannung -60...-300 hPa) 20 % und die Mittelporen (Größe 10...0,2 µm; pF 2,5...4,2; Saugspannung -300...-15000 hPa) die restlichen Poren ausmachen. Das in den Feinporen, deren Werte unter denen der Mittelporen liegen, gespeicherte Wasser kann nicht vom Bodenleben verwendet werden. Deshalb sollte diese Porengröße vermieden werden beziehungsweise unter 10 % des Gesamtporenvolumens liegen.

Diese Werte sind, an gängigen Bodenbestandteilen orientiert (Lehrbuch der Bodenkunde, Blume, et. al., 2010), festgelegt.

## 5 Abbaubarkeit

Die Abbaubarkeit durch das Bodenleben muss sich nach der angestrebten Verwendung orientieren. Sie sollte allerdings bei Substraten und Bodenstabilisatoren eher gering ausfallen, so dass die Bio-Kohle lange (über mehrere Jahre bis Jahrzehnte) ihre Eigenschaften behält. Angestrebt wird, dass die Kohle für wenigstens 5 Jahre bei mitteleuropäischen Klima nicht abgebaut wird, ideal wären mehrere Jahrzehnte in denen sie ihre Eigenschaften nicht verliert.

Die abbaubaren Bestandteile sollten ein C/N-Verhältnis von weniger als 35:1 besitzen um nicht den für die Pflanzen wichtigen Stickstoff festzulegen.

Auch schnell abbaubare Verbindungen (innerhalb von wenigen Wochen) sollten nicht in großer Menge vorhanden sein, um einen Sauerstoffmangel in der Bodenlösung zu vermeiden.

Ein genormtes Verfahren zur Abbaubarkeitsbestimmung muss noch festgelegt werden.

## **6 Strukturstabilität**

Strukturstabilität bedeutet, dass sich die Porenverteilung trotz Änderung des Wassergehaltes der Bio-Kohle nicht ändert.

Also dass bei Wassersättigung und anschließender Austrocknung keine Verschlammung oder Krustenbildung einsetzt.

Auch sollte eine gewisse Widerstandsfähigkeit der Porenverteilung gegen mechanische Belastung (zum Beispiel durch Überfahrten bei der Bearbeitung) gegeben sein.

Diese Stabilität muss, je nach Verwendung, über mehrere Jahre bis Jahrzehnte gegeben sein.

## **7 pH-Wert**

Der für die Pflanzen wichtige pH-Wert (negativer dekadischer Logarithmus der Hydroniumionen in der Bodenlösung) eines Bodens ist von der Bodenart und dem Humusgehalt abhängig.

Eine gute Spannbreite mit einer ausreichenden Verfügbarkeit von Pflanzennährstoffen liegt zwischen pH 5,5 und 6,5. (Blume et. al. 2010) Diese Spannbreite sollte auch in der Bio-Kohle eingehalten werden.

## **8 Nährstoffe**

Idealerweise enthält die Kohle keine Pflanzennährstoffe, diese sollten nur für die Pflanzen verfügbar an den Austauschplätzen angelagert sein.

Sollte die Kohle doch Pflanzennährstoffe enthalten, müssen sie in den rasch abbaubaren (wenn vorhanden) Bestandteilen der Kohle enthalten sein, um schnell mobilisiert zu werden. Langfristig in der Kohle festgelegte Nährstoffe sind zu vermeiden, da sie zwar bei den Düngebilanzen und Düngegrenzen beachtet werden, aber nicht den Pflanzen zu Gute kommen.

## 8.1 Nährstoffe, mineralisch

Pflanzennährstoffe sind:

die Hauptnährstoffe und ihre pflanzenverfügbaren Ionen

Stickstoff als $\text{NH}_4^+$ und $\text{NO}_3^-$	Gehalt in der Pflanze: 2 - 5 %
Phosphor als $\text{HPO}_4^{2-}$ und $\text{H}_2\text{PO}_4^-$	Gehalt in der Pflanze: 0,1 - 0,5 %
Kalium als $\text{K}^+$	Gehalt in der Pflanze: 1 - 5 %
Magnesium als $\text{Mg}^{2+}$	Gehalt in der Pflanze: 0,1 - 1 %
Schwefel als $\text{SO}_4^{2-}$	Gehalt in der Pflanze: 0,1 - 0,5 %
Calcium als $\text{Ca}^{2+}$	Gehalt in der Pflanze: 0,5 - 5 %

Die Spurenelemente: Gehalt in der Pflanze: < 0,05 %

Eisen (Fe), Bor (B), Mangan (Mn), Molybdän (Mo), Zink (Zn), Kupfer (Cu), Chlor (Cl), Nickel (Ni)

pflanzenverfügbar als ihre gelösten Salze

## 9 Schadstoffe

Für die Pflanzen und das Bodenleben schädliche Stoffe dürfen nicht oder nur in geringen Mengen in der Bio-Kohle enthalten sein.

