



Einfluss der pflanzlichen Diversität auf die Speicherung von Kohlenstoff in tieferen Bodenschichten

Bachelorarbeit

vorgelegt an der Fachhochschule Jena
Fachbereich Medizintechnik/ Biotechnologie
Studiengang Biotechnologie

Hochschulbetreuer: Prof. Dr. Johanna Hopp

Betreuer Institut: Prof. Dr. Gerd Gleixner

Bearbeitet von: Stefan Schlieter

Matrikelnummer: 632290

Studiengang: Biotechnologie

Abgabedatum: 31.08.2012

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	II
Abbildungsverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis.....	III
1 Einleitung.....	1
1.1 Allgemein.....	1
1.2 Speicherung von Kohlenstoff in Böden	2
1.3 Pflughorizont	3
2 Material und Methoden	5
2.1 Das Jena Experiment	5
2.2 Probenahme und Aufarbeitung	7
2.3 Analyse der Bodenproben.....	8
3 Ergebnisse und Diskussion	10
3.1 Elementaranalyse.....	10
3.2 Pflanzliche Diversität	13
3.2.1 Biomasse	13
3.2.2 C-org.....	14
3.3 Entwicklung seit 2002	15
4 Schlussfolgerung	18
Literaturverzeichnis.....	IV
Anlage	IV

Darstellungsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Poolgrößen von Kohlenstoff in Gt.....	1
Abbildung 2: Konzeptionelles Modell der organischen Bodensubstanz (SOM).	2
Abbildung 3: Versuchsfläche des Jena Experiments	5
Abbildung 4: Massenanteil an Gesamtkohlenstoff und organischen Kohlenstoff 2012 im Plotschema.....	10
Abbildung 5: Organischer Kohlenstoff in Abhängigkeit des Tongehaltes	11
Abbildung 6: Organischer Kohlenstoff in Abhängigkeit des Sand- und Schluffgehalts	12
Abbildung 7: Durchschnittlich geerntete Biomasse mit steigender Artenzahl	13
Abbildung 8: Organischer Kohlenstoff mit steigender Biomasse.....	14
Abbildung 9: Massenanteil an organischem Kohlenstoff der Bodenproben bei steigender Artenzahl.....	15
Abbildung 10: Differenz des Gesamtkohlenstoffs 2012 zu 2002 bei steigender Artenzahl	16
Abbildung 11: Differenz an organischem Kohlenstoff 2012 zu 2002 mit steigenden funktionellen Gruppen und Artenzahl	17

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Diversitätsgradient auf den jeweiligen Plots	6
Tabelle 2: Korngrößen der Texturfraktionen ¹⁴	11

1 Einleitung

1.1 Allgemein

Ein bekanntlich immer zentraler werdendes Problem der heutigen Umweltwissenschaften beschäftigt sich mit dem Anstieg der CO₂-Konzentration in der Atmosphäre. Dieser resultiert vor allem aus der anthropogen verursachten Ausstoßung dieses klimarelevanten Gases. Hierbei kommt es durch den Treibhauseffekt zu einer globalen Erwärmung mit massiven Folgen für unsere Natur und Umwelt.¹ Verschiedenste Möglichkeiten zur Reduzierung der Emissionen werden in Politik und Wissenschaft fleißig diskutiert. Aber auch das Schaffen von CO₂-Senken spielt dabei eine wichtige Rolle (vergl. Ergänzung Kyoto-Protokoll 1998). Ein umfassendes Verständnis der Kohlenstoffkreisläufe und seiner Bedingungen ist für diesen Ansatz unabdingbar. Eine nähere Betrachtung der Kohlenstoffmengen in unterschiedlichen Sphären zeigt, dass der Boden, als zentrale Komponente der terrestrischen Ökosysteme, ein enormes Speicherpotential besitzt. Denn Böden enthalten mit ca. 1600Gt (Gigatonne ,1*10⁹ t) den größten Teil des organisch gebundenen Kohlenstoffs der festen Landoberfläche (siehe Abbildung 1). Das ist mehr, als die Atmosphäre (ca. 750Gt) und die Biomasse der Landpflanzen (ca. 600Gt) zusammen enthalten.²



Abbildung 1: Poolgrößen von Kohlenstoff in Gt.³

¹ Vgl. Houghton et al. 2001.

² Vgl. Schlesinger 1997.

³ Vgl. www.lv-twk.oekosys.tu-berlin.de.

Obwohl die Speicherkraft dreimal so hoch wie die der Pflanzen ist, sollte man Böden in diesem Zusammenhang auch als ein enorm dynamisches System betrachten, das gleichzeitig durch Assimilation der Bodenorganismen CO₂ in die Atmosphäre freisetzt. Somit rückt der gezielte Aufbau von organischer Bodensubstanz und damit die Speicherung von Kohlenstoff im Boden als CO₂-Senke in den Fokus der Klimaforschung.⁴

1.2 Speicherung von Kohlenstoff in Böden

Die Speicherung und Stabilisierung von Kohlenstoff im Boden umfasst durchaus komplexe Prozesse, welche in ihrem detaillierten Ablauf nicht vollständig geklärt sind. Generell gelingt der Großteil des Eintrages an Kohlenstoff in die Bodenmatrix entweder über gelöste organische Verbindungen, oder durch abgestorbenes Pflanzenmaterial (Streu). Durch Interaktion mit den Bodenorganismen kommt es infolge biologischer bzw. geochemischer Zersetzung dieser Pools zur Bildung von Humus.⁵

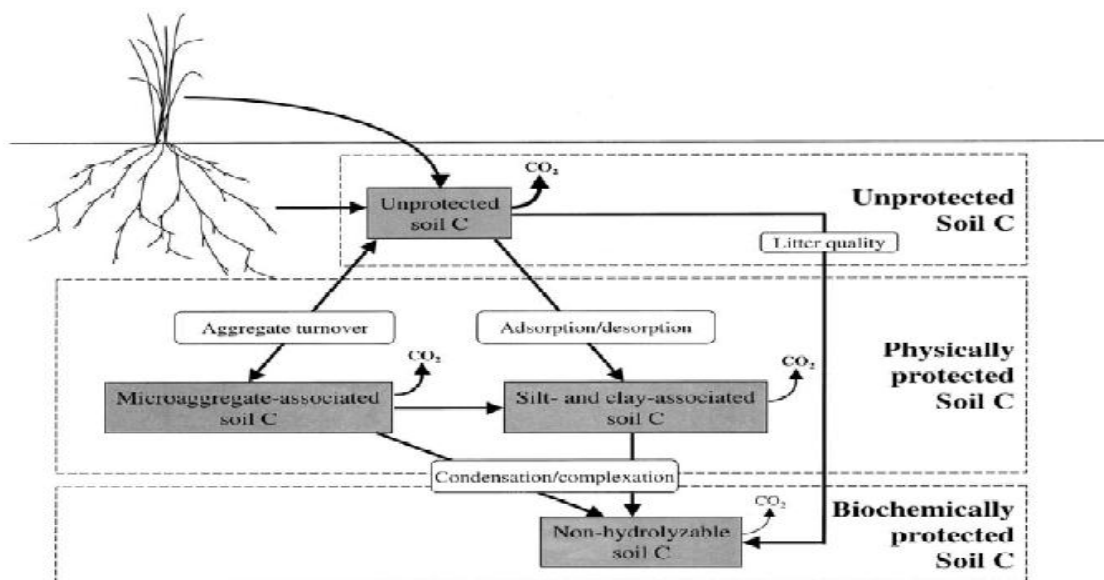


Abbildung 2: Konzeptionelles Modell der organischen Bodensubstanz (= Soil organic matter)⁶

⁴ Vgl. Jobaggy et al. 2000.

⁵ Vgl. Catovsky et al. 2002.

⁶ Vgl. Six et al. 2002.

Die Lagerung von Kohlenstoff kann durch physikalische Stabilisierung entstehen, indem labile Substanzen sich durch Sorption an der Oberfläche, vor dem Abbau geschützt, anreichern. In Abbildung 2 ist eine schematische Darstellung davon (von diesem Prozess) zu sehen. Eine ebenso auftretende Möglichkeit ist die chemische Stabilisierung, wobei das entstehende Produkt inert und nicht weiter abbaubar vorliegt. So sind Verbindungen, die aromatische Strukturen enthalten, wie Tannine und Lignin, gegenüber Biologischem lange beständig. Im Gegensatz dazu sind Glukose oder Cellulose leicht biologisch abbaubar und somit unbeständig.⁷

„Wichtig ist auch die Verteilung der Mikroorganismen, die das organische Material verwerten. Zwar wimmelt es im Boden von Bakterien (ein Gramm Erde enthält rund 40 Millionen Zellen), jedoch versammeln sich diese normalerweise an bestimmten Hotspots, etwa an Wurzeln.“⁸ Typischerweise besiedeln sie weniger als ein Prozent des Bodenvolumens, womit sowohl der Bewuchs als auch die umgebenden Pflanzen ein wichtiger Einflussfaktor sind, den es näher zu untersuchen gilt. Die Speicherung ist letztlich eine Funktion der Abbauleistung aller Organismen eines Standortes. Entscheidend ist hierbei eine umfangreiche Kenntnis von Bedingungen und Wechselwirkungen dieses empfindlichen Gleichgewichtes, um einen gezielten Einfluss darauf nehmen zu können. Diese Arbeit soll dazu beitragen, die Relevanz pflanzlicher Diversität auf Speicherungsprozesse besser verstehen zu können.⁹

1.3 Pflughorizont

Im Frühjahr 2002 wurde eines der größten Biodiversitätsexperimente Europas auf einer ehemaligen Landwirtschaftsfläche in Jena eingerichtet (detaillierte Informationen zu Aufbau und Verfahren werden in Gliederungspunkt 2.1 erläutert). Das „Jena Experiment“ hat sich das Ziel gesetzt, Zusammenhänge zwischen pflanzlicher Diversität und Ökosystemprozessen zu untersuchen.¹⁰ Die bisherigen Ergebnisse bestätigen, dass ein höherer Eintrag von Biomasse in das System zu einer deutlichen Anregung von

⁷ Vgl. Kramer 2004.

⁸ Schmidt 2011.

⁹ Vgl. Gleixner 2002.

¹⁰ Vgl. Roscher et al. 2004.

Mikroorganismen im Boden führt. Diese Anregung zieht einen schnelleren Umsatz des organischen Materials nach sich, wobei im Boden bereits vorhandener Kohlenstoff mobilisiert und durch frisches Pflanzenmaterial ersetzt wird. Dadurch wird die Hypothese, dass der Eintrag von Pflanzenmaterial zu einer Speicherung von ´frischem` Kohlenstoff in der Wurzelzone führt, zwar bestätigt, er beschränkt sich jedoch auf die obersten Bodenschichten innerhalb des Pflughorizontes.¹¹ Der Pflughorizont ist der obere Teil der Bodenschicht (A-Horizont), welcher infolge der landwirtschaftlichen Nutzung umgebrochen wird. Er umfasst ca. die ersten 30cm und besitzt eine deutlich verlaufende Untergrenze.¹² Dieser vergleichsweise wurzelarme Abschnitt der Landoberfläche ist gegenwärtig nicht im Fokus des Forschungsinteresses. Die vorliegende Arbeit soll dazu beitragen, die Speicherung von Kohlenstoff in tieferen Bodenschichten genauer zu beleuchten.

¹¹ Vgl. Steinbeiß et al. 2008.

¹² Vgl. Schachtschabel et al. 1984, S.352.

2 Material und Methoden

2.1 Das Jena Experiment

Alle Untersuchungen und Probenahmen wurden auf der Versuchsfläche des „Jena – Experimentes“ durchgeführt, einem Biodiversitätsexperiment, welches im Frühjahr 2002 begonnen wurde. Hier werden, durch eine Forschergruppe der DFG (Deutsche Forschungsgemeinschaft), die Auswirkungen der pflanzlichen Biodiversität auf trophische Interaktionen und Stoffkreisläufe in bewirtschaftetem Grasland untersucht. Die Versuchsfläche befindet sich in Jena/Thüringen in der Saaleaue Zwätzen und liegt somit in der gemäßigten Klimazone Mitteleuropas.

Die Textur geht mit der Entfernung vom Fluss von sandigem Lehm zu schluffigem Ton über. Die letzten 40 Jahre wurde das Feld intensiv landwirtschaftlich genutzt, bis zu einer Tiefe von etwa 30cm gepflügt und regelmäßig Dünger aufgebracht. Das Hauptexperiment besteht aus 90 Versuchspartzellen (20m x 20m, Plots genannt), die aufgrund des Bodentexturgradienten in 4 Blöcke parallel zur Saale angelegt wurden (siehe Abbildung 3).



Abbildung 3: Versuchsfläche des Jena Experiments

Der Artenpool besteht aus 60 Pflanzenarten in diverser Verteilung (1, 2, 4, 6, 8, 16, oder 60 Arten pro Plot), die typisch für zentraleuropäische Frischwiesen sind. Aufgrund morphologischer, phänologischer und physiologischer Kriterien erfolgte die Einteilung der Pflanzenarten in vier funktionelle Gruppen (Gräser, hohe Kräuter, kleine Kräuter, Leguminosen). Durch die unabhängige Wiederholung der Diversitätsgradienten und die Kombination der verschiedenen Arten auf den Plots, können, neben Aussagen zu Effekten durch die Artenzahl, ebenso Analysen zur Bedeutung von bestimmten funktionellen Gruppen durchgeführt werden.¹³ Zusätzlich zu den definierten Diversitätsstufen wurden Sukzessionsplots in das Experiment integriert, die den Vergleich zur natürlichen Entwicklung liefern.

Tabelle 1: Diversitätsgradient auf den jeweiligen Plots

Plot	Artenzahl	funkt. Gruppen
B2A01	4	4
B2A02	2	1
B2A03	60	4
B2A04	1	1
B2A05	1	1
B2A06	4	2
B2A07	0	0
B2A08	2	2
B2A09	4	1
B2A10	16	2
B2A11	Freie Sukzession	
B2A12	8	1
B2A13	1	1
B2A14	8	4
B2A15	1	1
B2A16	4	3
B2A17	8	2
B2A18	16	4
B2A19	2	1
B2A20	2	2
B2A21	8	3
B2A22	16	3

¹³ Vgl. Roscher et al. 2004.

2.2 Probenahme und Aufarbeitung

Die Probenahme für die Analyse erfolgte vom 19. März 2012 bis 23. März 2012 bei trockenen Bedingungen auf der Versuchsfläche des „Jena Experimentes“. Aufgrund des eingeschränkten Zeitrahmens wurden Proben nur von Block 2 (22 Plots) gestochen.

Auf jedem Plot wurden jeweils 3 Stichproben mit einer Tiefe von einem Meter genommen. Auf diese Weise ergaben sich 66 Bohrkerne.