Es wäre von Vorteil, wenn die vorhandenen anorganischen Schadstoffe nicht mineralisierbar und nicht pflanzen-verfügbar in der Kohle gebunden wären.

Alle Grenzwerte sind aus aktuellen Gesetzen entnommen und dürfen nicht überschritten werden, da die Bio-Kohle sonst nicht eingesetzt werden darf.

Bei Änderungen der entsprechenden Gesetze sind die Werte zu überprüfen und gegebenenfalls zu korrigieren.

### **9.1 Schadstoffe, mineralisch**

Grenzwerte für schädliche Elemente nach Klärschlamm- und Kompostverordnung (LGBl. Nr. 74/2000) und Düngemittelverordnung (DüMV) der Bundesrepublik Deutschland, angegeben in mg pro kg Trockenmasse.

	<b>pH &lt; 5,5</b>	<b>pH 5,5 - 6,5</b>	<b>pH &gt; 6,5</b>
Blei	50	70	100 mg / kg TM
Cadmium	0,5	1	1,5mg / kg TM
Chrom	50	75	100 mg / kg TM
Kupfer	40	50	200 mg / kg TM
Nickel	100	150	200 mg / kg TM
Quecksilber	0,2	0,5	1 mg / kg TM
Zink	100	150	200 mg / kg TM
Selen	1	1	1 mg / kg TM
Thallium	0,5	0,5	0,5 mg / kg TM
Vanadium	50	50	50 mg / kg TM
Chrom (VI)	2	2	2 mg / kg TM

### **9.2 Schadstoffe, organisch**

Grenzwerte für schädliche Stoffe nach Klärschlamm- und Kompostverordnung (LGBl. Nr. 74/2000) und Düngemittelverordnung (DüMV) der Bundesrepublik Deutschland, angegeben in mg pro kg Trockenmasse.

AOX (adsorbierbare organisch gebundene Halogene: Chlor, Brom, Jod)	< 500 mg / kg TM
PAK (Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe)	< 6 mg / kg TM
PCB (Polychlorierte Biphenyle)	< 1 mg / kg TM
Dioxin	< 50 mg / kg TM

Phenol ist allgemein keimhemmend, deshalb so wenig wie möglich, genauere Untersuchung zur Bestimmung von Grenzwerten sind noch notwendig.

# 10 Messverfahren

Beprobung, sowie Messung von pH-Wert und Schwermetallen laut:

Verordnung über die Verwertung von Bioabfällen auf landwirtschaftlich, forstwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Böden. vom 21. September 1998, Anhang 3: Vorgaben zur Analytik (Probenahme, Probevorbereitung und Untersuchung von unbehandelten und behandelten Bioabfällen).

Messung der löslichen Pflanzennährstoffe laut:

Verordnung (EG) Nr. 2003/2003 des europäischen Parlaments und des Rates, vom 13. Oktober 2003, über Düngemittel; Anhang IV Probenahme und Analysemethoden

Messung der Bestandteile in der Kohle durch:

gängige Brennstoffanalyse, muss für Bio-Kohle noch festgelegt und standardisiert werden

Kationen- / Anionenaustauschkapazität:

laut: Bodenkunde: Untersuchungsmethoden und ihre Anwendungen, Rowell 1994

Abbaubarkeit:

Kompostiersuch, kein Standardversuch vorhanden; muss noch genau festgelegt werden.

Strukturstabilität:

kein Standardversuch vorhanden; muss noch genau festgelegt werden

Messung des Porenvolumens:

VHW-Methode (Isler, S. et. al., 2010)

# Quellen

Anonymus a, 1998: Verordnung über die Verwertung von Bioabfällen auf landwirtschaftlich, forstwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Böden (Bioabfallverordnung - BioAbfV). vom 21. September 1998

Anonymus b, 2009: Informationen über das Inverkehrbringen von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln.

Anonymus c, Umweltbundesamt (Hrsg.), 2003: Zulässige Grenzwerte (Richtwerte) für Schadstoffe in Klärschlamm und Boden.

Anonymus d, 2003: Verordnung (EG) Nr. 2003/2003 des europäischen Parlaments und des Rates, vom 13. Oktober 2003, über Düngemittel

Anonymus e, 2000: Klärschlamm- und Kompostverordnung.

Anonymus f, 2008: Düngemittelverordnung.

Blume, H.-P., Brummer, G. W., Horn, R., Kandeler, E., Kogel-Knabner, I., Kretzschmar, R., Stahr, K., Wilke, B.-M., 2010: Scheffer/Schachtschabel Lehrbuch der Bodenkunde. 16. Auflage

Isler, S., Luzius, M., Buchter, B., 2010: Grobporenbestimmung – Verfahrensoptimierung für den Vollzug. Fachstelle Bodenschutz Kanton Zürich, Amt für Landschaft und Natur

Rowell, D. L., 1994: Bodenkunde: Untersuchungsmethoden und ihre Anwendungen.