Material:

- Rammkernsonde (Tiefe 1m, Durchmesser 10cm) mit Ring
- Benzinmotorhammer (Modell Cobra)
- Hebelvorrichtung (Bock und Eisenstange)
- Gummihandschuhe
- Plastiktüten mit Druckverschluss
- Zollstock, Messer, Löffel

Methoden:

Mithilfe des Motorhammers konnte bis über ein Meter in den Boden eingedrungen werden, um eine zusammenhängende Bodensäule zu bergen. Nach dem Entfernen der Blätter an der Oberseite, wurde diese Säule weiter im Abstand von 5cm mit dem Messer durchtrennt und die so erhaltenen Portionen in den Plastiktüten verstaut. In Voraussicht auf die weitere Behandlung der Proben (Sieben) erfolgte eine manuelle Zerkleinerung der Erdstücke.

Sieben:

Bevor die Proben gesiebt wurden, mussten sie ca. 2 Wochen bei 40°C getrocknet werden. Hierfür wurden die Probentüten geöffnet und in den begehbaren Trockenkammern bei entsprechender Temperatur gelagert. Anschließend erfolgte die Bestimmung des Gewichtes der nun trockenen Proben. Für die Untersuchungen wurden die Proben einer Tiefe von 35 bis 40cm betrachtet, da der zeitliche Rahmen der Bachelorarbeit eingehalten werden sollte und diese Schicht von besonderem Interesse ist.

Material:

- Sieb (Maschenweite 2mm)
- Mörser, Stößel, Uhrglasschalen
- Pinzette
- Waage (Satorius, d=0,01g)

Methode:

Aufgrund anschließender Isotopenanalyse waren bei der gesamten Bearbeitung Laborhandschuhe zu tragen. Die Probe wurde gesiebt und mittels einer Pinzette wurden Wurzeln, Steine und organisches Restmaterial entfernt und in separate Papiertüten sortiert. Die Beschaffenheit der Probe nach der Trocknung machte die Zuhilfenahme von Mörser und Stößel zur Zerkleinerung notwendig. Die Materialien sind nach jeder Probe gespült und mit Druckluft getrocknet worden. Anschließend erfolgte eine erneute Notierung aller Gewichte (Bestimmung der Lagerungsdichte).

Mahlen:

Material:

- 2 Kugelmühlen
- Mahlbecher (25ml), Silikonringe
- Glasbehälter mit Schraubverschluss, Trichter

Methode:

Die Proben wurden in die Mahlbecher gefüllt (1cm nach oben freilassen, Silikonring einlegen) und in die Mühle eingespannt (2 parallel pro Mühle). Nun wurden sie bei einer Frequenz von 30/s 6 Minuten lang gemahlen. Anschließend erfolgte eine Umfüllung in Glasbehälter. Vor jedem Mahlvorgang sind die Geräte gespült und mit Druckluft getrocknet worden.

2.3 Analyse der Bodenproben

Die Proben wurden soweit aufgearbeitet, dass mit geeigneten Geräten eine Elementaranalyse durchgeführt werden konnte.

Material:

- Korundtiegel
- Waage (Mettler Toledo, d=0,01mg)
- Muffelofen
- Wolfram(VI)-oxid
- Elementaranalysator VarioMax CN

Methode:

Der Gesamtkohlenstoffgehalt setzt sich aus dem organischen (C-org) und anorganischen (C-inorg) Kohlenstoffanteil zusammen. Mithilfe von starker Hitze ist es möglich, die organische Komponente zu verbrennen, sodass der anorganische Anteil als Rückstand verbleibt. Dazu wurden 250mg (\pm 10mg) der Proben in hitzebeständige Korundtiegel eingewogen und in einem Muffelofen für 16 Stunden bei 450°C verbrannt.

Zur Bestimmung des Elementgehalts an Kohlenstoff wurden ca. 20mg der gemahlene(n) (und vermuffelten) Bodenproben in Zinnschiffchen der Größe 6 x 6 x 12mm eingewogen. Anschließend erfolgte die Zugabe von 400–500mg Wolfram(VI)-oxid auf jede Probe, welches als zusätzlicher Sauerstofflieferant dient (bei vermuffelten Proben erfolgte die Zugabe erst nach dem Abkühlen der Proben). Die Analyse fand an einem Elementaranalysator der Baureihe VarioMax CN statt. Zunächst wurde das Zinnschiffchen mit der Probe in einem Verbrennungsröhrchen auf 1150°C erhitzt. Dabei schmilzt das Zinn und gibt die Probe frei, die pyrolytisch zersetzt wird. Im Anschluss werden die Pyrolyseprodukte im Sauerstoff-Überschuss über Wolframtrioxid oxidiert. Durch die exotherme Reaktion zum Zinnoxid wird eine Temperaturerhöhung der Probe auf 1800°C erreicht. Die entstandenen Gase strömen anschließend bei 850°C durch ein mit Kupfer gefülltes Reduktionsrohr, wobei Stickoxide zu Stickstoff (N₂) reduziert werden. Anschließend werden die Gase N₂ und CO₂ nach einem der Gaschromatographie ähnlichen Prinzip (Purge and Trap) getrennt und von einem thermischen Leitfähigkeitsdetektor quantitativ erfasst.

3 Ergebnisse und Diskussion

Die Bodenproben wurden gemäß dem Gliederungspunkt 2 gewonnen und analysiert. In Anlagen 1 des Anhangs sind diese Ergebnisse tabellarisch zu finden. Folgende Diagramme beruhen auf diesen Werten und wurden mit geeigneten Datenverarbeitungsprogrammen (MS Excel 2010™) erstellt. Zur Berechnung von Standardabweichung und Bestimmtheitsmaß wurden folgende Formeln verwendet:

Standardabweichung:
$$S = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad \bar{x} = \text{Mittelwert}$$

Bestimmtheitsmaß:
$$R^2 = \left(\frac{\sum(x - \bar{x}) * (y - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x - \bar{x})^2 * \sum(y - \bar{y})^2}} \right)^2$$

3.1 Elementaranalyse

Mithilfe der Elementaranalyse wurde sowohl der gesamte als auch der organische Kohlenstoffgehalt, den eine Probe von 35 bis 40cm Tiefe enthält, prozentual der Masse bestimmt. Pro Plot wurden jeweils drei Bodenkerne entnommen. Daraus erfolgte eine Mittelwertbildung, welche in Anlehnung an Abbildung 3 nachfolgend dargestellt wird:

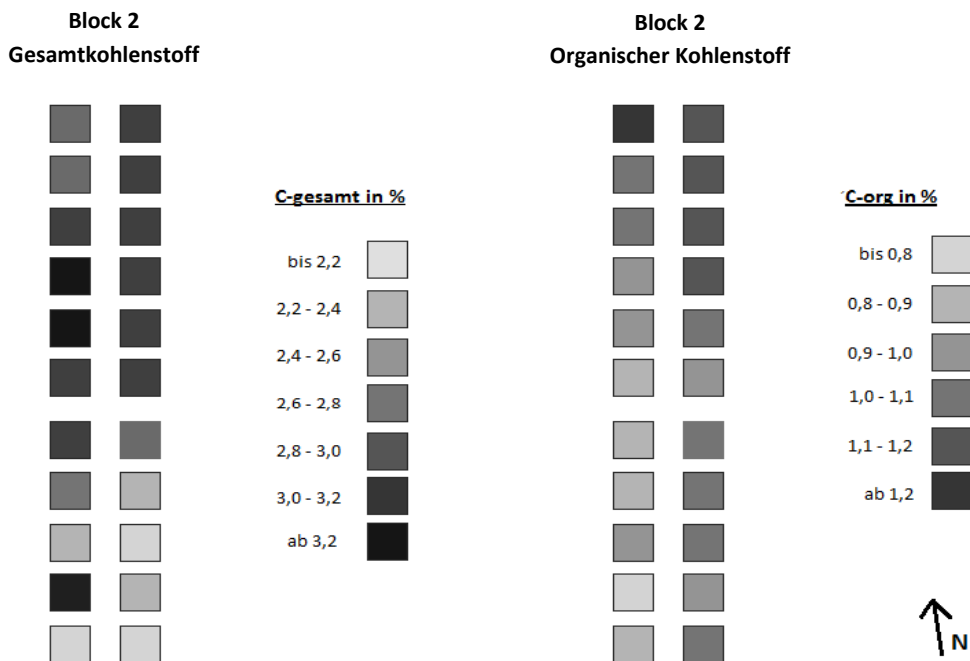


Abbildung 4: Massenanteil an Gesamtkohlenstoff und organischen Kohlenstoff 2012 im Plotschema

Die Ergebnisse innerhalb von Block 2 zeigen einen Gesamtkohlenstoffgehalt zwischen 2,01% in Plot A12 und 3,29% in A19. Durchschnittlich enthält der Boden 2,81% Kohlenstoff ($S=0,453$). Im Vergleich dazu liegt der Massenanteil an organischem Kohlenstoff im Mittel bei 1,00% ($S= 0,142$). Dabei ist der niedrigste Wert mit 0,73% in Plot A13 aufgetreten und der Höchste mit 1,22% in Plot 22. Somit ergibt sich insgesamt ein organischer Anteil von ca. 35,59% am Gesamtkohlenstoff. Dieser Wert liegt unter den Erwartungen, denn auch Literaturangaben gehen von höheren Ergebnissen aus. So werden beispielsweise ca. 50% erwartet.¹⁴ Böden sind ein komplexes Gefüge mit sich ständig ändernden Eigenschaften und Standorteinflüssen. In Abbildung 4 ist mit Hilfe der Helligkeitsabstufungen die Zunahme von Kohlenstoff von Süden nach Norden zu erkennen, trotz unabhängiger Bepflanzung verschiedener Arten. Eine mögliche Ursache dafür könnte in der Bodentextur liegen.

Böden sind Gemische aus Mineralkörnern verschiedener Form und Größe, die in folgende Hauptbestandteile des Feinbodens unterschieden werden.

Tabelle 2: Korngrößen der Texturfractionen¹⁴

Ton	Schluff	Sand
< 2µm	< 63µm und > 2µm	< 2mm und > 63µm

Auf der Versuchsfläche des Jena-Experimentes erfolgte eine Korngrößenbestimmung in der Tiefe von 40 - 60cm. Der hieraus gebildete Mittelwert wurde in Beziehung zum ermittelten organischen Kohlenstoffwert gestellt, um eventuelle Korrelationen sichtbar zu machen (Texturdaten von Lange et al. 2012).

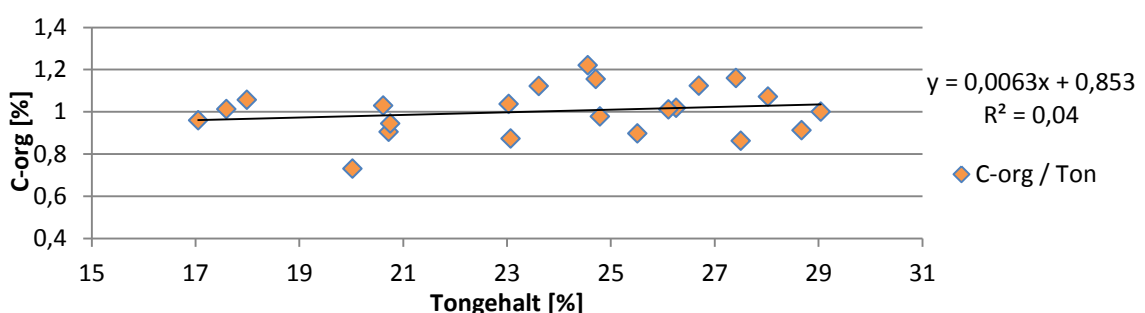


Abbildung 5: Organischer Kohlenstoff in Abhängigkeit des Tongehaltes

¹⁴ Vgl. Schachtschabel et al. 1984, S.47.

Der Tongehalt steigt in Nordrichtung etwas von 17% (Plot 1) auf 29% (Plot 19) an. Mit seiner geringen Partikelgröße bietet Ton eine große spezifische Oberfläche und besitzt damit ein hohes Sorptionspotential, sowie gute Wasserhaltefähigkeiten.¹⁵

In Abbildung 5 kann das mit einem geringen Anstieg ($y=0,0063x$) der organischen Kohlenstoffkonzentration bestätigt werden. Der Einfluss des Tongehaltes aufgrund physikalischer C-org Stabilisierung (durch Einschluss zwischen Tonmineralien) mit $R^2=0,04$ in dieser Tiefe des Bodens eher klein einzuschätzen.

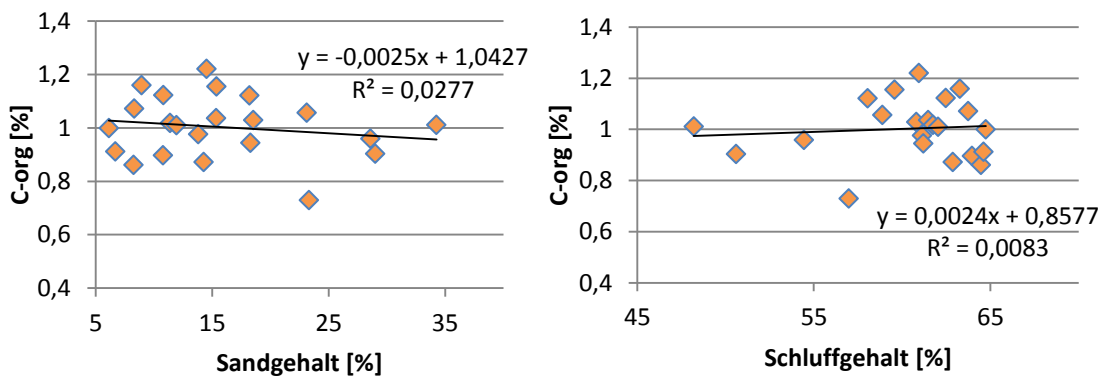


Abbildung 6: Organischer Kohlenstoff in Abhängigkeit des Sand- und Schluffgehaltes

Abbildung 6 zeigt die Texturfractionen mit größeren Korngrößen in Beziehung zum organischen Kohlenstoff. Der Sandgehalt erstreckte sich von 6% (Plot 19) bis hin zu 34% (Plot 1) in südlicher Richtung. Mit steigendem Sandgehalt wird die Belüftung erhöht und Wasser kann schneller versickern. Die Sorptionsfähigkeit verringert sich mit den größeren Poren zwischen den Teilchen.¹⁶ Diese Eigenschaften haben nahezu keine Auswirkung auf die Speicherung von organischem Kohlenstoff in tieferen Bodenschichten, es zeigt sich eine geringe negative Tendenz ($y=-0,0025x$). Ebenso verhält es sich bei dem Schluffgehalt, der mengenmäßig den größten Anteil ausmacht, aber hierbei kaum einen Einfluss aufweist ($y=0,0024x$).

¹⁵ Vgl. Hassnik 1997.

¹⁶ Vgl. ebd.

3.2 Pflanzliche Diversität

Zur Artenvielfalt gehört die Artenzahl genauso wie die Anzahl funktioneller Gruppen auf den Plots, die aufgrund der Unterschiede beispielsweise in der Wurzelverteilung der Pflanzen beide Auswirkungen auf die Kohlenstoffspeicherung im Boden haben sollten.

3.2.1 Biomasse

Die pflanzliche Biomasse wurde in den Jahren 2002 bis 2010 jeweils im Mai und im August geerntet (siehe Anlage 2). Dabei wurde auf jedem Plot das oberirdische Pflanzenmaterial entfernt und gewogen. Die Gewichte aus Mai- und Augusternte wurden zu einem Jahreswert gemittelt.

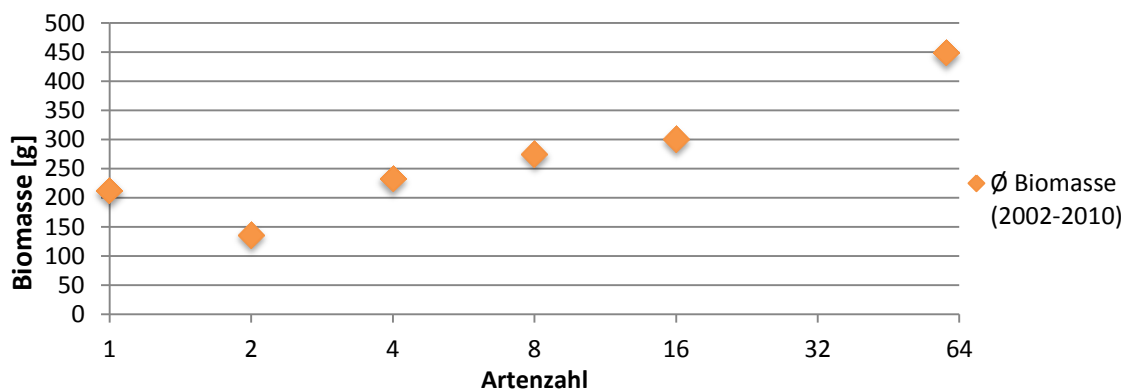


Abbildung 7: Durchschnittlich geerntete Biomasse mit steigender Artenzahl

Die berechneten Gewichte pro Plot wurden anhand des Schemas für die Verteilung und Anzahl der Arten zusammengefasst und der daraus resultierende Mittelwert im Diagramm dargestellt. Hierbei ist die X-Achse logarithmisch eingeteilt (Abbildung 7). Die Datenpunkte zeigen einen fast konstanten Anstieg der Biomasse mit höherer Artenzahl, lediglich bei den Plots, auf denen nur eine Pflanzenart gesät wurde, ist die Masse der geernteten Biomasse mit 212g höher als bei der nächst höheren Artenzahl mit 136g. Die meiste Biomasse wurde innerhalb der Plots geerntet, auf denen 60 verschiedene Arten gesät wurden. Im Durchschnitt betrug hierbei die Ernte 450g und damit doppelt so viel wie bei einer Art. Höhere Diversität führt offensichtlich zu mehr oberirdischer Biomasse (siehe Anlage 2), was durch die unterschiedliche Nischennutzung

der Arten z.B. das Aufnehmen von Phosphor und Stickstoff erklärt werden kann.¹⁷ Somit begünstigt die Artenvielfalt die Produktivität der Pflanzen und könnte sich positiv auf die Kohlenstoff-speicherung auswirken. „Zwischen der oberirdischen und der unterirdischen Biomasse-produktion besteht eine signifikante Korrelation ($R = 0,32$).“¹⁸

3.2.2 C-org

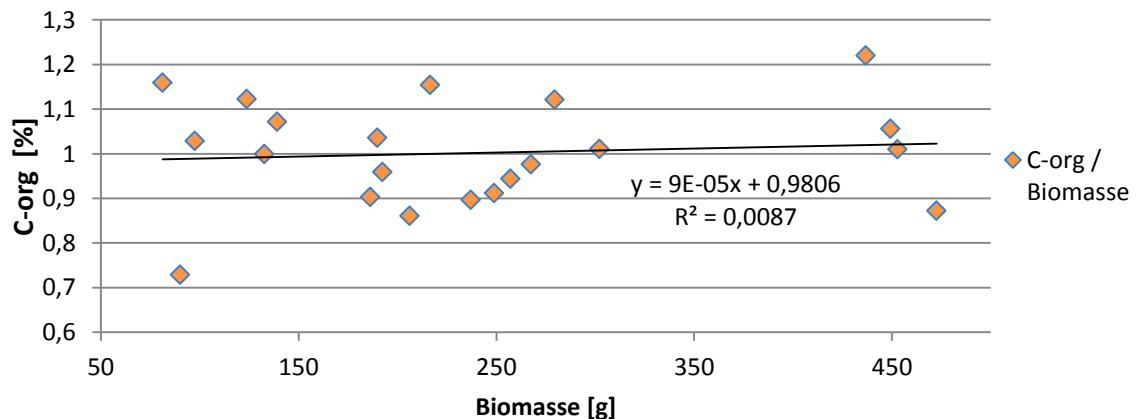


Abbildung 8: Organischer Kohlenstoff mit steigender Biomasse

Der organische Kohlenstoff der Bodenproben wurde hierzu mit der Biomasse des jeweiligen Plots in Beziehung gesetzt. Es ist kaum ein Anstieg des C-org Wertes, von geringerer Biomasse zu höheren Ernten, erkennbar ($y=9E^{-05}x$). Entgegen den Erwartungen, lässt sich kein Zusammenhang daraus ableiten und der Einfluss der Biomasse, z.B. durch Streuauflage, reicht nicht bis in tiefere Bodenschichten und korreliert nur geringfügig der Stabilisierung von organischem Kohlenstoff ($R^2 = 0,0087$).

Eine höhere Pflanzendiversität führt nicht nur zu einem effizienteren Ressourcenmanagement, sondern auch die mikrobielle Gemeinschaft zeigt eine gesteigerte Aktivität. Folglich sollten die Stoffwechselaktivitäten der Mikroorganismen zur verstärkten Mineralisation positive Effekte für die Kohlenstoffspeicherung beitragen können¹⁹. In Abbildung 9 wurden die organischen Kohlenstoffgehalte der jeweiligen Plots gemittelt, welche gleiche Artenanzahlbepflanzung aufwiesen. Hierbei ist auf Plot

¹⁷ Vgl. ec.europa.eu.

¹⁸ Steinbeiß 2006..

¹⁹ Vgl. Bell et al. 2005; Stephan et. al. 2000.

11 keine der Arten gesät wurden. Diese Fläche dient als Vergleichswert und wurde dennoch bei der Jätung von Unkraut befreit.

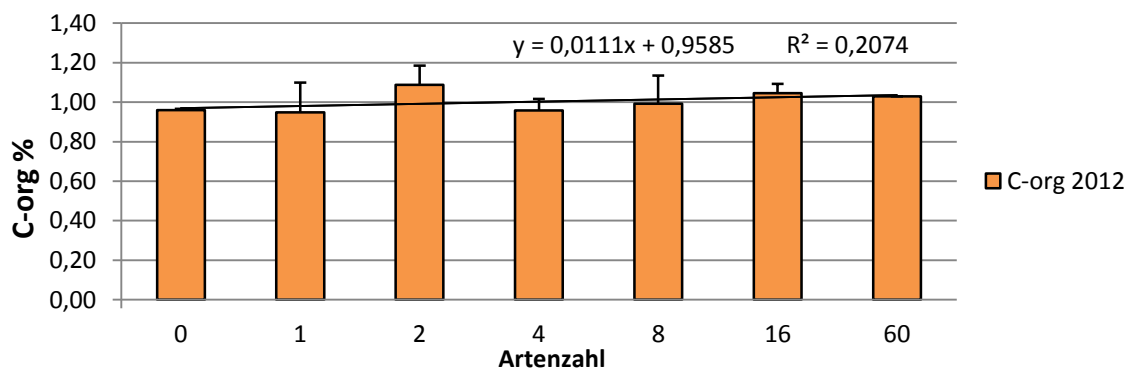


Abbildung 9: Massenanteil an organischem Kohlenstoff der Bodenproben bei steigender Artenzahl

Die durchschnittlichen Kohlenstoffgehalte erstrecken sich von 0,95 % auf den Flächen mit Monokulturen, bis über 1 % auf den artenreichen Parzellen. Mit 1,09 % liegt der höchste Wert auf den Flächen mit zwei unterschiedlichen Arten. Hierbei ist der Vergleich mit der geernteten Biomasse auffällig, welche den kleinsten Wert bei diesem Diversitätsgradienten besaß (siehe Abbildung 9). Weiterhin liegen die geringen Unterschiede in der Zunahme des organischen Kohlenstoffs unter den Erwartungen. Dennoch ist tendenzieller Anstieg mit höherer Artenzahl zu erkennen ($y=0,0111x$).

3.3 Entwicklung seit 2002

Um die Entwicklung des Kohlenstoffgehalts im zeitlichen Verlauf betrachten zu können, wurden Ergebnisse von 2002²⁰, welche nach vergleichbaren Methoden gewonnen wurden, als Referenz hinzugezogen. Subtrahiert man die Werte aus dem Jahr 2002 von den neuen Werten aus 2012, erhält man die Veränderung innerhalb von zehn Jahren. Diese ist in der folgenden Abbildung prozentual dargestellt.

²⁰ Daten bereitgestellt vom MPI für Biogeochemie: Lange et al. 2012.

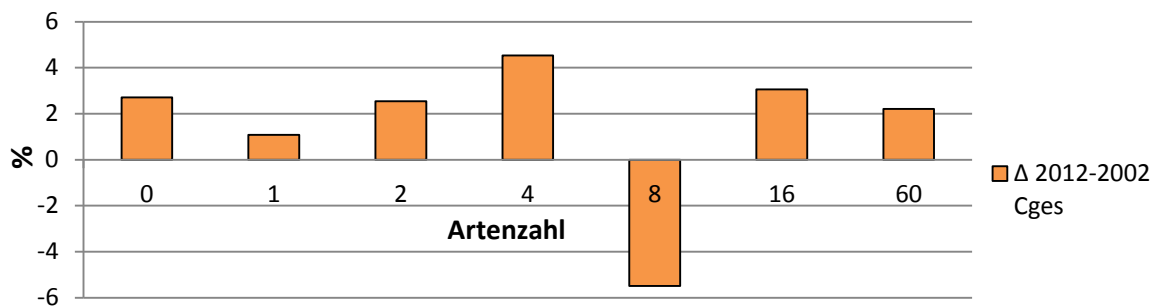


Abbildung 10: Differenz des Gesamtkohlenstoffs 2012 zu 2002 bei steigender Artenzahl

Zu erkennen ist die Zunahme des Gesamtkohlenstoffs auf den unbepflanzten Versuchsflächen um 2,7%. Monokulturen weisen einen Zuwachs von 1,1 % auf, welcher bis zu den Versuchspartellen mit vier verschiedenen Arten auf 4,5 % mehr Kohlenstoffanteil an der Gesamtmasse steigt. Bei einer Anzahl von 8 verschiedenen Pflanzenarten zeigt die Differenz eine Abnahme des Gesamtkohlenstoffs um 5,5 %. Dies ist die einzige Abnahme, die nachgewiesen werden konnte und ist möglicherweise auf die dortige Zusammenstellung der Arten zurückzuführen. Das Wurzelgefüge und die Raumnutzung können hier in Konkurrenz stehen. Bei höheren Artenzahlen ist dies nicht aufgetreten und zeigt eine geringer werdende Zunahme des Gesamtkohlenstoffs.

Insgesamt liegt die Zunahme des Kohlenstoffanteils an der Gesamtmasse, in der Bodentiefe von 35-40 cm über 10 Jahre, bei durchschnittlich 1,5 %. Die Lagerung von organischem Kohlenstoff soll hierbei genauer betrachtet werden. Hierfür werden in Abbildung 11 die Ergebnisse der Elementaranalyse als Differenz aus den aktuellen Werten von 2012 zu den Daten von 2002 verwendet. Das Ergebnis wird ebenfalls prozentual dargestellt.

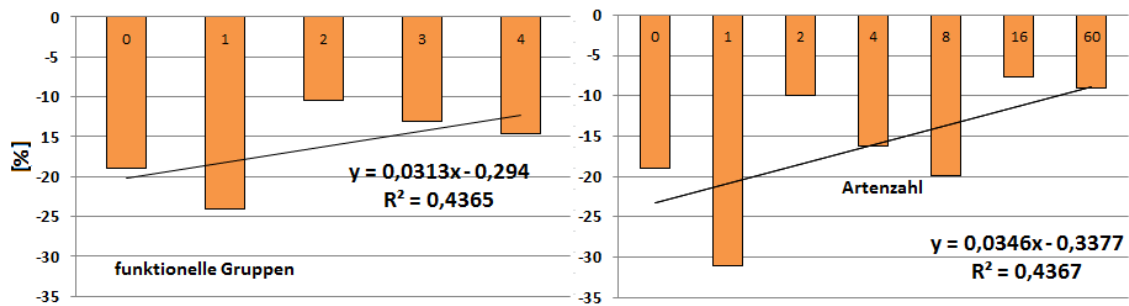


Abbildung 11: Differenz 2012 zu 2002 an organischem Kohlenstoff

Der organische Kohlenstoffgehalt im Zeitverlauf wird anhand der funktionellen Gruppen und Artenzahl betrachtet. Zu sehen ist die negative Differenz bei beiden Parametern, eine Abnahme des organischen Kohlenstoffs bedeutet. Im Durchschnitt reduzierte sich der Wert um 16,1% (beide Diagramme einbezogen), welcher im Vergleich mit der Zunahme des Gesamtkohlenstoffs ein unerwartet hohes Ergebnis ist. Die Veränderung war bei Monokulturen, welche auch den geringsten Zuwachs am Gesamtkohlenstoff aufwiesen, mit einer Abnahme um 30% am höchsten. Erkennbar ist die geringer werdende Veränderung mit steigendem Diversitätsgradienten. Daraus lässt sich die Stabilisierung des organischen Kohlenstoffs mit höherer Artenvielfalt erkennen. Die allgemeine Abnahme des von C-org Wertes lässt sich mit dem Landnutzungswechsel in Verbindung bringen, der sich mit dem Anlegen des Jena Experimentes vollzogen hat. Das regelmäßige Düngen, sowie das Durchlüften durch Pflügen wurden mit der Umwandlung zu Grasland 2002 eingestellt. Weiterhin zeigten die Daten von 2002 keine vollständige Homogenität, obwohl es zu diesem Zeitpunkt noch keine Anlegung des Artenpools gab. Zusätzlich kann es zu Verfälschung der Ergebnisse gekommen sein, als das Wasser der Saale während des Hochwassers 2011 über das Versuchsfeld trat.²¹

²¹ Vgl. www.otz.de.

4. Schlussfolgerung

Das Ziel dieser Arbeit war es, den Boden im Ökosystem Frischwiese auf seine Kohlenstoffspeicherfunktion zu untersuchen. Hierbei sollten die Einflüsse auf die Speicherung und Stabilisierung dieses Elementes, mit Fokus auf der pflanzlichen Diversität, näher betrachtet werden. Aufgrund der Untersuchung wird davon ausgegangen, dass vor allem der organische Kohlenstoffgehalt die Rolle der Speicherfunktion übernimmt. Die hierfür genutzte Versuchsfläche des Jena-Experiments zeigte mit seinen Textureigenschaften (R^2 -Schluff=0,008; R^2 -Sand=0,027; R^2 -Ton=0,04) geringe Einflüsse der abiotischen Faktoren auf den nachhaltigen Eintrag organischen Materials.

Anhand der vielfältig bepflanzten Versuchspartellen konnte festgestellt werden, dass erhöhte Artenvielfalt einen positiven Einfluss ausübt, dieser aber in Bodentiefen von 35 bis 40cm keinen eindeutigen Effekt aufweist, sondern eher von einem Trend ($R=0,207$) ausgegangen werden muss. Im zeitlichen Verlauf kann ebenfalls ein positiver Trend bei der Stabilisierung von organischen Einträgen mit steigendem Diversitätsgradienten gezeigt werden.

Aufgrund der Abnahme des organischen Kohlenstoffgehalts zu 2002 konnte keine eindeutige Speicherung nachgewiesen werden, da hierbei der Effekt des Landnutzungswechsels zum Grünland die Ergebnisse überlagert. Diese Untersuchung gibt dennoch nur ein begrenztes Wissen über die Speichervorgänge von Kohlenstoff in terrestrischen Ökosystemen wieder.

Um nachhaltig Kohlenstoff speichern zu können und damit Einfluss auf klimarelevante Eingriffe zu steuern, ist eine detailliertere Forschung unabdingbar. Des Weiteren ist es ratsam, die Untersuchung auf weitere Partellen auszudehnen oder die Ergebnisse mit den Messergebnissen anderer Plots zu vergleichen, um eine repräsentative Aussage zu geben.

Literaturverzeichnis:

- Bell, T.;** Newman, J. A.; Silverman, B. W.; Turner, S. L.; Lilley A. K.(2005): The contribution of species richness and composition to bacterial services. In: Nature. 436, S. 1157-1160.
- Catovsky, S.;** Bradford T.; Mark A., Hector, A. (2002): Biodiversity and ecosystem productivity: implications for carbon storage. In: Oikos. 97, S. 443-448.
- Gleixner, G.** (2002): Speicherung von Kohlenstoff in terrestrischen Systemen. Kumulative Habilitationsschrift. Friedrich-Schiller-Universität Jena.
- Hassink, J.;** Whitmore, A. P.; Kubat J. (1997): Size and density fractionation of soil organic matter and the physical capacity of soils to protect organic matter: European Journal of Agronomy 7. S. 189-199.
- Houghton, J. T.;** Ding, Y; Griggs, D. J. (2001): Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge.
- Jobaggy, E. G.;** Jackson J. B. (2000): The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation. In: Ecological Applications 10, S. 423-436.
- Kramer, C.** (2004): Umsatz und Stabilisierung von organischem Kohlenstoff in Böden. Dissertation. Friedrich- Schiller-Universität Jena.
- Schachtschabel, P.;** Blume, H.-P.; Hartage K.-H. (1984): Lehrbuch der Bodenkunde. Enke Verlag. Stuttgart. S 45ff.
- Schlesinger, W. H.** (1997): Biogeochemistry - An Analysis of Global Change. Academic Press, San Diego, London, Boston, New York, Sydney, Tokyo, Toronto.
- Schmidt, W.;** Torn, M.; Trumbore, S. [u. a.](2011): Persistence of soil organic matter as an ecosystem property. In: Nature. 478, S. 49–56.
- Six, J.;** Conant, R.T.; Paul, E.A.; Paustian, K., (2002) Stabilization mechanisms of soil organic matter: Implications for C-saturation of soils. In: Plant & Soil. 241, S. 163.
- Steinbeiß, S.;** Beßler, H.; Engels, C; Baade, J.; Kreuziger, Y. (2008): Plant diversity positively affects short-term soil carbon storage in experimental grasslands. In: Global Change Biology 14. S. 2937-2949.
- Steinbeiß, S.** (2006): Einfluss der Biodiversität von Pflanzen auf die Speicherung von Kohlenstoff in Böden und auf den Austrag von gelöstem organischem Kohlenstoff. Dissertation. Friedrich-Schiller-Universität Jena. S. 24.
- Stephan, A.;** Meyer, A. H.; Schmid B. (2000): Plant diversity affects culturable soil bacteria in experimental grassland communities. In: Journal of Ecology. 88, S. 988-998.

Internetquellen

Hochwasser in Jena. In: Ostthüringerzeitung. Stand: 10.01.2011. URL: <http://www.otz.de/web/zgt/leben/detail/-/specific/Hochwasser-in-Jena-1162390574> (Zugriff am: 13.08.2012).

Kehl, H.: Der Kohlenstoffkreislauf. URL: <http://lv-twk.oekosys.tu-berlin.de/project/lv-twk/002-kohlenstoffkreislauf.html> (Zugriff am: 10.08.2012).

Magazin für die europäische Forschung: Artenvielfalt – Gemeinschaft macht stark. Stand: Februar 2000. URL: <http://ec.europa.eu/research/rtdinfo/de/25/08.html> (Zugriff am: 13.08.2012).

Anlage

Anlage 1: Ergebnisse Elementaranalyse	VII
Anlage 2: Ergebnisse Biomasse	IX
Anlage 3: Biomasse mit steigender funktioneller Gruppen	VII
Anlage 4: Ergebnisse 2002	VII

Anlage 1: Ergebnisse Elementaranalyse

Probenname	Plot	C org	C gesamt
B2A07_Kern1_35-40	B2A07	1,055	3,213
B2A07_Kern2_35-40	B2A07	1,024	3,166
B2A07_Kern3_35-40	B2A07	0,974	2,916
B2A11_Kern1_35-40	B2A11	1,246	3,080
B2A11_Kern2_35-40	B2A11	1,074	3,048
B2A11_Kern3_35-40	B2A11	1,044	3,033
B2A04_Kern1_35-40	B2A04	1,052	2,250
B2A04_Kern2_35-40	B2A04	0,985	2,272
B2A04_Kern3_35-40	B2A04	1,049	2,329
B2A05_Kern1_35-40	B2A05	0,927	2,859
B2A05_Kern2_35-40	B2A05	1,114	2,725
B2A05_Kern3_35-40	B2A05	1,068	2,876
B2A13_Kern1_35-40	B2A13	0,672	3,339
B2A13_Kern2_35-40	B2A13	0,827	3,052
B2A13_Kern3_35-40	B2A13	0,689	3,289
B2A15_Kern1_35-40	B2A15	0,872	3,033
B2A15_Kern2_35-40	B2A15	0,854	1,969
B2A15_Kern3_35-40	B2A15	0,891	3,031
B2A02_Kern1_35-40	B2A02	0,963	2,146
B2A02_Kern2_35-40	B2A02	0,949	2,231
B2A02_Kern3_35-40	B2A02	0,966	2,297
B2A08_Kern1_35-40	B2A08	1,139	3,034
B2A08_Kern2_35-40	B2A08	1,260	2,968
B2A08_Kern3_35-40	B2A08	1,079	2,998
B2A19_Kern1_35-40	B2A19	0,995	3,363
B2A19_Kern2_35-40	B2A19	1,026	3,281
B2A19_Kern3_35-40	B2A19	0,977	3,216
B2A20_Kern1_35-40	B2A20	1,089	2,983
B2A20_Kern2_35-40	B2A20	1,097	3,122
B2A20_Kern3_35-40	B2A20	1,029	3,131
B2A01_Kern1_35-40	B2A01	1,020	2,329
B2A01_Kern2_35-40	B2A01	0,924	1,978
B2A01_Kern3_35-40	B2A01	1,090	2,082
B2A06_Kern1_35-40	B2A06	0,927	3,102
B2A06_Kern2_35-40	B2A06	1,050	3,071
B2A06_Kern3_35-40	B2A06	0,953	3,093
B2A09_Kern1_35-40	B2A09	1,097	3,137
B2A09_Kern2_35-40	B2A09	1,221	3,119
B2A09_Kern3_35-40	B2A09	1,051	3,161
B2A16_Kern1_35-40	B2A16	0,841	2,781
B2A16_Kern2_35-40	B2A16	1,099	2,911
B2A16_Kern3_35-40	B2A16	0,750	3,640

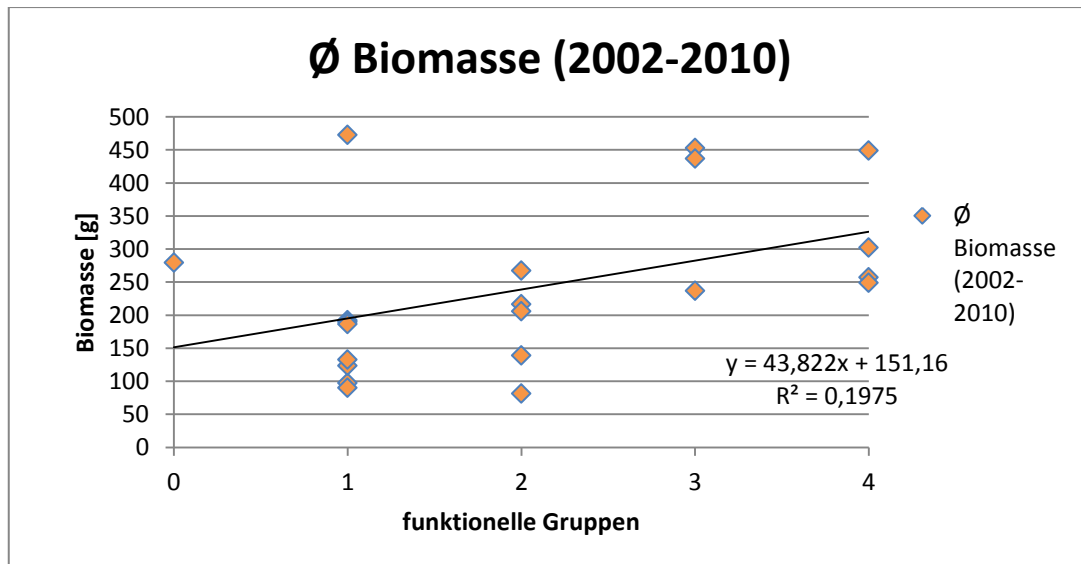
B2A12_Kern1_35-40	B2A12	0,761	1,849
B2A12_Kern2_35-40	B2A12	1,044	2,185
B2A12_Kern3_35-40	B2A12	0,905	2,004
B2A14_Kern1_35-40	B2A14	1,009	2,324
B2A14_Kern2_35-40	B2A14	0,881	2,041
B2A14_Kern3_35-40	B2A14	0,943	2,243
B2A17_Kern1_35-40	B2A17	0,825	3,075
B2A17_Kern2_35-40	B2A17	0,861	3,167
B2A17_Kern3_35-40	B2A17	0,898	2,978
B2A21_Kern1_35-40	B2A21	1,109	2,969
B2A21_Kern2_35-40	B2A21	0,959	3,130
B2A21_Kern3_35-40	B2A21	0,961	2,619
B2A10_Kern1_35-40	B2A10	1,173	3,107
B2A10_Kern2_35-40	B2A10	1,123	3,157
B2A10_Kern3_35-40	B2A10	1,167	3,186
B2A18_Kern1_35-40	B2A18	0,835	3,222
B2A18_Kern2_35-40	B2A18	0,952	3,235
B2A18_Kern3_35-40	B2A18	0,949	3,326
B2A22_Kern1_35-40	B2A22	1,591	3,193
B2A22_Kern2_35-40	B2A22	0,999	2,558
B2A22_Kern3_35-40	B2A22	1,071	2,694
B2A03_Kern1_35-40	B2A03	1,023	2,116
B2A03_Kern2_35-40	B2A03	1,054	2,176
B2A03_Kern3_35-40	B2A03	1,091	2,270

Anlage 2: Ergebnisse Biomasse

Plot	Ø Biomasse	Artenzahl	funkt. Gruppen
B2A01	302,086816	4	4
B2A02	192,458862	2	1
B2A03	449,197929	60	4
B2A04	97,4823413	1	1
B2A05	189,838108	1	1
B2A06	267,407533	4	2
B2A08	81,2288757	2	2
B2A09	123,74213	4	1
B2A10	216,433396	16	2
B2A11	279,380266	0	0
B2A12	186,306025	8	1
B2A13	90,0920635	1	1
B2A14	257,191706	8	4
B2A15	472,534127	1	1
B2A16	236,999034	4	3
B2A17	206,121919	8	2

B2A18	248,78295	16	4
B2A19	132,68787	2	1
B2A20	139,07275	2	2
B2A21	452,862103	8	3
B2A22	436,810827	16	3

Anlage 3: Diagramm Biomasse mit steigender funktioneller Gruppen



Anlage 1: Ergebnisse 2002

funkt. Gruppen	2002		2012	
	Mittelwert von Corg	Standardabw Corg	Mittelwert C org	Standardabw C org
0	1,32	0,051854497	1,069599152	0,073078252
1	1,260416667	0,173867652	0,956397841	0,121112119
2	1,166	0,142524852	1,044668007	0,126712851
3	1,198888889	0,20916058	1,042216566	0,164139798
4	1,148333333	0,171992679	0,980918199	0,064925551
Artenzahl				
0	1,32	0,051854497	1,069599152	0,073078252
1	1,328333333	0,192767371	0,916593333	0,145986413
2	1,163333333	0,129985754	1,047334582	0,087893281
4	1,195	0,213168339	1,001867086	0,093918345
8	1,16	0,156654846	0,929687341	0,063315816
16	1,185555556	0,177022702	1,09561952	0,162279625
60	1,16	0	1,056057334	0

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende schriftliche Arbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die von mir angegebenen Hilfsmittel benutzt habe. Die Stellen der Arbeit, die anderen Werken dem Wortlaut oder dem Sinn nach entnommen sind, wurden in jedem Fall unter Angabe der Quellen kenntlich gemacht.

Ort, Datum, Unterschrift